



МЕТАЛИ: **подорож у часі**

КИЇВ 2019

Віталій А. Гнатуш

МЕТАЛИ: подорож у часі

Київ 2019

УДК 669.1/669.2/.8/621.74/94
ББК 65.9(4Укр)305.5/65.9(4Укр)305.855
Г560

Жодну з частин цього видання не можна відтворювати в будь-якій формі без письмового дозволу видавництва і автора

Автор: *Віталій А. Гнатуш*

Дизайн обкладинки В. А. Гнатуш

У оформленні першої сторінки обкладинки використано фото «Атоміума», що встановлений в м. Брюсселі, Бельгія – Вікіпедія.

Науково-бізнесове видання

МЕТАЛИ: подорож у часі

Світ ХХІ століття, незважаючи на всебічне впровадження в життя інформаційних технологій та концепції «Індустрія 4.0», неможливий без металів, їх кристалічних та аморфних сплавів, нанометалів. Для виготовлення різноманітних виробів з металів не обійтись без іноваційних технологій та їх комерціалізації. Думка людини не може спати, вона спрямовано на пошук нового і ще незнамого. Немає меж вдосконаленню!

Цією книгою автор намагався показати місце металів в динаміці століть, в нашому житті і промисловості. При цьому, по можливості, акцентовано увагу на розробниках нових технологій, сплавів та теоретичних розвідок в металургії та ливарстві. На сторінках книги наведені прізвища **343** винахідників, вчених, підприємців, інженерів і майстрів з **18** країн, що внесли свій вклад в створення та комерціалізацію ливарно-металургійних технологій та металевих сплавів, а також супутніх технологій. З них **172** персони читач має можливість побачити на фото. Інтелектуальний банк книги складають **79** патентів на винаходи в сегменті металургії та ливарства.

Автор висловлює надію, що ця книга буде корисна школярам старших класів, студентам технічних університетів, науковцям і тим, хто цікавиться історією техніки та науки.

Редактор _____
Художній редактор _____
Технічний редактор Гнатуш В.А.

Підписано до друку _____
Формат _____ Друк _____
Гарнітура _____ Ум. друк. арк. _____
Наклад ___ пр. Зам. _____

Видавництво _____

Віддруковано _____

© В. А. Гнатуш, текст, графіки, 2018, 2019
© Видавництво

ISBN _____

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ перший. Тренди металевіої цивілізації	5
Розділ другий. Хроніка металів: від початку ери металів до 1774р.	17
Розділ третій. Перша промислова революція (друга половина XVIII ст. – друга половина XIX ст.)	28
Розділ четвертий. Друга промислова революція (друга половина XIX ст. – початок XX ст.)	36
Розділ п'ятий. Третя промислова революція (70-і роки XX ст. – 2010р.)	99
Розділ шостий. Четверта промислова революція (2011р. -...)	132
Замість підсумків	138
Інформаційні джерела до першого розділу	139
Інформаційні джерела до другого – шостого розділів	141

Вступ

Фундаментом розвитку людської цивілізації на планеті, яку назвали Земля, є технології, що пов'язані з видобування металомістких руд, їх переробкою та виготовлення металевих виробів. Людський інтелект був і залишається в наш час спрямованим на розробку металургійних та ливарних технологій, а також нанотехнологій, орієнтованих на створення нових металевих і композиційних сплавів з кращими експлуатаційними характеристиками.

В наш час, коли суттєво збільшується вага інтелектуальної складової в економіці та бізнесі, важливо знайомитись та вивчати шлях, що пройшли інтелектуали інженерної праці впродовж тисячоліть. І хоча людство ступило на поріг Четвертої промислової революції – революції речей, метали і надалі відіграватимуть значну роль в створенні принципово нових роботизованих та інтернет систем.

За прискореним плином часу ми не завжди звертаємо увагу на речі, що оточують нас. Нові прилади, обладнання, роботи і смартфони, транспортні засоби стають звичними не тільки молодим, а й представникам старшого покоління. Історія науки і техніки свідчить, що немає меж вдосконаленню. Кожна раніше створена технічна чи наукова розробка є тільки черговою сходинкою для подальшого пошуку і розробки все досконаліших технологій чи механізмів.

Імпульсом до написання цієї книги стало розуміння автором нерозривного зв'язку між людським інтелектом, науково-технічними розробками і ринковими відносинами. Досягнення гармонії в межах цього трикутника стимулює розвиток людської цивілізації, її подальший прогрес. Хоча слід відзначити, що теоретичне підґрунття світової економіки не є універсальним і кожна країна проходить свій шлях по-своєму. Вважаю, що це свідчить про відсутність комплексного підходу до створення комп'ютерної моделі управління економікою та її правового забезпечення. Поділ людську цивілізацію на різні «–ізми» свідчить про недосконалість та незрілість її розвитку, відсутність в наш час команди науковців та бізнесменів, які б розробили таку систему виходячи з глобалізації ринку та принципів Індустрії 4.0.

В **першому розділі** книги на прикладах показано номенклатуру і ступінь використання металів в найбільш поширених транспортних засобах (автомобіль, літак), засобах зв'язку (смартфон) і персональних обчислювальних пристроях (планшет). Також представлена інформація стосовно динаміки світового виробництва в XXI столітті сталі, кольорових металів (алюміній, мідь, магній, титан), рідкісноземельних металів, а також виліток з чорних і кольорових металів.

В **другому розділі** представлені реперні точки розвитку металургії та ливарства Близького Сходу, Китаю, території сучасної України, Японії, Франції, Московської держави (імперії), США. Дана інформація стосовно здобутків видатних вчених, ливарників та промисловців того часу.

В **третьому розділі** показана хроніка розвитку промисловості в світі під час Першої промислової революції (друга половина XVIII ст. – друга половина XIX ст.). Показано, як винахідники, інженери та промисловці з різних країн створювали принципово нові металеві вироби, технологічні процеси та машини.

В **четвертому розділі** розповідається, як за часів Другої промислової революції (друга половина XIX ст. – початок XX ст.) були створені технології промислового виробництва сталі. Представлена інформація стосовно плеяди науковців, інженерів та промисловців з різних країн світу, які розробляли нові ливарно-металургійні технології та обладнання.

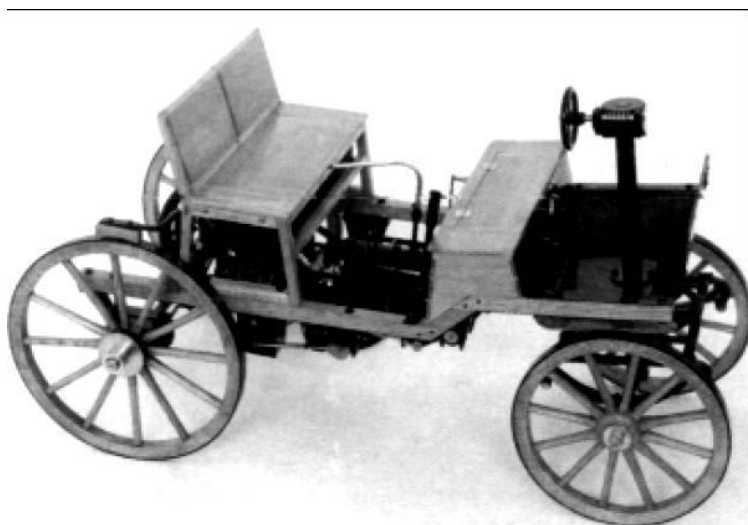
В **п'ятому розділі** розповідається про наукові та промислові здобутки під час Третьої промислової революції (70-і роки XX ст. – 2010р.).

В **шостому розділі** йде мова про тенденції Четвертої промислової революції (2011р. –...).

Розділ перший. Тренди металевої цивілізації

Впродовж тисячоліть силою інженерного інтелекту людей було створено безліч приладів, пристроїв та машин для використання в домашньому господарстві, для обробки землі, переробки харчових продуктів, переміщенню по суші, в повітрі, під водою та в космосі, в промисловості та бізнесі, для зв'язку. При їх проектуванні в конструкції закладали застосування металів: сплавів чорних і кольорових, рідкісних і рідкісноземельних металів. Навіть більше: обладнання металургійних та машинобудівних заводів теж виготовлено з металів. А офісні центри і житлові будинки! При їх спорудженні теж використані метали. Навіть енергозберігаючі композитні плівки на вікнах в переважній більшості містять такий дорогий метал як срібло. Що ж давайте дізнаємось більше про використання металів!

Автомобілі. Найбільш поширеним транспортним засобом на нашій планеті є автомобіль. В 1875р. австрійський інженер **Зігфрід Маркус** (Siegfried Marcus, 1831-1898) створив перший автомобіль з 4-х тактним бензиновим двигуном внутрішнього згорання та магніто-електричним запалюванням [1, 2].



Модель автомобіля Зігфріда Маркуса (Siegfried Marcus), 1875р. [1]



Зігфрід Маркус [2]

Після запровадження у 1913р. американським інженером і бізнесменом **Генрі Фордом** (Henry Ford, 1863-1947) конвеєрного складання [3], виробництво автомобілів в світі почало динамічно збільшуватись. Тільки за період з 2000 по 2017р. виробництво автомобілів в світі за даними Міжнародної організації підприємств автомобільної промисловості (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, OICA) зросло майже в 1,7 рази і в 2017р. сягнуло 97,3 млн. шт. (рис. 1.1) [4].



Рис. 1.1. Динаміка виробництва автомобілів в світі за даними OICA [4]

Виробництво автомобілів всіх видів базується на використанні як чорних, так і кольорових металів, що застосовуються як у вигляді прокату, так і виливок. Опосереднена структура використання в 2015р. матеріалів при виготовленні автомобілів представлена Дугом Річманом (Doug Richman) з компанії Kaiser Aluminium, США (рис. 1.2) [5].

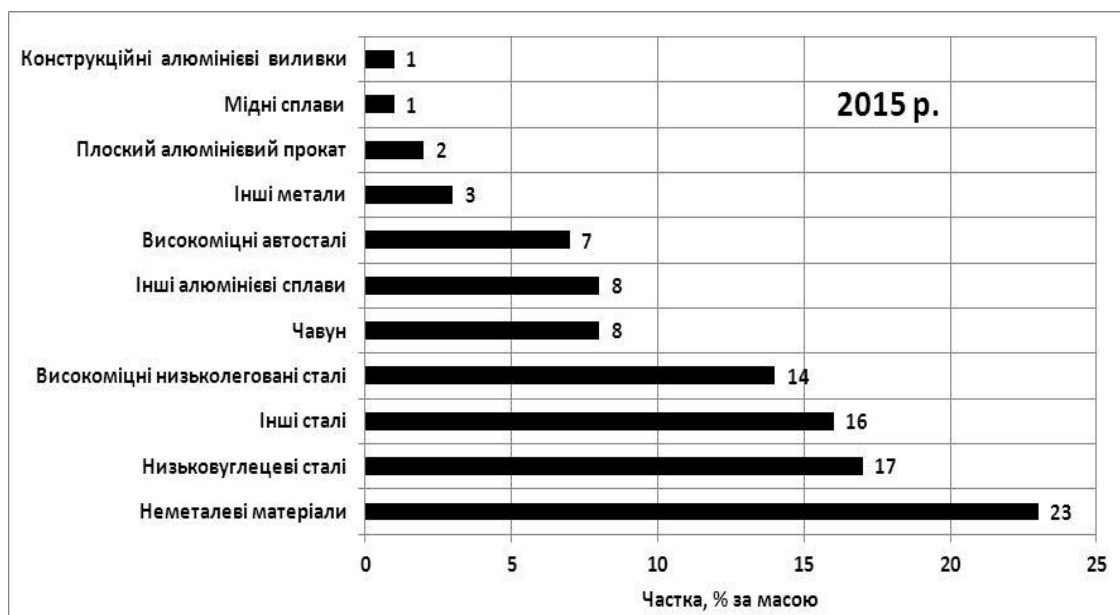


Рис. 1.2. Структура використання в 2015р. матеріалів в автомобілях [5]

Як бачимо, в 2015р. в конструкціях автомобілів переважали сплави чорних металів, частка яких становила 55% за масою. В той час як на деталі з кольорових металів припадало 12%, в тому числі на вироби з алюмінієвих сплавів – 11%.

Прогнозується [5], що в 2025 (28)рр. буде досягнуто зменшення середньої маси автомобіля на 7%. Це буде забезпечено за рахунок збільшення використання деталей з алюмінієвих сплавів, частка яких досягне 17% за масою (рис. 1.3). Очікується, що в 2025р. з алюмінієвих сплавів в автомобілях будуть виготовляти 90% капотів, 60% дверей та бамперсів.

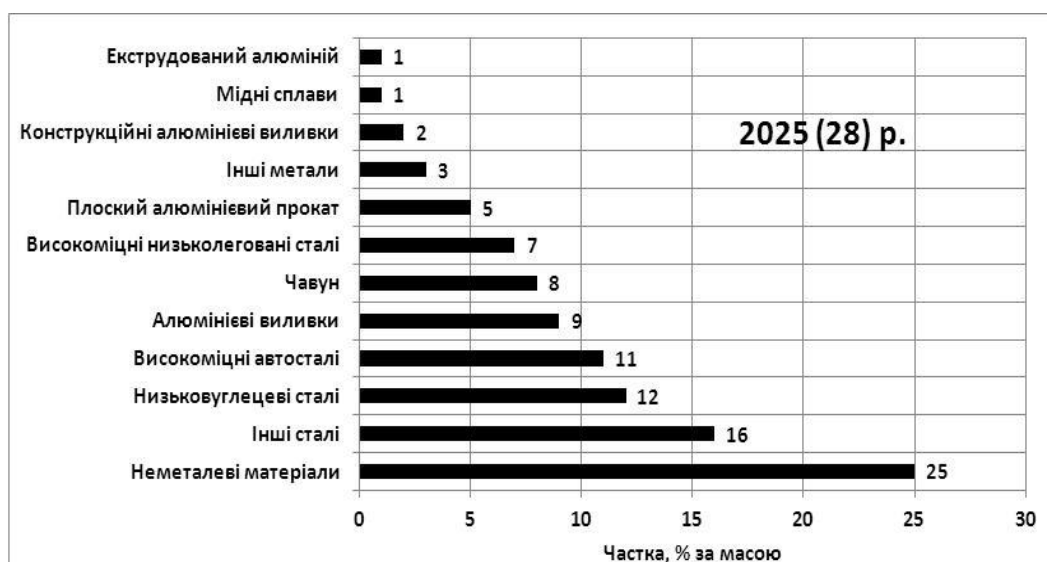


Рис. 1.3. Прогнозна структура використання в 2025 (28)р. матеріалів в автомобілях [5]

Доволі значна частка деталей з різних марок сталі, що використовується в автомобілях, обумовлює доволі масштабне виробництво сталі у відповідних країнах. Так 10 найбільших країн-автовиробників (78,4% світового виробництва у 2017р., ОІСА) суммарно

виробили у цьому ж році, згідно даних Світової асоціації сталі (World Steel Association, WSA), 1318,1 млн. т сталі або 78,0% світового виробництва (рис. 1.4).

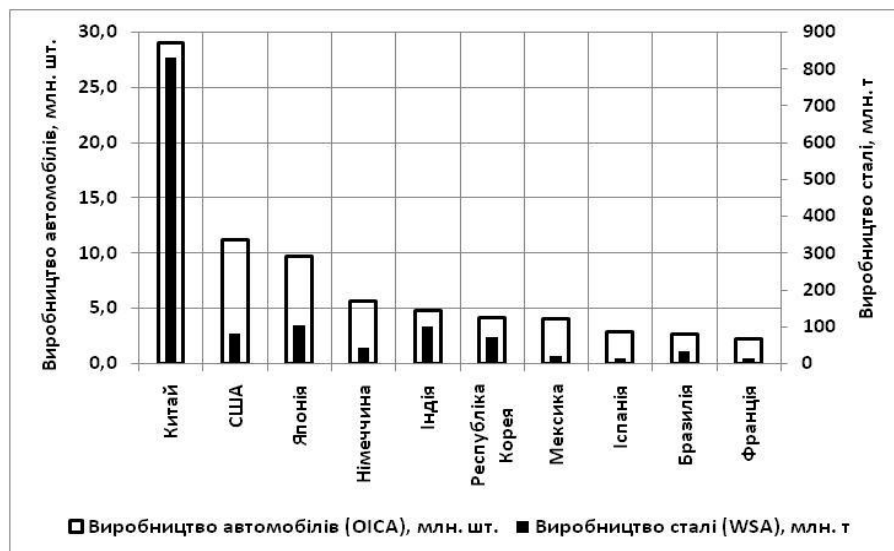
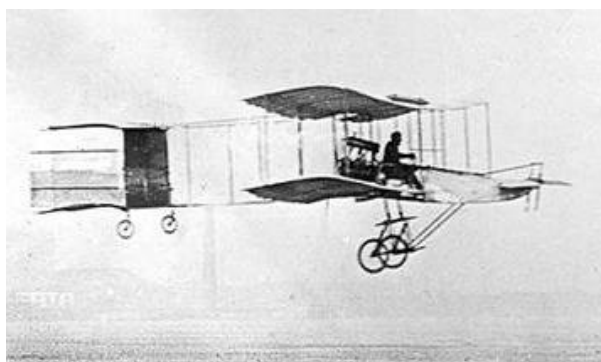
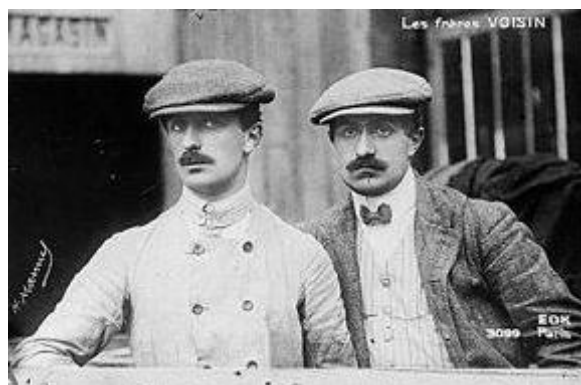


Рис. 1.4. Виробництво найкрупнішими країнами-виробниками світу автомобілів (OICA) та сталі (WSA) у 2017р.

Літаки. На початку ХХ століття в повітря піднялись перші літаки обладнані двигунами внутрішнього згорання. В США перший літак-біплан з бензиновим 4-х тактним двигуном братів **Уїлбера і Орвілла Райтів** (Wilbur and Orville Wright) здійснив свій політ 17 грудня 1903р. В Франції перший європейський літак-біплан збудували брати **Габріель і Чарльз Воїсін** (Gabriel Voisin, 1880-1973, і Charles Voisin, 1882-1912). На цьому літаку **Генрі Фарман** (Henry Farman, 1874-1958) вперше піднявся в повітря в листопаді 1907р., а в 13 січня 1908р. здійснив перший офіційний політ по колу на відстань 1км та виграв приз 50 000 франків [1, 7].



Біплан братів Воїсін у 1907р. [7]



Габріель (ліворуч) і Чарльз Воїсін в 1906р. [7]

Впродовж ХХ століття в світі була створена потужна авіабудівна промисловість. Основними виробниками авіапродукції є компанії США, Франції, Німеччини, Італії, Швейцарії, Великобританії, Росії, Китаю та України. За даними Загальної асоціації виробників авіації (General Aviation Manufacturers Association, GAMA) [6] у 2017р. всього в світі було виготовлено 2324 комерційних літаки, з них в США - 1596 (68,7% світового виробництва) і в Європі – 580 (25%) (рис. 1.5).

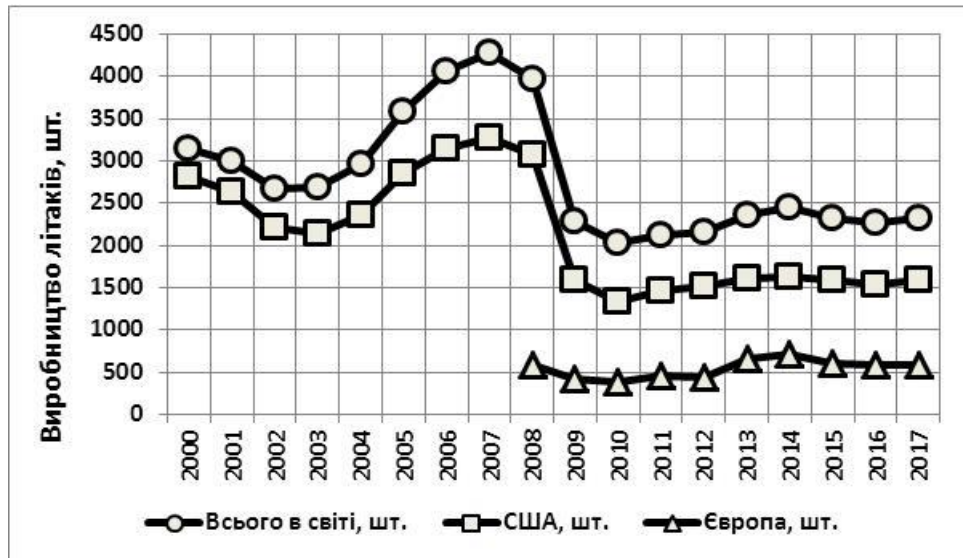


Рис. 1.5. Динаміка світового виробництва комерційних літаків у XXI ст. [6]

Відносно матеріалів, що використовуються при виробництві сучасних літаків загального призначення, то потрібно зазначити наступне. Специфічні вимоги до матеріалів літальних апаратів, а саме поєднання міцності з легкістю, а також корозійною стійкістю, обумовлюють постійний розвиток матеріалознавства та металургії. Крім того потрібно виходити з технологічних можливостей промисловості країни виробника та цінових параметрів матеріалів. Так, в конструкції американського літака Boeing 787 на композиційні матеріали припадає 50% маси, а в конструкції європейського літака A300B4 переважають алюмінієві сплави, частка яких складає 77% (рис. 1.6 і 1.7).

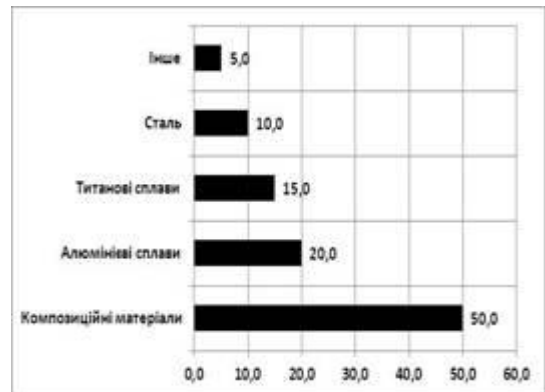


Рис. 1.6. Використання матеріалів в конструкції літаку Boeing 787, % за масою [3, 8]

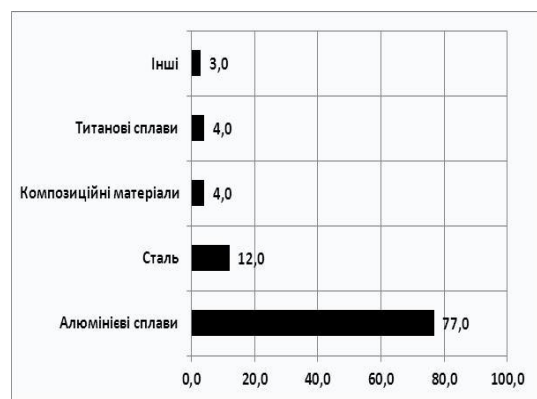


Рис. 1.7. Використання матеріалів в конструкції літаку A300B4, % за масою [7, 8]

В авіаційній промисловості США при створенні конструкції літаків використовується досить широка гамма матеріалів. І це не тільки металеві сплави, що мають кристалічну структура, а й складні композиційні системи [9].

Таблиця 1.1
Матеріали, що використовуються в літакобудуванні США [9]

Матеріал	Марка	Система	Щільність, кг/м ³	Ціна (2008р.)	
				USD/lb	USD/kg
Сталь	4340 (аналог 34X2H2M)	Fe-Ni-Cr-Mn	7830	1	2,2
Дерево	Spruce	Хвойні породи	560	2	4,4
Композит	Glass-epoxi	Скло-епоксидний	1960	2,9	6,4
Сплав алюмінієвий	2024 T3 (аналог Д16)	Al-Cu-Mg-Mn	2800	3	6,6
Сплав алюмінієвий	7075 T6 (аналог В95)	Al-Zn-Mg-Cu	2800	3	6,6
Сталь мартенситного класу	C-250	Fe-Ni-Co-Mo	7920	5	11,0
Титан	8Al-1Mo-1V	Ti-Al-Mo-V	4370	15	33,1
Композит	Draphite-epoxi	Графіт-епоксидний	1540	32	70,5
Композит	Boron-Aluminium	Бор-алюміній	2800	320	705,5

Крім того слід звернути увагу на специфічні вимоги до металевих сплавів, які використовуються в конструкціях авіаційних реактивних двигунів [8].

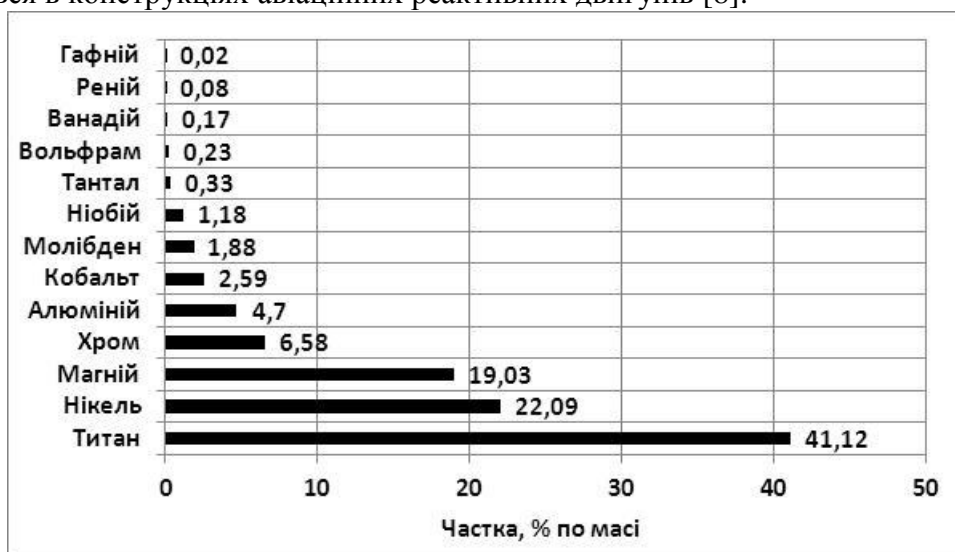


Рис. 1.8. Вміст металів в сплавах, що використовуються при виготовленні авіаційних двигунів [8]

Жорсткі умови, в яких працюють авіаційні реактивні двигуни потребують використання жароміцних сплавів, що характеризуються регламентованими експлуатаційними характеристиками при високих температурах (рис. 1.8).

Мобільні телефони, смартфони та планшети. Перший комерційний мобільний (стільниковий) телефон DynaTAC 8000X (**D**ynamic **A**daptive **T**otal **A**rea **C**overage) випустила у 1983р. американська компанія Motorola. Батьком DynaTAC вважається американський інженер **Мартін Купер** (Martin Cooper), що народився 26 грудня 1928р. в сім'ї емігрантів з України [3].

З того часу інженери створили три покоління мобільних телефонів, які поступово суттєво розширили можливості споживачів, включаючи підключення до Інтернету та відкриту операційну систему. Перше покоління було створено впродовж 1983-2000 років, друге покоління – 2000-2007 років і третє покоління після 2007р. [10].



Мартін Купер у 2010р. [3]



Мобільний телефон Motorola DynaTAC [3]

Як свідчать дані Асоціації GSMA [11], за період з 2008 по 2014р. кількість мобільних абонентів на світовому ринку збільшилась з 2,346 до 3,636 млрд. чол. або на 55%. Прогнозується, що в 2020р. кількість мобільних абонентів у світі сягне 4,595 млрд. чол., що співставно з очікуваною кількістю населення на планеті старше 14 років.

В той же час стрімко зростає цифрова комерція. Якщо в 2013р. її обсяг становив 1,2 трлн. USD, то у 2015р. вона збільшилась на 42% і досягла 1,7 трлн. USD. Прогнозно очікується, що в 2018р. світовий обсяг цифрової комерції буде становити 2,4 трлн. USD.

Аналіз світового ринку **смартфонів** і **планшетів** свідчить, що у 2015р. компанії-виробники поставили 1432,9 млн. шт. смартфонів та 206,9 млн. шт. планшетів (табл. 1.2) [12]. За підсумками 2015р. частка п'яти найбільших виробників даної продукції складає понад 50%. Причому відмічається, що у 2016р. в світі 2,16 млрд. чоловік використовували смартфони. Це становить 46,4% всіх користувачів мобільних телефонів або 29% населення нашої планети. Ситуація на ринку планшетних комп'ютерів суттєво змінилась після появи у 2010р. моделі Apple iPad. Згідно оцінок користувачами планшетів є 1,2 млрд. чоловік або 16% населення світу [12].

Таблиця 1.2

Поставки на світовий ринок смартфонів і планшетів у 2015р. [12]

Компанія, місцезнаходження головного офісу	Ринок смартфонів		Компанія, місцезнаходження головного офісу	Ринок планшетів	
	Кількість, млн. шт.	Частка, %		Кількість, млн. шт.	Частка, %
Samsung, Республіка Корея	324,8	22,7	Apple, США	49,6	24,0
Apple, США	231,5	16,2	Samsung, Республіка Корея	33,4	16,1
Huawei, КНР	106,6	7,4	Lenovo, Гонконг	11,2	5,4
Lenovo, Гонконг	74	5,2	ASUS, КНР	7,1	3,4
Xiaomi, КНР	70,8	4,9	Huawei, КНР	6,5	3,1
Разом	807,7	56,4	Разом	107,8	52,1
Інші	625,2	43,6	Інші	99,1	47,9
Всього	1432,9	100,0	Всього	206,9	100,0

Для ефективного розвитку ринку мобільних телефонів та планшетів потрібно розробляти нові та збільшувати випуск відповідних компонентів. Як свідчать оціночні дані,

наведені в роботі [12], у 2014р. для виробництва смартфонів у світі було використано 12,4 тис. т пластмас і 129,2 тис. т скла та кераміки, а для виробництва планшетів – 6,1 тис. т пластмас, 15,3 тис. т скла та 46,9 тис. т кераміки. Крім того, для виготовлення цієї продукції було використано 19 найменувань металів загальною вагою 66,6 тис. т (смартфони) і 30,7 тис. т (планшети) (рис. 1.9 і 1.10) [12].

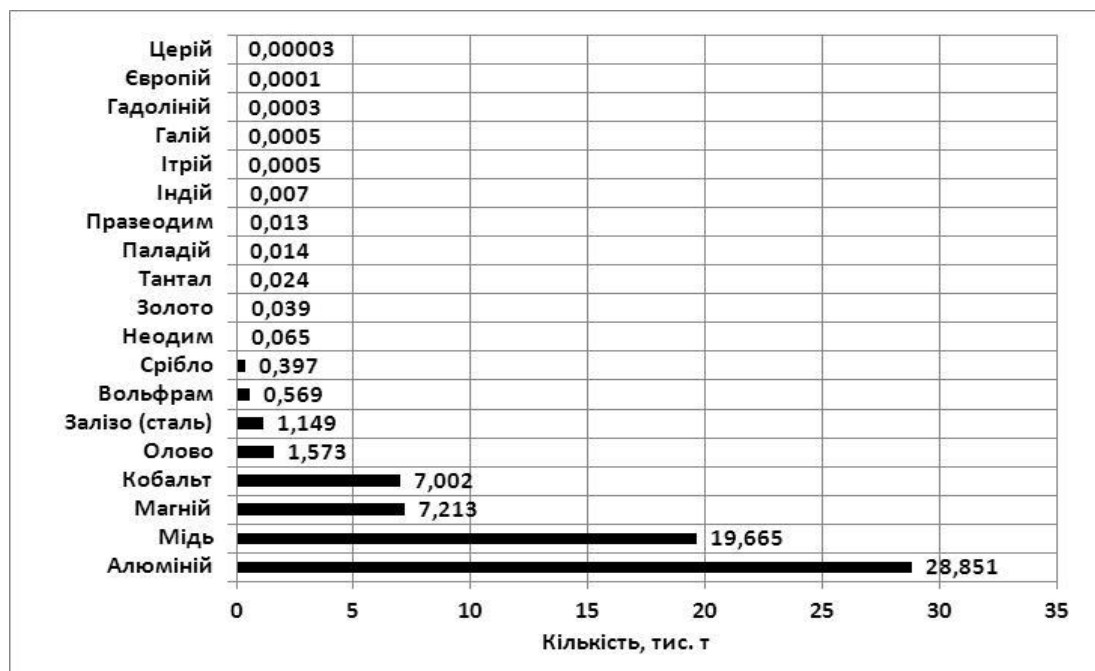


Рис. 1.9. Оціночне використання металів у світі для виготовлення смартфонів у 2014р. [12]

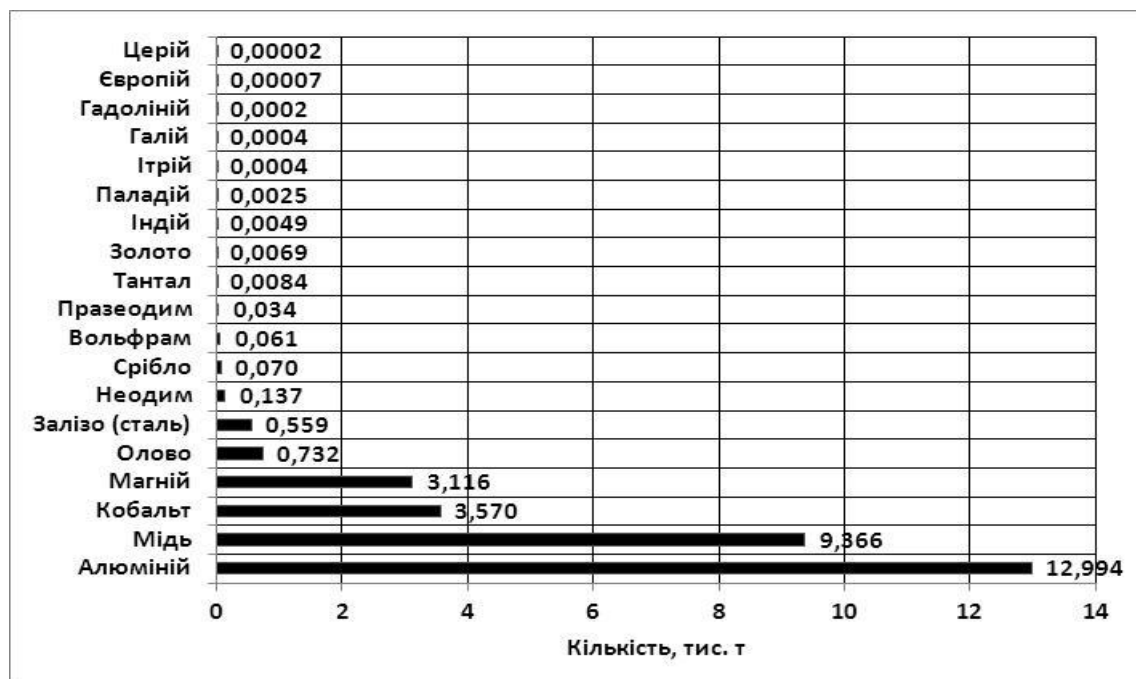


Рис. 1.10. Оціночне використання металів у світі для виготовлення планшетів у 2014р. [12]

Очевидно, що збільшення темпів наповнення світового ринку металомісткими виробами стимулює зростання виробництва відповідних металів та сплавів.

Виробництво сталі. Згідно даних Світової асоціації сталі (World Steel Association, WSA) виробництво сталі в світі характеризується позитивним трендом. Впродовж 2000-2017рр. виробництво сталі збільшилось майже удвічі, з 850 до 1675 млн. т (рис. 1.11).

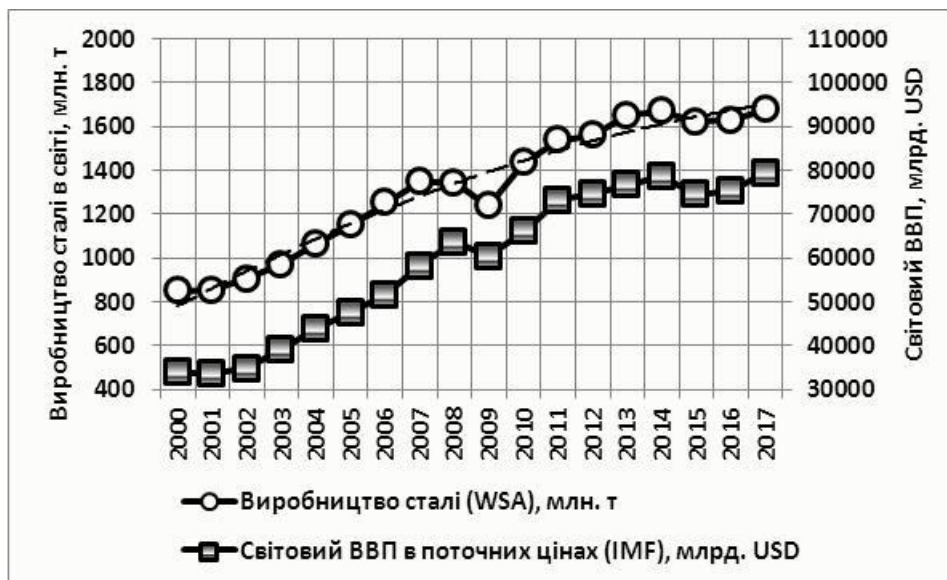


Рис. 1.11. Динаміка виробництва сталі в світі (WSA) і світовий ВВП (IMF)

Лідируючу десятку країн, виробників сталі, за підсумками 2017р. формують Китай (частка 49,49%), Японія (6,23%), Індія (6,03%), США (4,86%), Росія (4,24%), Республіка Корея (4,23%), Німеччина (2,59%), Турція (2,23%), Бразилія (2,04%) і Італія (1,43%). Україна звітного року займала 12 місце у рейтингу з часткою 1,35%.

У світовому вимірі споживання виробів з сталі у 2014р. в галузевому розрізі розподілялось наступним чином: будівництво - **50%**, машинобудування - **16%**, автомобілебудування - **13%**, виробництво металевих виробів - **11%**, виробництво інших транспортних засобів - **5%**, виробництво електричного обладнання - **3%** і виробництво побутової техніки - **2%** [14]. Потрібно відмітити, що стан світового ринку продукції з сталі суттєво впливає на світову економіку. Про це свідчить і те, що коефіцієнт кореляції між виробництвом сталі і обсягом світового ВВП в 2000-2017рр. становить 0,99.

Виробництво кольорових металів. До найбільш затребуваних кольорових металів відносяться алюміній, мідь, магній та титан. За період з 2000 по 2017р. виробництво первинного **алюмінію** в світі збільшилось з 24,7 до 63,4 млн. т або в 2,6 рази; рафінованої **міді** з 14,8 до 23,5 млн т або в 1,6 рази; металевого **магнію** з 368 до 1100 тис. т або в 3 рази і **титану** у вигляді губки з 54 до 170 тис. т або в 3,1 рази (рис. 1.12) [15, 22].

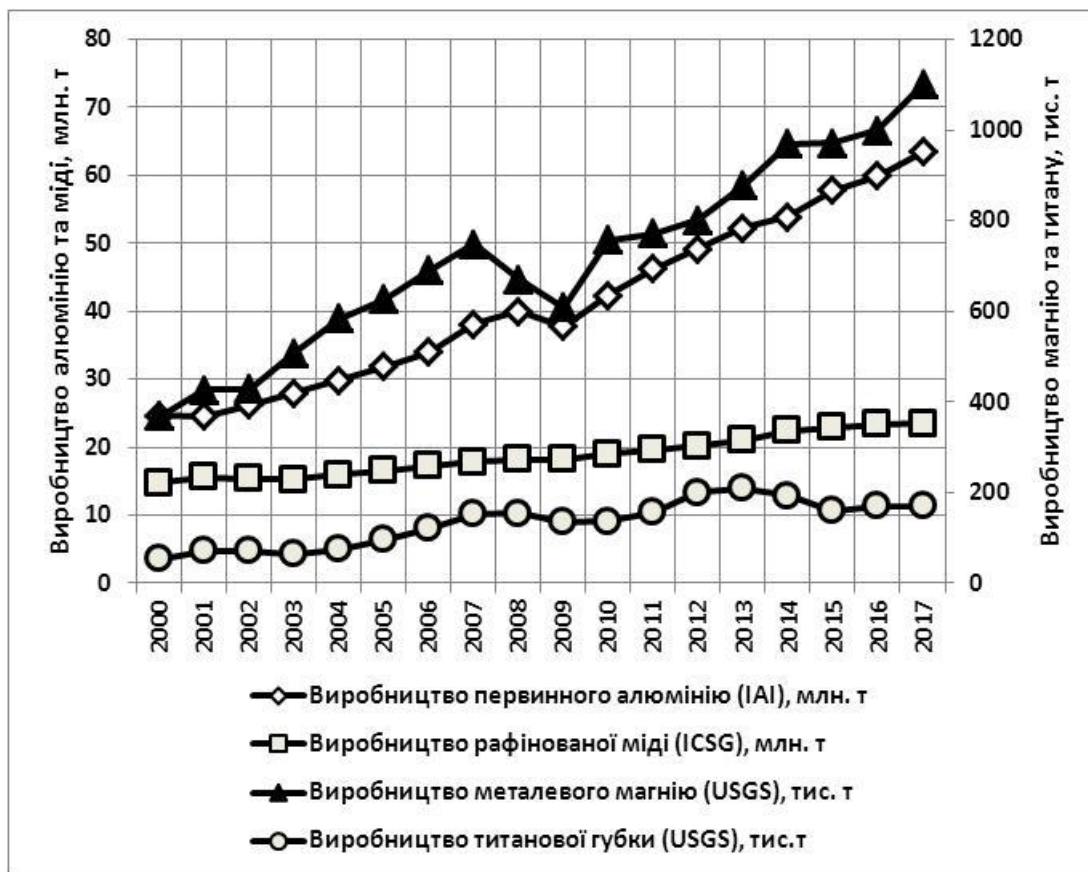


Рис. 1.12. Динаміка виробництва в світі кольорових металів [IAI, ICSG, USGS]

Алюміній. Лідером світового ринку алюмінію є Китай, частка якого в сегменті виробництва первинного алюмінію у 2017р. за даними Міжнародного інституту алюмінію (International Aluminium Institute, IAI) склала 50,9% (32,3 млн. т). В призову трійку також входять країни Ради співробітництва арабських держав в Персидській затоці (8,1%, 5,1 млн. т) і країни Східної та Центральної Європи (6,3%, 4,0 млн. т) [15].

Галузеве споживання первинного алюмінію в масштабі світової економіки в 2014р. розподілялось наступним чином: транспортне машинобудування – 27%, будівництво – 24%, виробництво пакувальних матеріалів – 15%, електротехнічна промисловість – 14%, машинобудування – 10%, виробництво промислових товарів – 5% і інші споживачі – 5%.

В географічному вимірі найбільше споживання первинного алюмінію має місце в Китаї (48% світового обсягу). На наступних місцях країни Азії (18%) і Західної Європи (13%), США (10%), інші країни (5%), країни Латинської Америки (3%), Африки (2%) і Океанії (1%) [16].

Прогнозується, що впродовж 2016-2021рр. буде мати місце секторіальне зростання споживання алюмінію в світі. Так транспортне машинобудування збільшить використання алюмінію на 4,9% щорічно, виробництво машин і обладнання, а також електротехнічна промисловість – на 4,2%, виробництво товарів тривалого споживання – на 3,5%, виробництво упаковки – на 3,3%, виробництво фольги – на 2,9% і в будівництві – на 2,1%. В результаті у 2021р. світове споживання алюмінію та його сплавів може сягнути 100 млн. т [17].

Мідь. Найбільшими виробниками рафінованої міді в світі за результатами 2016р. є Китай, Чілі та Японія [19]. У 2014р. їх частка у світовому виробництві становила, відповідно, 33%, 12% і 7% [20].

Як свідчить International Copper Study Group (ICSG), в 2016р. галузеве споживання міді та її сплавів склалось наступним чином: обладнання – 31%, будівництво – 29%, інфраструктура – 16%, транспорт 13% і промисловість - 11% [19].

Магній. За попередніми даними U.S. Geological Survey (USGS) у 2017р. лідерами світового ринку металевого магнію були Китай (930 тис. т; 84,5% світового обсягу), Росія (60 тис. т; 5,5%) і Ізраїль (24 тис. т; 2,2%) [21].

Металевий магній широко використовуються в різних галузях. Так, у 2016р. 37% світового виробництва магнію знайшло застосування при виплавці алюмінієвих сплавах, вироби з яких використовувались в авіа- та автомобілебудуванні. Для виливків, отриманих литтям під тиском, було вжито 32% металевого магнію. В цьому випадку виготовлялись автозапчастини та виливки для аерокосмічної галузі. При виробництві чавуну та сталі використано 15% металевого магнію. Для виготовлення титанової губки було застосовано 10% магнію. Решта 6% було спожито для магнієвих електричних акумуляторів [23].

Титан. Найбільшими виробниками титанової губки у 2017р. є Китай (60 тис. т; 36% світового обсягу), Японія (48 тис. т; 29%) та Росія (40 тис. т; 24%) [22].

В Китаї на кінець 2014р. склалась така структура споживання прокату титану: хімічна промисловість – 46,9%; електротехнічна – 14,6%; аерокосмічна – 10,9%; спортивні вироби - 6,8%; металургія – 6,4%; виробництво солі – 4%; суднобудування – 2%; військово-морський флот – 1,8%; медичне обладнання – 1,6%; інше – 5% [24].

Рідкісноземельні метали. У XXI столітті виробництво рідкісноземельних металів (РЗМ) характеризується, в цілому, підвищувальним трендом.

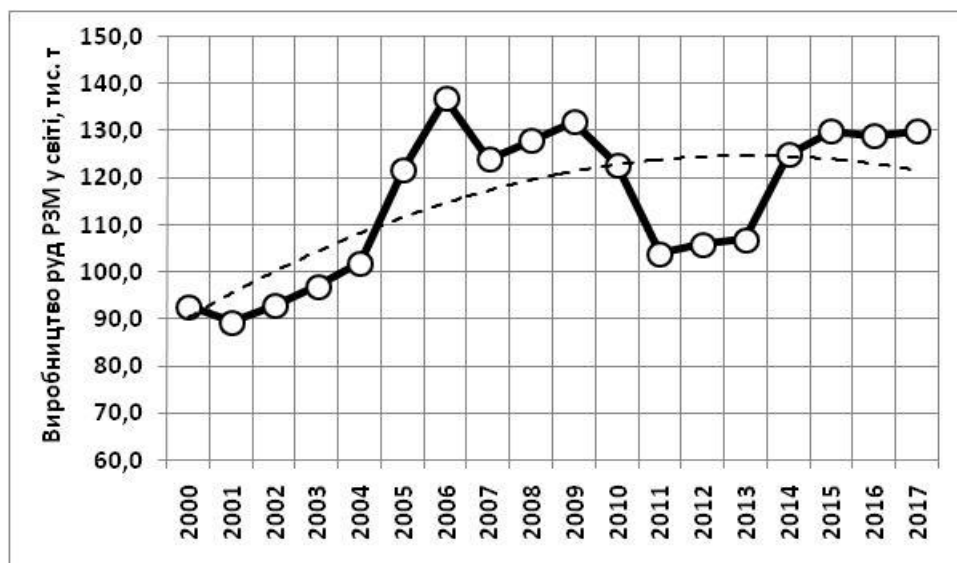


Рис. 1.13. Динаміка виробництва руд РЗМ у перерахунку на окисли РЗМ [USGS]

Згідно даним U.S. Geological Survey (USGS) за період 2000-2017рр. виробництво у світі руд РЗМ у перерахунку на окисли РЗМ збільшилось з 92,7 до 130 тис. т або на 40% (рис. 1.13). Монополістом світового ринку РЗМ є Китай, середня частка якого впродовж звітного періоду становить 91%. На наступних місцях знаходяться Австралія (20,0 тис. у 2017р.; 15%) та Росія (3,0 тис. т; 2%) [22].

Рідкісноземельні метали знаходять застосування як в цивільних галузях промисловості, так і в військовій. Так, в США за підсумками 2016р. РЗМ використовувались в якості каталізаторів - 55%; для виробництва сплавів - 15%; у виробництві кераміки та скла – 10%, для полірування виробів – 10% і в інших сферах – 10% [25]. В світовому вимірі у 2015р. РЗМ використовувались у якості каталізаторів – 24%; при виготовленні магнітів – 23%; для полірування виробів – 12%; інше застосування - 9%; у металургії – 8%; для

виготовлення електричних батарейок – 8%; при виготовленні скла -7%, кераміки – 6% та пігментів – 3% [26].

Виливки з сплавів чорних металів. Згідно щорічних оглядів, що публікує американський журнал «Modern Casting», виробництво виливок з чорних і кольорових сплавів у світі впродовж 2000-2016рр., незважаючи на економічну кризу 2008-2010рр., збільшилось з 64,8 до 104,4 млн. т або на 61% (рис. 1.14) [27].

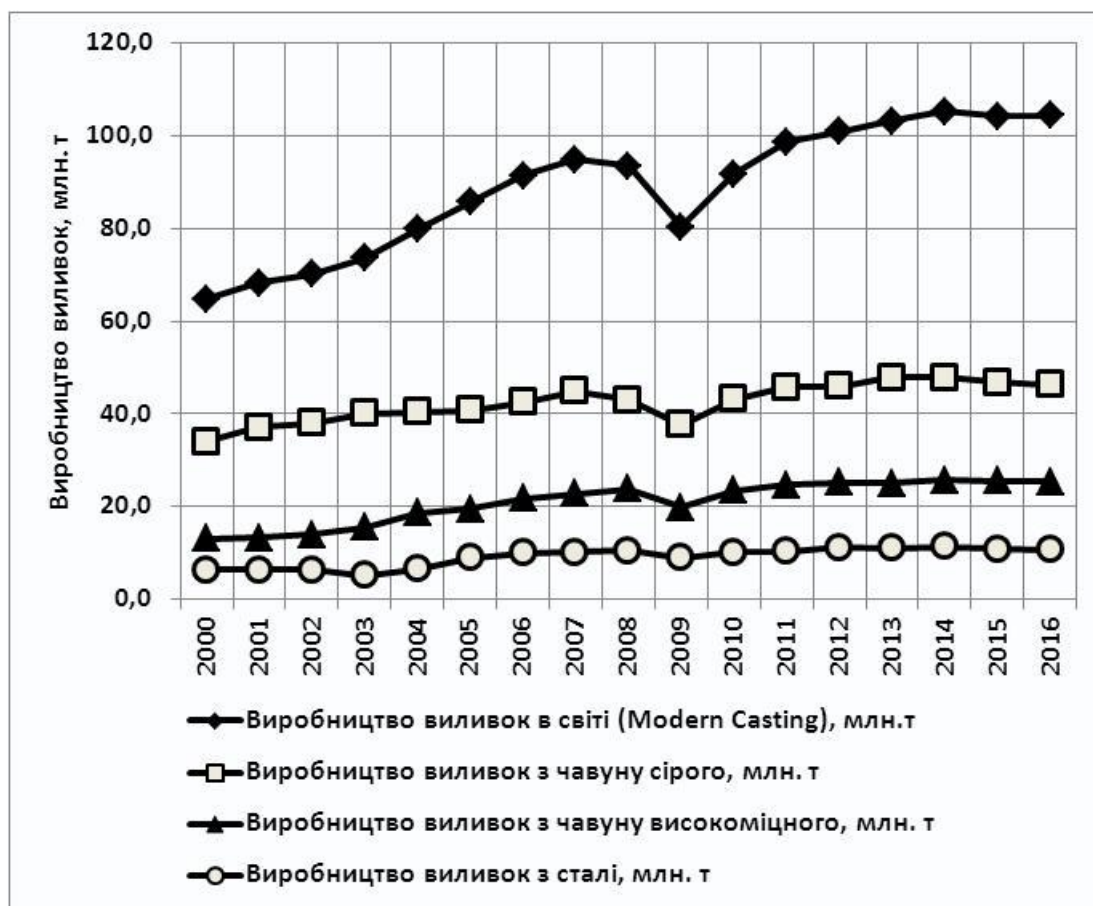


Рис. 1.14. Динаміка виробництва виливок в світі, в тому числі з чорних металів

П'ятірку країн-лідерів світового ливарного ринку у 2016р. сформували Китай (47,2 млн. т; 45,2% світового виробництва), Індія (11,4 млн. т; 10,9%), США (9,4 млн. т; 9,9%), Японія (5,2 млн. т; 5,0%) та Німеччина (5,2 млн. т; 5,0%). Загалом на ці країни припадає 75% світового виробництва виливок.

Стосовно сплавної сегментації, то на виливки з сірого чавуну припало в 2016р. 44,3% загального виробництва в світі, на високоміцний чавун – 24,4%, на сталь 10,2 %. При цьому за 2000-2016рр. виробництво виливок з сірого чавуну збільшилось на 36%, з високоміцного чавуну майже в 2 рази і з сталі на - 67%. Китай займає в світі перше місце з виробництва виливок з сірого чавуну (44,0% у 2016р.), високоміцного чавуну (51,8%), чавуну ковкого (73,4%) і сталі (47,9%).

Доречно відмітити, що в світовій сплавовій структурі у 2016р. на виливки з алюмінієвих сплавів припадає 17,1%, мідних сплавів - 1,8% і магнієвих сплавів – 0,3%. Загалом за 2000-2016рр. виробництво в світі виливок з алюмінієвих сплавів збільшилось у 2,2 рази, мідних сплавів – у 1,8 рази і магнієвих сплавів – у 3 рази (рис. 1.15).



Рис. 1.15. Динаміка виробництва виливок з кольорових металів в світі

Світовим лідером у виробництві виливок з алюмінієвих сплавів з часткою 38,6% є Китай. Він також лідирує у виробництві виливок з мідних сплавів – 42,7% світового обсягу. В той же час США найбільше в світі виробляє виливок з магнієвих – 45% і цинкових сплавів – 32%.

Таким чином бачимо, що без застосування металів людська цивілізація не відбулась би. Далі, подорожуючи крізь час, ми зможемо пізнати шляхи інженерної думки, що торувала невідоме і вирішувала вельми складні проблеми створення металевих сплавів та металургійно-ливарних технологій.

Розділ другий. Хроніка металів: від початку ери металів до 1774р.

Деякі реперні точки для читача. Дослідники вважають, що на планеті Земля перші люди з'явилися приблизно **2,5 млрд. років** тому на території сучасної Африки. Вони змогли опанувати вогонь в якості засобу до існування приблизно **300 тис. років** тому. Приблизно **70 тис. років до н. е.** люди переселилися зі Східної Африки на Аравійський півострів. Приблизно **9,5-8,5 тис. років до н. е.** на території сучасних Єгипту, Сирії, Лівану, Туреччини та Ірану люди почали переходити до ведення сільського господарства [258].

9000р. до н. е. - Найперші металеві предмети з **кованої самородної міді** вироблялись на Близькому Сході [1].

4000р. до н. е. - Племена Закавказзя освоїли техніку лиття металів ще в епоху ранньої бронзи, використовуючи спочатку кам'яні ливарні форми, а пізніше – лиття за моделями, що витоплюються [7].

3800-3600 років до н. е. – Так датується вперше знайдена в Україні (м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл.) **ливарня** часів трипільської культури (5400-2750рр. до н. е.). В розкопі на території Польського ринку міста виявлено три фрагменти ливарних тиглів, шість фрагментів мідних пластин і мідний шлак (див. фото) [65].



Фрагменти ливарні часів трипільської культури, Україна

3200 р. до н. е. - Найдавніші **мідні виливки** у вигляді статуєтки жаби відливали в Месопотамії [1].

3000 р. до н. е. – Так датовано ранні литі бронзові знаряддя праці та зброя в постійних кам'яних форм на Близькому Сході [1,16]. В Індії для виготовлення художнього литва використовували спосіб лиття за восковими моделям, що витоплюються. Вважається, що відома **бронзова танцівниця** з м. Мохенджо-Даро (Пакистан), відлита саме цим способом. Розміри статуєтки: 10,5x5см. Знайдена вона в 1926р. англійським археологом **Ернестом Маккейєм** (Ernest Mackay, 1880-1943) і датується 2500р. до н. е. Місто Мохенджо-Даро засновано близько 2600 року до н. е. і було покинуте десь за дев'ястсот років по тому. Вважається, що за часів розквіту місто було адміністративним центром цивілізації долини ріки Інд і одним з найрозвиненіших міст Південної Азії [7, 22]. Фото - <https://megabook.ru>.



Дівчинка, яка танцює. Бронза, Національний музей Індії в Нью-Делі

3000-2500 рр. до н. е. - На Близькому Сході відливали дрібні предмети методом лиття за моделям, що витоплюється [1].

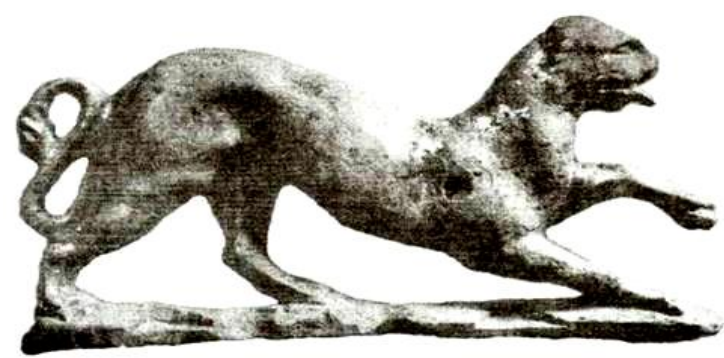
Початок 2000рр. до н. е. - Результати археологічних розкопок та знайдені плавильні печі і шлак свідчать про виникнення примітивної **чорної металургії** в Центральній Африці, на плато Конго—Замбезі [7].

1750-1400 рр. до н. е. – На острові Крит в Середземному морі в епоху розквіту мінойської культури (3000-1000 роки до н. е.) отримала значний розвиток **бронзолivarна справа** [7, 18].

1500 р. до н. е. – Так датуються вироби з **кованого заліза**, виявлені на Близькому Сході [1].

1000 р. до н. е. – Китайці навчилися переробляти кричне залізо в **чавун**, переплавляючи його в ливарному тиглі в присутності деревного вугілля [15].

1000 р. до н. е. – Ливарна майстерність древніх картвелів (грузин) досягає досить високого рівня: виробляються литі орнаментовані вироби. Художні виливки виготовляються за досить складною та оригінальною технологією; отримує подальший розвиток статуарне литво [7].



Статуетка барса. Виливок. Древня Грузія, Самтавро, I тисячоліття до н. е. [7]

1200-800 рр. до н. е. - В Китаї традиційна і специфічно китайська техніка лиття бронзи в складену форму-вливницю поступово замінюється технікою лиття за восковим моделям, що витоплюються [7].

1100-600 рр. до н. е. – В Єгипті на стінах гробниці в Фівах зображена ливарна майстерня, в якій працювали 12 майстрів [7].

770-403 рр. до н. е. – В Китаї почали виплавляти чавун тигельним способом і в так званих китайських вагранках [7].

600р. до н. е. – В Китаї виготовлено з чавуну ємність на тринозі вагою 600 фунтів (272 кг) [1].

400р. до н. е., 2-а пол.– Так датується **золота нагрудна пектораль**, що була знайдена у 1971р. українським археологом **Борисом Миколайовичем Мозолевським** (1936-1993) у скіфському кургані Товста Могила (гробниця володаря скіфів) на Нікопольщині, Україна. Прикраса важила 1159 г, мала діаметр 30,6 см і виготовлена з золота 958 проби (95,8% Au). Композиційно пектораль поділена на три місяцеподібні яруси з використанням трубок, що становлять каркас виробу. Наповненням пекторалі є більше ніж 40 скульптурних фігурок скіфів, реальних і фантастичних тварин. Сучасники вважають, що пектораль виготовив талановитий давньогрецький майстер-ювелір, застосовуючи лиття за восковою моделлю, гравірування, скань, зернь, паяння та інструктацію. В 1979р. Б. М. Мозолевський здобув звання кандидата історичних наук, захистивши дисертаційну роботу «Толстая Могила» [288-291].



Скіфська пектораль з Товстої Могили [290]



Борис Миколайович Мозолевський [289]

233р. до н. е. – В Китаї відлито чавунні орала до плуга [1].

200р. до н. е. – В Китаї за часів династії Хань (206 р. до н. е. – 220 р.) діє виробництво виливків з чавуну [1].

160-180рр. – В Римі, Італія було встановлено бронзову кінну статую римського імператора та філософа **Марка Аврелія** (121-180). Це єдина кінна фігура, яка вціліла з античних часів [18, 23].



Пам'ятник Марку Аврелію, бронза, Італія [23]

500р. - В Індії виготовлена ливарна тигельна (булатна) сталь [1].

500-700рр.- В Древній Русі (лісостепова смуга сучасної України) ливарники застосовують формовку за восковими моделями; відливають (вірогідно з бронзи) прикраси і деталі зброї в кам'яні форми з м'якого вапняку [68].

800-1100рр.- В Древній (Київській) Русі ливарники збільшили виробництво виливок (вірогідно з **бронзи**); з'являються лите церковне і домашнє начиння, деталі зброї, ікони складені тощо [68]. На Русі існували центри з обробки заліза, де виготовлялось щонайменше двадцять видів сільськогосподарських та ремісничих виробів, понад сорок видів знарядь побутового та сільськогосподарського призначення. Майстри володіли методами зварювання, лиття, кування, наварки та гартування, використовували плавильну піч домницю. Асортимент виробів з **заліза** загалом налічував близько 150 найменувань [259].

900рр. – На Древню (Київську) Русь завозили в невеликій кількості з Візантії та Херсонеса **бронзові** лампади, хрести-енколніони з написами грецькою мовою та інші предмети церковного начиння [68].

953р. – В м. Цанчжоу (Cangzhou), що в провінції Хебей (Hebei), Китаї виготовлена **порожниста чавунна статуя** Ші цзи-ван «Цар-лев» з використанням методу одночасного заливання з кількох вагранок. Вона має висоту 6 м, довжину 6,5 м, ширину 3 м і вагу 40 т. Вважається, що це найбільша і найдревніша чавунна скульптура в Китаї, а також найбільша чавунна скульптура у світі [7, 22].



Статуя Ші цзи-ван «Цар-лев», чавун, Китай [7]

1061р. – В Китаї під час царювання династії Сун (Song, 960–1279) була побудована **збірна чавунна пагода**, яка знаходиться перед храмом Юйцюань (Yuquan) в Даньяні (Dangyang), провінція Хебей (Hebei). Восьмикутна тринадцятиповерхова пагода має висоту 17,9 м і вагу 38,3 т [3, 22, 260].



Загальний вигляд чавунної пагоди, Китай [260]

1100-1200рр. - В Древній (Київській) Русі ливарники розширюють асортимент виливок і виготовляють **бронзові та мідні** панікадила, дзвони, булави тощо. При цьому кам'яні ливарні форми виробляють з все більш твердих порід каменю. При розкопках городища біля села Вщіже (Брянський повіт Орловської губернії) було знайдено дві сторони восьмикутного мідного панікадила, яке датується 1166 роком. Вважається, що його відливав майстер Костянтин, перший відомий ливарник Київської Русі [68].

1200-і рр. – Європейські ливарники при виготовленні соборних дзвонів використовували формування по шаблону в жирній глині [1].

1251-1259рр. – Так датуються знайдені в місті Великі Булгари (столиця Булгарського царства на р. Волга в IX-XII вв.) 8,5 тисяч шт. чавунних зливків і 85 невеликих криць. Там же були знайдені залишки плавильних глинобитних печей діаметром до 1м, які мали отвори (фурми) по висоті горну, що сприяло поширенню горіння деревного вугілля по висоті печі та науглецюванню заліза. Було встановлено, що чавун містив 4,5% вуглецю, 0,2% фосфору і невелику кількість кремнію, марганцю та сірки [23, 68, 69].

1252р. – В місті Камакура (Kamakura), Японія, на території храму Котокуїн (Kotokuin) була відлита з **оловяної бронзи статуя Великого Будди (Daibutsu)** висотою 13,4 м та вагою 93 т. Створювали статую скульптори Ōno Gōbemon та Tanji Hisatomo. Статуя була виготовлена з використанням каркасу та методу послідовного формування «ігаракурі» [1, 3, 18, 23].



Статуя Великого Будди, бронза, Японія
[фото з сайту <http://www.japan-guide.com>.]

1339р., 8 жовтня – В Франції були оплочені рахунки за 10 гармат – п'ять чавунних і п'ять з кольорового металу, - призначених для захисту міста Камбре. Це дозволяє припустити, що в той час виробництво литих гармат в Європі вже було налагоджено. На жаль, точна дата початку виробництва металевих литих гармат не встановлена [8].

1341р. – Галицький майстер **Яков Скорой**, Галицько-Волинське князівство, виготовив **Юрський дзвін**, який має висоту 85 см, найбільший нижній діаметр 71 см і вагу 415 кг. У верхній частині дзвону є дврядковий напис: «В ле[то] 6849 [1341] сольян был колокол сій святому Юрюю при князі Дмитрии игуменом Євфимьєм». Вважається, що це найстаріший дзвін в Україні. В наш час дзін знаходиться на дзвіниці, що розташована поряд з Юрським собором м. Львова [62, 64].



Юрський дзвін, бронза, Україна.
Фото Тетяни Жернової, 2015р.

Не раніше 1400рр. - В Європі вперше була використана вагранка для виплавки чавуну [7].

1453р. – Під час облоги султаном Мех-медом II (1432-1481) Константинополя в спеціально побудованій в Адріанополі гарматно-ливарній майстерні угорець **Урбан** з помічниками виготовляв з бронзи гігантські облогові гармати. Так, гармата «Дарданели» мала довжину 17 футів (5,2 м), важила більше 17 тонн і мала дальність стрільби майже милью (1,9 км) [8].

1468р. – В м. Львові (в складі Польського королівства) була побудована **перша міська ливарня** – людвісарня (лиття з міді) біля Краківської брами, яка виготовляла дзвони та гармати. На початку XVI ст. друга ливарня заснована біля Галицької брами. Вони проіснували кілька століть. Найбільшого розвитку ливарство у Львові досягло у другій половині XVI ст.



Гармата однофунтова (фалькон), калібр 53,5 мм. Середина XVI ст. Майстер Л. Герле, бронза, Львів [261]

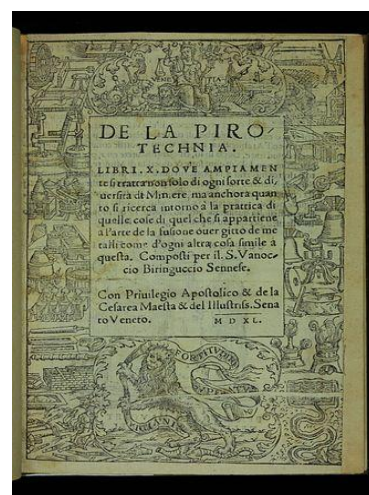
за майстра **Леонарда Герле**, походженням з Нюрберга, Німеччина [62, 261, 262].

1474р. – На запрошення московського царя Івана III (1440-1505) в Москву приїхав відомий тоді в Європі італійський механік, інженер і архітектор **Арістотель Фіораванті** (Ridolfo "Aristotele" Fioravanti, 1415 або 1420-1486), який також був знавцем ливарної справи. Головним завданням, яке було перед ним поставлене, це організація виробництва литих бронзових гармат. В 1479р. А. Фіораванті побудував в Москві перший гарматоливарний завод «Пушечная изба» [18, 22, 68].



Арістотель Фіораванті, портрет художника Лоренцо Лотто [18]

1480р. – Народився **Ванноччо Бірінгуччо** (Vannoccio Biringuccio, 1480-1539), італійський інженер, перший справжній ливарник і "батько ливарної промисловості". Він був архітектором, мінерологом і артилеристом, а також одним з видатних учених епохи Відродження в Італії. Його праця італійською мовою «De la pirotechnia» («Про піротехнію») в 10 книгах була надрукована після його смерті в Венеції, в 1540р. Автор висвітлює в книгах загальні питання геології, мінералогії і металургії. Були описані також способи виробництва артилерійської зброї та лиття дзвонів, а також вперше описано відбивна плавильна піч і процес амальгування срібла [1, 2, 9].



Оформлення палітурки книги Ванноччо Бірінгуччо

1500рр. – У Франції починають використовувати в ливарстві **пісок** в якості формувального матеріалу [1, 2].

1500-1700рр. – Гарматні **бронзи**, що використовували в Московській державі, містили переважно 5-11% олова, 0,3-2,6% свинцю, а також іноді 1,0-11% цинку. Склад гарматної бронзи корегувався шляхом проведення стрілецьких випробувань. Бронзи, що використовувались для виробництва дзвонів містили 20-25% олова, що забезпечувало їх задовільне звучання [68].

1533р. - **Ґеорґіус Аґрікола** (псевд., справжнє ім'я Георг Бауер (Павер), нім. Georg Pawer або Georg Bauer, 1494 - 1555), німецький вчений епохи Відродження розпочинає роботу над фундаментальною **першою європейською гірничо-металургійною енциклопедією** «Про гірничу справу та металургію» (De Re Metallica), над якою працює близько 20 років і яка була видана у 1556р. В книзі автор узагальнив багатовіковий досвід гірничо-металургійного виробництва, розглянув гірництво і металургію починаючи від пошуку і розвідки корисних копалин, опису мінералів, збагачення руд до пробірного аналізу і металургії [18].



Ґеорґіус Аґрікола [18]

1541р. – Англійський король Генріх VIII (1491-1547) поставив перед королівськими ливарниками завдання розробити технологію виготовлення литих гармат з чавуну. Керівником королівської програми став майстер-ливарник **Пітер Боуде/П'єр Боде (?-1560)**, запрошений Генріхом VIII з Франції. Через два роки в ливарній майстерні міста Бакстед (Buxted), графство Суссекс, Англія, було виготовлена суцільнолита чавунна гармата. Технологія лиття була досить вдалою і в 1546р. в королівському арсеналі в Тауері знаходилось вже 351 чавунна гармата [10].



Король Англії Генріх VIII (біля 1537р., Ганс Гольбейн мол.)

1567р. – Англійська королева Єлизавета I (Elizabeth I, 1533-1603) відправила в Москву (Московська держава) на прохання царя Івана IV Грозного (1530-1584) гарматного майстра **Румфі Локка (Rumph Lock)** з помічником Джоном Фінтоном. Іноземні майстри були відряджені в район міст Тула та Серпухов, де на той час була розвинута кустарна розробка залізної руди. Вони передавали свій досвід місцевим майстрам і сприяли розвитку чавуноливарного виробництва Московської держави [68].

1612р. – В Англії патент на виробництво заліза з застосуванням кам'яного вугілля отримав **Симон Стюртевант (Simon Sturtevant, 1570-?)**, за походженням німець. І хоча він не реалізував свій проект, проте в цьому ж році С. Стюртевант опублікував «Руководство по новым изобретениям в металлургии» («A Treatise of New Metallic Inventions»). Книга цікава тим, що в ній автор розмірковує на тему винахідництва. Він розрізняє наукову та механічну частини винаходів, а також наводить критерії їх корисності [1, 2. 10].

1619р. - В Північній Америці була побудована **перша піч для виробництва заліза**, яка знаходилась в локації Falling Creek, штат Вірджинія (Virginia), на притоці річки Джеймс, в 60 милях від Джеймстауна (Jamestown). Три роки по тому, корінні американці знищили її під час рейду [1, 2].

1631р. – В Московській державі (тепер с. Рудное Свердловської обл.) будується **перший державний залізновиробний завод** – Ніцінський, який проіснував до 1699р. На цьому заводі залізо виробляли кричним методом з руди в традиційних на той час плавильних печах. В 1632р. московський цар Михайло Федорович з роду Романових (1593-1645) надав жаловану грамоту купцю і заводчику **Андрію Денисовичу Вініусу (Andries Dionyszoon Winius, 1605—1652)**, походженням з Голандії, на будівництво заводів, на яких виготовляли з заліза гармати, ядра, котли тощо. Всього за період з 1648 по 1656р. Андрій Д. Вініус з партнерами побудували поблизу Тули шість збройових заводів. Частина продукції концесіонери експортували в європейські країни [23, 68].



Андрій Денисович Вініус [23]

1645р. - Найперша зареєстроване використання терміна «foundry» (укр. ливарне виробництво) з'являється в Оксфордському словнику англійської мови в його варіанті «founderie» [1, 2].

1646 р. - Перший чавуноливарний центр Америки (і друге промислове підприємство), **металургійний завод Согас (Saugus Iron Works)**, недалеко від м. Бостона (Boston), розливає перший американський чавун. Місце біля ріки Saugus було обрано Річардом Лідером (Richard Leader) для побудови підприємства з виробництва чавунних виробів для Массачусетсу і Англії. Виробничий процес забезпечували доменна піч (1т чавуну в день), кузня, а також прокатна і різальна фабрики. З 1968р. на цій території знаходиться Національний історичний парк, де збережено витоки ливарної промисловості США [1, 2, 22].

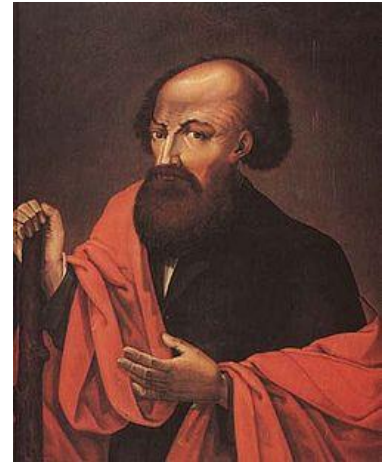


Реконструкція печі в Національному історичному парку Saugus Iron Works, США [22]

1652-1658рр. – Як свідчить **Павло Алеппський** (Булос аль-Халябі Ібн аз-Заїм аль-Халябі, 1627-1669), архідиакон Антіохійської православної церкви, на Тульських заводах (Московська держава) широко застосовувався спосіб лиття в піщані форми. При цьому він витісняв лиття в форми, що витоплюються [18, 68].

1661р. – **Перше родовища міді** в США виявлено Джоном Уинтропом (John Winthrop, 1606 - 1676) в околиці м. Міддлтаун (Middletown), штат Коннектикут (Connecticut) [1, 2].

1696р. – **Микита Демидович Антуф'єв, відомий як Микита Демидов** (1656-1725), російський промисловець, засновник династії Демидових, побудував поблизу міста Тула (Московська держава) на річці Тулице чавуноливарний завод, на якому відливали артилерійські припаси. Ці товари заводчик поставляв казні значно дешевше іноземних концесіонерів [23, 68].



Микита Демидов [23]

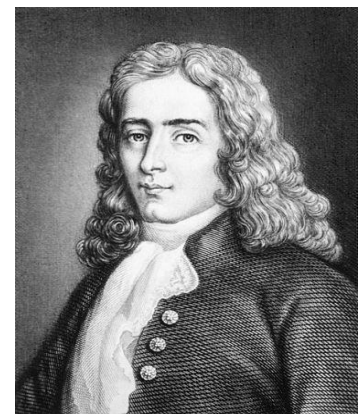
1704р. - **Аврахам Дарбі I** (Abraham Darby, 1678-1717) з Coalbrookdale, Англія, разом з Джоном Томасом розробив технологію формування в піщану форму з використанням опок при литті домашнього посуду з латуні та чавуну (патент від 1707р.) [1, 2, 10].

1709р. - **Аврахам Дарбі I** (Abraham Darby, 1678-1717) з Coalbrookdale, Англія, розробив технологію використання камяного вугілля при виробництві чавуну в доменній печі. Доопрацював цю технологію у 1735р. його син, Аврахам Дарбі II (1711-1763) [1, 2, 10].

1714р. – Перша поставка **російського заліза** в Англію склала 13 т. При цьому частка Швеції в імпорті Англією заліза становила 76%, а Росії – 2% [10].

1718р. – Дослідники вважають, що за часів Петра I (1672-1725) в Російській імперії виплавляли 1,6 млн. пудів **чавуну** (26,2 тис. т). В 1767р. обсяг виробництва чавуну в країні становив 4,99 млн. пудів (81,3 тис. т). В 1766-1767рр. згідно даних Берг-колегії в Росії нараховувалось 120 доменних та залізобудовних заводів, з них 76 – на Уралі. В 1716р. на лондонський ринок була посталена партія російського (уральського) заліза в кількості 20 тис. пудів (328 т) [274].

1722р. - **Рене Антуан Фершо де Реомюр** (René Antoine Ferchault de Reamur, 1683-1757), Франція, визнаний першим в світі металургійним хіміком, дослідив та описав спосіб отримання **ливої сталі (ковкого чавуну)** шляхом сплавлення чавуну та заліза, відомого сьогодні як European Whiteheart malleable. Вчений вперше запровадив науковий підхід до оцінки якості залізних сплавів та використав їх три характеристики: зернистість, твердість після кування та пластичність. Результати своїх досліджень Р. А. Реомюр виклав у двох книгах: «Мистецтво перетворення ковкого заліза у сталь» (L'Art de Convertir le Fer Forgé en Acier) і «Мистецтво пом'якшення виливаного чавуну» (L'Art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé) (1722, Париж) [1, 2, 10, 11].



Рене Антуан де Реомюр [22]

1745-1747рр. – В Російській імперії італійським майстром-ливарником **Олександром Мартеллі** (Alessandro Martelli, 1712-1780) було відлито перший в Росії кінний бронзовий монумент – пам'ятник Петру I (1672-1725). Модель пам'ятника була виготовлена скульптором Карло Бартоломео Растреллі (1675-1744) за життя Петра I. Монумент було встановлено в м. Санкт-Петербурзі перед Інженерним (Михайлівським) замком в 1800р. [6].



Пам'ятник Петру I роботи О. Мартеллі. Бронза [6]

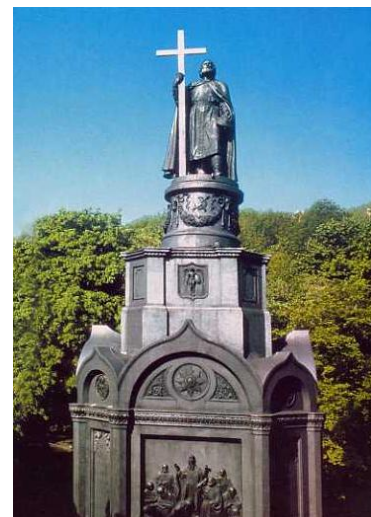
1750р. - **Бенджамін Гунтсман / Хантсмен** (Benjamin Huntsman, 1704-1776) винайшов в Англії тигельний процес виробництва сталі та використовував його на підприємстві для виробництва продукції [1,2, 18, 22].

1750р. – Винайдені **модельні плити** (прості та такі, що повертаються) для виконання формувальних робіт в ливарному виробництві [68].

1764р. - При Академії мистецтв (Санкт-Петербург, Російська імперія) створено особливий «Литейный дом». Метою цього заходу було зменшити залежність країни від дорогих іноземних майстрів та підготовка російських майстрів статуарного литва. В 1805р. за проектом архітектора А. Д. Захарова (1761-1811) було побудовано двоповерховий «Литейный дом». На другому поверсі будинку була встановлена вдосконалена плавильна піч за проектом архітектора А. О. Михайлова (1773-1849). На першому поверсі будівлі виготовляли ливарні форми.



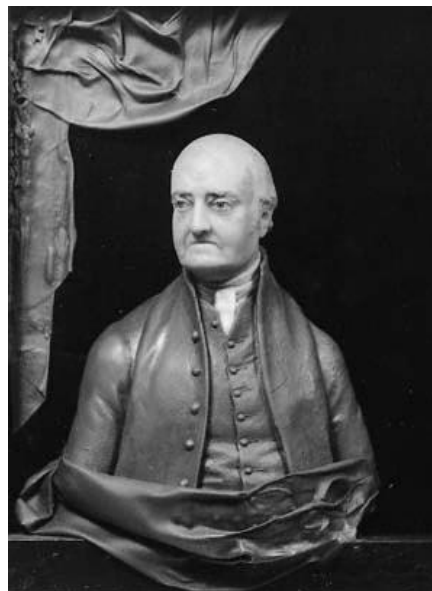
Пам'ятник Мініну і Пожарському в Москві (1818). Ливарник В. П. Скімов [18]



Пам'ятник Володимиру Великому в Києві (1853). Ливарник П. К. Клодт. Фото від <https://turson.at.ua>

Ливарна майстерня Академії мистецтв виконала багато замовлень по художньому оформленню ансамблів Казанського собору, Царського села, Петергофа та інших палаців в Санкт-Петербурзі. В цей час сформувалась ціла група знаних російських скульпторів. Серед них слід назвати Василя Петровича Скімова (1756-1838) та Петра Карловича Клодта (1805-1867) [23, 68, 263].

1767р. – Металургійна компанія Coalbrookdale (заснована в 1709р., Англія) під керівництвом **Річарда Рейнольдса** (Richard Reynolds, 1735-1816), фабриканта виробів з заліза, почала випускати **перші чавунні рейки для залізниць** і замінила свої власні дерев'яні рейки. У 1768р. Річард Рейнольдс передав управління компанією Аврахаму Дарбі III (Abraham Darby III, 1750-1789), але залишився пов'язаний з нею. В 1970р. в компанії Coalbrookdale було створено історичний музей [12, 22].



Річард Рейнольдс. Автор Samuel Percy, 1810р.
© National Portrait Gallery, London [264]

1770р. – Започатковано в Шеффільді (Sheffield), Англія виробництво **олов'яного сплаву** з приблизним вмістом 93% Sn, 5% Sb і 2% Cu. Вважається, що його основоположником був **Джеймс Вікерс** (James Vickers, 1710-?). Сплав отримав назву «Британський метал» (**Britannia Metal**) на честь історичної назви англійського острова, мав сріблястий колір і використовувався для виготовлення кухонного посуду (ложки, чайники, цукерниці тощо). В наш час (з 1929р.) найбільш відомим застосуванням старовинного сплаву є порожниста статуетка щорічної премії «Оскар» Американської Академії кінематографічних мистецтв і наук (Academy of Motion Picture Arts and Sciences, AMPAS), штат Каліфорнія, США. Вона виготовлена висотою 13,5 дюймів (34,3 см), важить 8,5 фунтів (3,86 кг) та покрита золотом. Статуетку створили директор компанії MGM Седрік Гіббонс (Cedric Gibbons) та скульптор Джордж Стенлі (George Stanley). Проте вже в 2016р. статуетку почали робити з бронзи [18, 22, 86].



Статуетка премії Оскар [18]

1759р. – Російські промисловці-брати **Андрій Родіонович** (1724-1799) і **Іван Родіонович** (1732-1821) **Баташеви** побудував на своєму Гусевському заводі (с. Веркутець, тепер Гусь-Железний, Рязанская обл., Россия) чавуноливарну майстерню з першими в Російській імперії двома поворотними печами для переплавлення чавуну. Щоденно в печі проводилось дві плавки по 20-30 пудів (328-491 кг) кожна. Вважається, що ці печі були прообразами сучасних вагранок [23, 63, 68, 265].



Андрій та Іван Баташеви [266]

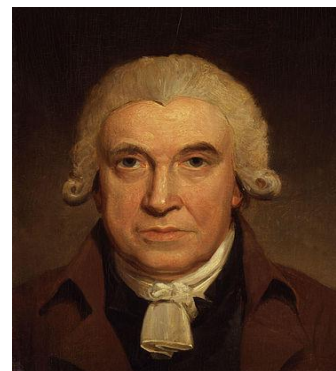
Розділ третій. Перша промислова революція (друга половина XVIII ст. – друга половина XIX ст.)

Перша промислова революція, яку започаткувала Англія, була обумовлена багатьма факторами. Серед них розвиток торгівлі, завойовання нових ринків для експорту англійських товарів, зниження вартості виробництва англійських товарів для переважання в конкуренції і, найголовніше, це бажання підприємливих людей реалізувати свої ідеї на практиці. Критичним поштовхом для розвитку промисловості Англії стало намагання потіснити Індію з ринку текстилю за рахунок створення високопродуктивної текстильної галузі. Це було досягнуто шляхом впровадження ткацьких інновацій, які в свою чергу почали використовувати парові машини, а останні вимагали для своєї побудови якісного заліза. Все це в комплексі призвело до створення в Англії фабричного виробництва, розширення річкового та морського пароплавства, і як підсумок - нарощування обсягів торгівлі і підвищення добробуту людей [267].

В результаті технічних нововведень корінним чином змінилась чорна металургія Англії. Якщо в 1750р. в країні було вироблено 28 тис. т заліза, то в 1805р. – 250 тис. т, тобто в 8,9 рази більше [268].

Згідно оцінок, за обсягом виробництва чавуну в XVIII ст. Російська імперія займала перше-друге місце в світі. Так, в 1767р. в країні було виплавлено біля 9,5 млн. пудів чавуну (155,6 тис. т), а в 1806р. – 12 млн. пудів (196,6 тис. т). В той час як в Англії виплавка чавуну в 1800р. складала 11-12 млн. пудів (180,2-196,6 тис. т) [274].

1775р. - **Джеймс Ватт** (James Watt, 1736 – 1819), шотландський винахідник-механік, створив перший робочий зразок **парової машини**, а в 1782р. - універсальну парову машину подвійної дії. Розробки Д. Ватта поклали початок промислової революції в другій половині XVIII ст. спочатку в Англії, а потім і у всьому світі. Комерційним партнерами Д. Ватта був англієць Метью Бултон (Matthew Boulton, 1728-1809). Разом вони створили компанію Boulton & Watt, що просуvala парові двигуни на ринок Британії [13, 18].



Портрет Джеймса Ватта роботи Генрі Говарда

1778р. – В англійській компанії Coalbrookdale, якою керував **Абрахам Дарбі III** (Abraham Darby III, 1750-1789), почали відливати деталі для першого в світі **чавунного мосту** на річці Severn, Англія. Будівництво мосту було закінчено у 1779р. Довжина прольоту моста становить 30,6 м, його вага - 384 т. До 1778р. компанія виготовила понад 100 парових циліндрів і багато парових двигунів, включаючи двигуни Бултона - Ватта [12].



Чавунний міст на річці Sever, Англія [12]

1783р. і 1784р. – **Генрі Корт** (Henry Cort, 1740 - 1800), англійський металург і підприємець отримує патенти Англії (№1351 від 1783р. і №1420 від 1784р.) на спосіб виробництва з чавуну ковкого (низьковуглецевого) заліза, що було названо «пудлінговим» ("puddling"). Нова технологія передбачала ручне перемішування розплавленого чавуну в відбивній печі для видалення надлишку вуглецю та утворення з грудочок заліза тістоподібної маси. Останню проковували молотом і отримували ковке залізо. Внаслідок впровадження цієї технології британці змогли виробляти недороге залізо, використовуючи власні вугільні ресурси. В результаті мало місце значне збільшення виробництва заліза в Англії [18, 268 - 270].



Генрі Корт [22]

1786р. – Французські вчені **Чарльз Вандермонд** (Charles-Auguste Vandermonde, 1735-1796), **Клод Луї Бертолле** (Claude Louis Berthollet, 1748-1822), хімік, і **Гаспар Монж** (Gaspard Monge, 1746-1818), математик-геометр, опублікували в Memoirs Academy Royale of Science працю «Mémoire sur le Fer, Considéré dans ses Différens États Métalliques /Memoir on iron considered in its different metallic forms», в якій стверджували, що властивості



Клод Луї Бертолле [23]



Гаспар Монж.
Автор: François Séraphin Delpech -
<https://commons.wikimedia.org>

сталі залежать від вмісту вуглецю. Крім того науковці встановили, що залізо, сталь та чавун не три різних метали, а лише видозміни заліза, що відрізняються один від одного різним вмістом вуглицю [22, 68, 70].

1786р. – Шотландський винахідник і зброяр **Карл Карлович (Чарльз) Гаскойн** (Charles Gascoigne, 1739 - 1806), колишній директор Карронського металургійного заводу в Шотландії, приїхав в Російську імперію для організації виробництва гармат. Під його керівництвом було проведено модернізацію Олександрівського заводу, який входив до групи Олонецьких заводів в Карелії. Завод оснастили полум'яними печами вторинної плавки чавуну, паровими машинами та провели інші вдосконалення. Крім гармат, Карл Гаскойн налагодив на заводі також виробництво чавунних лафетів, кухонного посуду, землеробних машин, а також художніх виливок. Серед останніх і перший в Петербурзі чавунний Поліцейський міст (1806). В 1795р. Карлу Гаскойну було доручено побудувати **Луганський ливарний завод** (Україна), на якому були встановлені перші в Росії пудлінгові печі, та задута перша в Україні (1800) доменна піч на кам'яновугільному коксі [23, 68, 73].



Карл Карлович (Чарльз) Гаскойн [23]

1794р.– Англійський промисловець-металург **Джон Уілкінсон** (John Wilkinson, 1728-1808) винаходить **першу обшиту металом вагранку**. Раніше, 12 березня 1757р., металург отримує патент №713 на **повітродуйну машину** для кузень та доменних печей. В подальшому використовує паровий двигун для приведення до дії повітродуйної машини доменних печей. Винахідник також отримав патент № 723 від 21 квітня 1758р. на технологію виготовлення **сухих піщаних форм** в ливарному виробництві [1, 2, 22, 74].



Джон Уілкінсон [22]

1797р. - Перший **чавунний плуг** в США винайшов коваль **Чарльз Ньюболд** (Charles Newbold, 1780-?) з штату Нью-Джерсі і отримав на нього патент [1,2, 22].

1804р. – **Річард Тревітік** (Richard Trevithick, 1771 - 1833), британський інженер, отримав патент на перший паровий візок в Європі, який він зробив [18].



Річард Тревітік [18]



Паровий візок Р. Тревітіка

1809р. – **А. Г. Ескхард** (A. G. Eckhardt), винахідник, Лондон, Англія, розробив технологію **відцентрового лиття (centrifugal casting)** [1, 2]. Вважається, що при цьому ливарна форма розміщувалась вертикально, що відповідає сучасній концепції вертикального відцентрового лиття. Є інформація про те, що у 1857р. згідно патента США таким способом відливали вагонні колеса [271].

1815р. - В Балтиморі, США для виплавки чавуну запроваджується **вагранка (cupola furnace)** [1, 2].

1816р. – **Карл Карстен** (Karl Johann Bernhard Karsten, 1782-1833), німецький металург і мінералог, видав фундаментальну монографію «Handbuch der Eisenhüttenkunde». В цій праці вчений обґрунтовує вплив вуглецю на властивості чавуну та виклав теорію зв'язаного та вільного вуглецю. Карл Карстен розробив основи визначення кількості вуглецю, який міститься в різних видах заліза, а також досліджував вплив на чавун марганцю, міді, сірки, кремнію, миш'яку, нікелю та цинку. Крім того, вчений встановив вплив швидкості охолодження на властивості чавуну [37, 68].



Карл Карстен [37]

1817р. - Вперше в США застосовано **чавунні труби** для водопостачання в Філадельфії. Перший водогін був довжиною 400 футів (120 м) [1, 2, 14].

1818р. - Перша в США **лита сталь** виготовлена за **тигельною технологією** (crucible process) в історичному Valley Forge Foundry [1, 2]. Проте труднощі, обумовлені відсутністю термостійких матеріалів для тиглів, призвели до припинення експерименту. І лише в **1831-1832рр.**, коли було знайдено поклади високоякісної глини в Камберленді, штат Огайо, дозволило **Вільяму Гаррарду** (William Garrard, 1803-1889) та його брату **Джону Гаррарду** (John Hill Garrard, 1801-1883) з Цінціннаті, штат Огайо, розпочати першу комерційну виплавку тигельної сталі в США. Відмічається, що виливки з цієї сталі використовувались в якості лез та захистного огороження для жатки McCormick і продавались по ціні від 18 до 25 центів за фунт (0,40...0,55 USD/кг) [16, 272].

1821р. – Німецький фізик **Томас Йоганн Зеебек** (Thomas Johann Seebeck, 1770 – 1831) відкрив явище термоелектрорушійної сили (термо-е. р. с.) або **Зеебек-ефект**, що виникає в електричному колі, створеному з послідовно з'єднаних різнорідних провідників (мідь та вісмут), спаї яких знаходяться при різних температурах. Тим самим було закладено фундамент термічного аналізу металів та сплавів [23, 106].



Томас Йоганн Зеебек [18]

1825р. - Ханс Крістіан Ерстед (Hans Christian Oersted, 1777-1851) вчений-фізик з Данії, виділяє **алюміній**, впливаючи амальгамою калію на хлорид алюмінію. **Перший промисловий** спосіб виробництва алюмінію був розроблений в 1854р. французьким вченим **Сент-Клер Девілем** (Sainte-Claire Deville, 1818-1881). Він запропонував електрохімічний метод виробництва алюмінію шляхом відновлення натрієм подвійного хлорид алюмінію-натрію, яким з 1855 по 1890р. було отримано 200 т алюмінію. [1, 2, 17, 18, 22].

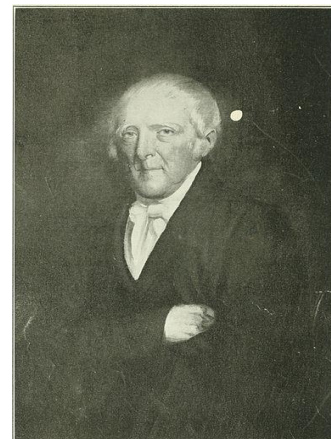


Ханс Крістіан Ерстед [18]



Сент-Клер Девіль [22]

1826р. – **Джонс Стивенс** (John Stevens, III, 1749 – 1838), американський інженер і винахідник, сконструював та випробував перший в США **паровий локомотив** «Steam Wagon», тим самим започаткувавши розвиток залізничного сполучення в країні [22].



John Stevens of Hoboken

Джонс Стивенс [22]

1828р. - **Павло Петрович Аносов** (1797 - 1851), російський металург, управитель Златоустівських казенних заводів, Південний Урал, Російська імперія розробив новий спосіб виробництва **високоякісної сталі - булату**, секрет якого було загублено ще за давніх часів. Вчений довів, що властивості булату залежать від кількісного складу та способу введення вуглецю в залізо, а також від режимів охолодження, гартування та відпуску металу. Виклав свої результати в працях «Об опытах закалки стальных вещей в сгущенном воздухе» (1829), «О булатах» (1841) [18, 23].



Павло Петрович
Аносов [18]

1828-1838р. - **Павло Петрович Аносов** (1797 - 1851), російський металург, на Златоустівських казенних заводах, Російська імперія розробив та впровадив виробництво **ливої тигельної високовуглецевої сталі** з застосуванням газової цементації рідкого металу. З 1830р. Златоустівський завод розпочав масове виробництво ливої тигельної сталі для російської промисловості. Вже в 1833р. завод виготовив 1660 пудів (27,2 т) ливої сталі. Результати цієї роботи були опубліковані П. П. Аносовим в статі «О приготовлении литой стали» (1837) [30, 31].

1830р. – **Сет Бойден** (Seth Boyden, 1788-1870), винахідник, розробив першу в США технологію виробництва виливок з **чорносердечного ковкого чавуну** (blackheart malleable iron) на заводі Condit & Bowles (Ньюарк, штат Нью-Джерсі) [1,2].



Сет Бойден [22]

1831р. - Павло Петрович Аносов (1797 - 1851), російський металург, використав **оптичний мікроскоп** при дослідженні внутрішньої будови сталі, а також хімічне травлення для виявлення макроструктури сталі [18, 23, 30].

1832р. - Англійський підприємець Джордж Фредерік Мюнц (George Frederick Muntz, 1794 - 1857), Birmingham, створив сплав, що містив 60% Cu і 40% Zn. Згідно сучасної класифікації це є $\alpha + \beta$ латунь, що відповідає маркам Л59 (Росія), CuZn40 (ISO, Europe) . Цього ж року він отримав на «Обшивку для суден» («Sheathing for ShiPs») патент № 6325 від 1832р. В ті часи листи з вказаного сплаву використовувалися замість мідних для обшивки дерев'яних корпусів суден, а також для виготовлення кріпильних виробів. З 1840р. Muntz's Patent Metal Company виробляла 2000 т листового прокату щороку, а через три роки вже 3000-4000 т. У 1846р. підприємець отримав патент Англії №11410 на мідний сплав, що містить цинк і свинець [22, 86].

1834р. - Батько та син Черепанови (Ефим Алексємович и Мирон

Ефимович Черепановы: отец Ефим (1774—1842) и сын Мирон (1803—1849) побудували перший в Російській імперії паровий локомотив [23].

Повідомляється [20, 35], що в 1833р. князь Демидов-Сан-Донато направив свого кріпосного механіка Мирона Черепанова в Англію для короткотермінового

стажування, стосовно збуту заліза та вивчення залізничного транспорту.



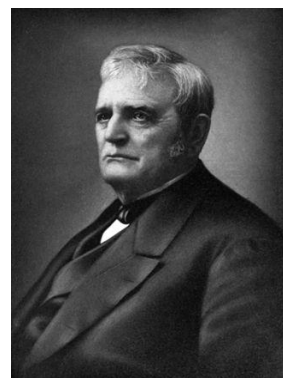
Ефим Алексємович Черепанов [23]



Мирон Ефимович Черепанов [23]

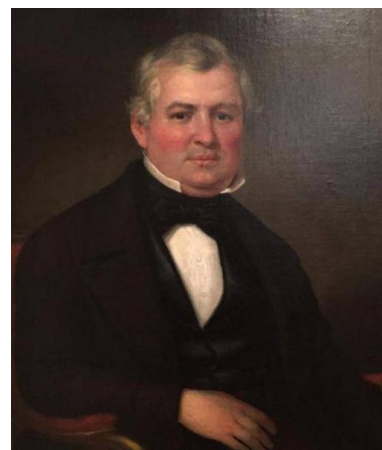
1835р. – Бутєньов Микола Федорович (1803-1871), інженер, служив на Олександрівському гарматно-ливарному заводі та Оленецьких заводах (Карелія, Російська імперія), написав книгу «Практическое руководство к плавке железных руд на чугун и отливке из него изделий и преимущественно артиллерийских орудий и снарядов». Уривки з цієї книги були опубліковані в «Горном журнале», де були викладені основні положення теорії спадковості чавунів [23, 68].

1837р. – Джон Дір (John Deere, 1804-1886), коваль і промисловець, розробив комерційно успішний **сталевий плуг** з полірованим лемехом для важких ґрунтів Середнього Заходу Америки. Виробництво плугів було зосереджено в штаті Іллінойс. В наш час компанія Deere & Company є світовим лідером з надання передових товарів для клієнтів, праця яких пов'язана з обробкою землі [1, 2, 22, 24].



Джон Дір [22]

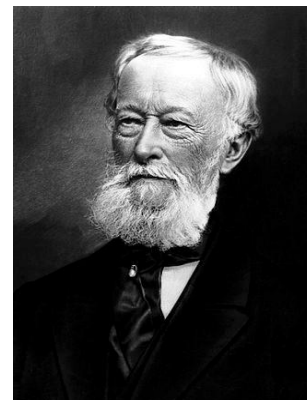
1839р. – **Ісаак Баббіт** (Isaac Babbitt, 1799-1862), американський винахідник, South Boston Iron Works (Бостон), створив **перший антифрикційний сплав** системи олово-сурма-мідь, що використовується для підшипників тертя, і отримав назву «Баббіт або Babbitt». Патент США №1252 на свій винахід, в якому відсутній хімічний склад сплаву, І. Баббіт отримав у 1839р. Проте вважається, що первинний сплав містив 93% олова, 3,5% сурми та 3,5% міді. За свій винахід Ісаак Баббіт в 1841р. був нагороджений золотою медаллю Асоціації механіків Массачусетса [23, 86, 90, 91].



Ісаак Баббіт з Old Colony History Museum in Taunton, Massachusetts [22]

1841р. – **Карл-Бернард Карстен** (Karl Johann Bernhard Karsten, 1782-1853) з Німеччини в праці «Довідник з металургії чорних металів» («Handbuch der Eisenhüttenkunde») описує «німецькі» сиродутні горни, що по конструкції аналогічні опису в працях німецького вченого М. Агріколи (1494 -1555) [15].

1847р. – На заводі Круппа в Німеччині, яким керував **Альфред Крупп** (Alfred Krupp, 1812-1887), було виготовлено гармати з литої тигельної сталі, що дозволило суттєво підвищити характеристики зброї [1, 2, 22].



Альфред Крупп [23]

1848р. – Промисловець **Аса Уїтні** (Asa Whitney, 1791-1874), Філадельфія, США отримує патент на процес відпалу відбілених чавунних залізничних коліс, виготовлених з протектором і фланцем [1, 2, 21].

1848р. – **Роберт Мюшет** (Robert Forester Mushet, 1811-1891), англійський металург і промисловець, виявив в сировині, доставленій з Рейнської Пруссії, кристалічний залізо-марганцевий карбонат. Зважаючи на те, що він мав дзеркальні вкраплення вуглецю, продукт отримав назву «Spiegeleisen» або «**Дзеркальний чавун**». З цим продуктом, що містив 8% Mn і 5% C, металург проводив експерименти стосовно використання його при виплавці сталі. В 1856р. Роберт Мюшет використав дзеркальний чавун в процесі виробництва високовуглецевої сталі (так званий процес Bessemer - Mushet). У 1876р. Британський Iron and Steel Institute (тепер Institute of Materials, Minerals and Mining) нагородив металурга-винахідника вищою нагородою, Бессемерівською Золотою медаллю [22, 86, 92].



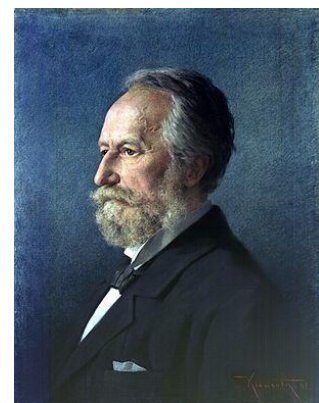
Роберт Мюшет [22]

1849р. – Джеймс Старжес (James L. Sturgis), Нью-Йорк, США, отримав патент «The improvement in type-casting machines claimed is the conical plug, and arrangement of the chamber in which it works, in combination with the nipple and bath and well» на першу **машину лиття під тиском з гарячою камерою пресування** та ручним керуванням для виготовлення друкарського набору газет з сплаву системи свинець-олово [1, 2, 25, 26, 285].

1850р. – Розроблена подова плита вагранки [1, 2].

1850р. – Вперше в Російській імперії, в ливарні Петербургського арсеналу, були застосовані «бігуни» для розтирання формувальних матеріалів. В арсеналі провадились роботи по вибору найбільш раціональних конструкцій плавильних печей, вишукуванню кращих складів металевих сплавів для виливки гармат і удосконалення способів формування [63].

1855р. – Адольф Фік (Adolf Eugen Fick, 1829-1901), німецький фізик і фізіолог, вивів, як їх тепер називають, Закони Фіка, що описують в математичній формі дифузію газу через мембрану в рідину [22].



Адольф Фік [22]

1856р., січень – В Англії почала виходити щотижнева **газета «Інженер»** (The Engineer). Видання було засновано **Едвардом Чарльзом Хілі** (Edward Charles Healey), підприємцем і інженером. На сторінках газети/журнала висвітлювались новини промисловості, розміщувалась інформація про патенти на винаходи та біржові котування. З сучасною версією журналу можна ознайомитись на його сайті www.theengineer.co.uk [22].

Розділ четвертий. Друга промислова революція (друга половина XIX ст. – початок XX ст.)

Чорні метали: чавун, сталь

Друга промислова революція ознаменувалась впровадження в чорну металургію методів промислового виробництва сталі. Так сталося, що головним героями цієї п'єси були англійський винахідник **Генрі Бессемер** та французький інженер **П'єр Еміль Мартін**. Звичайно поряд з ними були і інші інженери – підприємці, які спільними зусиллями комерціалізували ці розробки. Це дозволило за період з 1870 по 1909р. збільшити виробництво сталі в світі з 0,98 до 48,16 млн. т, тобто в 49 разів (табл. 4.1). Найбільш разючі результати були досягнуті в США та Німеччині, де виробництво сталі за цей період збільшилось, відповідно, з 0,11 до 20,94 млн. т (у 190 разів) та з 0,21 до 10,67 млн. т (у 51 раз) [273].

Таблиця 4.1

Виробництво продукції чорною металургією світу в 1870-1909 рр. [273]

Роки	Велика Британія, чавун чушковий, млн. т	Велика Британія, коване залізо, млн. т	Виробництво сталі (середнє за 5 років), млн. т					Частка 4-х країн, %
			США	Німеччина	Велика Британія	Франція	Світ, разом	
1870-74	6,38	2,60	0,11	0,21	0,43	0,13	0,98	89,8
1875-79	6,38	2,27	0,64	0,41	0,88	0,25	2,46	88,6
1880-84	8,16	2,01	1,56	0,97	1,79	0,45	5,48	87,0
1885-89	7,66	1,91	2,78	1,57	2,81	0,53	8,84	87,0
1890-94	7,29	1,93	4,31	2,74	3,14	0,76	12,78	85,7
1895-99	8,64	1,15	7,63	4,85	4,26	1,24	21,54	83,5
1900-04	8,68	1,16	13,40	7,28	4,95	1,67	32,72	83,5
1905-09	9,70	0,94	20,94	10,67	5,99	2,60	48,16	83,5

В Російській імперії в другій половині XIX ст. теж почали створюватись сталеливарне виробництво. Так, якщо в 1876р. в країні було 8 бесемерівських конвертерів и жодної мартенівської печі, то в 1893р. вже налічувалось 105 мартенівських печей і 15 конвертерів. При цьому з загального виробництва сталі в 11,8 млн. пудів (193,3 тис. т), мартенівським способом виробили 4,6 млн. пудів (75,3 тис. т або 39%). В 1900р. при виплавці сталі в Російській імперії в 185 млн. пудів (3,0 млн. т), частка мартенівської сталі становила 50,1% або 92,7 млн. пудів (1,5 млн. т). [274].

Впродовж XIX століття в Російській імперії у виробництві заліза досить повільно проходила заміна кричного способу пудлінговим. Якщо в 1870р. в країні було 925 кричних горнів і 425 пудлінгових печей, то в 1893р. кількість кричних горнів зменшилась на 56% (до 404 шт.), а пудлінгових печей збільшилось на 51% (до 640 шт.) [274].

Стосовно виробництва чавуну, то в Великій Британії впродовж 1870-1909рр. його виробництво коливалось в діапазоні від 7,29 до 9,70 млн. т (табл. 1) [273]. Для порівняння в Російській імперії за цей же часовий відрізок виплавка чавуну збільшилась з 0,36 до 2,9 млн. т, тобто майже у 8 разів (рис. 4.1) [275]. Проте, незважаючи на це, Росія доволі суттєво поступалась Британії по виплавці чавуну.

Значний вплив на виробництво чавуну в Російській імперії зумовив бум будівництва залізниць у XIX ст. [275, 276]. Підсумовуючи статистичні дані (рис. 4.1) можливо доволі чітко виділити два пікових етапи: 1861-1875рр. і 1886-1900рр. Під час цих періодів спостерігається збільшення будівництва залізничних шляхів, що супроводжується

зростанням виробництва чавуну в Росії, а також поставок його із-за кордону. Хоча імпорту чавуну з боку держави доволі активно регулювався встановленням мита.

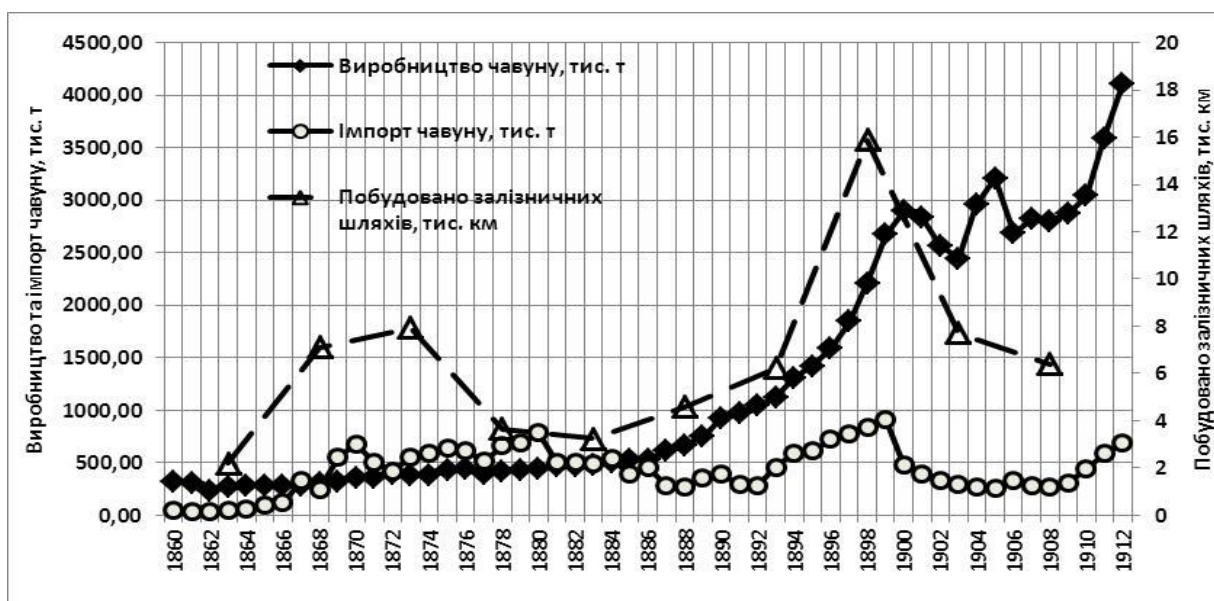


Рис. 4.1 Динаміка виробництва та імпорту чавуну в Російській імперії (1860-1912рр.) [275] і будівництво залізничних шляхів [276].

Кольорові метали: мідь

В кінці XIX ст. і на початку XX ст. розвиток електротехніки в світі сприяв збільшенню попиту на вироби з міді. Остання використовувалась як у чистому виді, так і в сплавах, а саме з оловом (олов'яниста бронза), з цинком (томпак, латунь, дельта метал), а також з нікелем (нейзильбер, мельхіор) [309].

Проте промислове виробництво міді було започатковано ще на початку XIX ст. Згідно даних американського аналітика С. Е. Julihn [310], в 1801-1810рр. в світі було вироблено 165,1 тис. т міді, що в перерахунку на рік становить 16,6 тис. т. Під тиском попиту виробництво міді в світі почало інтенсивно збільшуватись і в 1911-1920 роках було вироблено майже 11,1 млн. т міді (в перерахунку на рік 1,1 млн. т) (рис. 4.2). Тобто за 110 років середньорічне виробництво міді в світі збільшилось в 67 раз.

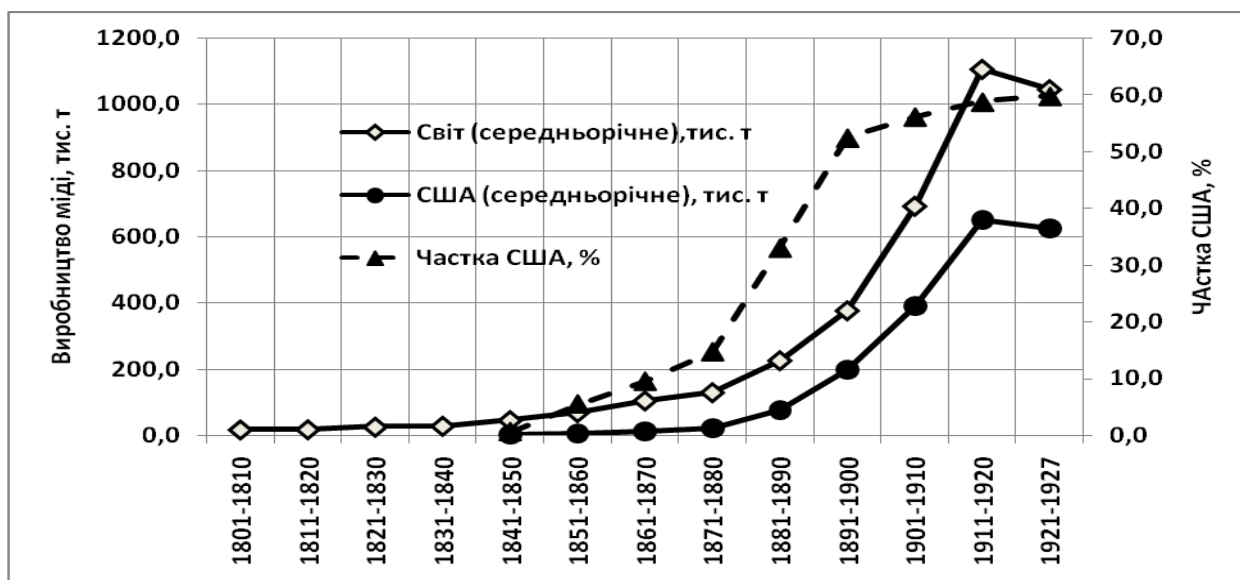


Рис. 4.2 Динаміка середньорічного виробництва міді в світі та в США. Примітка: розраховано згідно [310]

Слід відзначити, що основним гравцем світового мідного ринку в ці часи поступово стали США. Мідна промисловість країни стартувала в 1841-1850рр. з виробництва 2,4 тис. т або 0,24 тис. т в середньорічному вимірі. Проте вже в 1891-1900рр. частка США в світовому виробництві міді перетнула 50% і становила 52,4% в середньорічному вимірі або 197,3 тис. т. Таким чином середньорічне виробництво міді в США за 50 років збільшилось в 822 рази.

Російська імперія в 1886-1890рр. виплавляла в середньорічному вимірі 4,9 тис. т міді (табл. 4.2). В наступні роки темпи виплавки міді в країні почали активно зростати і в 1913р. вона сягнула 33,7 тис. т., тобто збільшилась в 6,8 рази.

Таблиця 4.2

Середньорічна виплавка міді в Російській імперії (1886 – 1913 роки) [309]

Роки	Кількість, тис. пудів	Кількість, тис. т	Динаміка зміни, %	Зміна до попереднього року, %
1886 – 1890	301	4,9	100,0	---
1896 – 1900	439	7,2	145,8	45,8
1901 – 1905	548	9,0	182,1	24,8
1906	571	9,4	189,7	4,2
1907	811	13,3	269,4	42,0
1908	991	16,2	329,2	22,2
1909	1126	18,4	374,1	13,6
1910	1375	22,5	456,8	22,1
1911	1584	25,9	526,2	15,2
1912	2074	34,0	689,0	30,9
1913	2057	33,7	683,4	-0,8

Примітка. Вихідні дані Брейтерман А.Д. [309, с. 12]

Слід відзначити, що згідно С. Е. Julihn [310], в 1901 році продуцентами міді в світі були 19 країн, з яких чільну п'ятірку формували США (частка 52,1%), Іспанія та Португалія (10,4%), Чилі (6,0%), Мексика (5,9%) та Австралія (5,5%). Російська імперія з часткою 1,2% займала 11 сходинку світового мідного рейтингу.

За період з 1892 по 1912р. **споживання міді** в світі збільшилось з 325,8 до 1040,2 тис. т або в 3,2 рази (табл. 4.3). Це було обумовлено розвитком промисловості в США та Західній Європі, частка яких в звітний період перевищувала 95% світового попиту міді.

Таблиця 4.3

Споживання міді країнами світу в 1892 і 1912рр., тис. т [309]

Країни	1892р.		1912р.		Зміни (1912р. до 1892р.), %
	Обсяг, тис. т	Частка, %	Обсяг, тис. т	Частка, %	
США	119,6	36,7	371,8	35,7	310,9
Німеччина	50,7	15,6	232,7	22,4	459,0
Об'єднане Королівство	77,4	23,8	144,7	13,9	187,0
Європейські держави, інші	68,2	20,9	247,6	23,8	363,0
Інші країни	9,9	3,0	43,4	4,2	438,4
Світ, разом	325,8	100,0	1040,2	100,0	319,3

Примітка. Вихідні дані Брейтерман А.Д. [309, с. 12]

Поштовхом до зростання споживання міді стала розробка способів виробництва електрики і, як результат, створення нової галузі – електротехніки. Поява динамо-машини, трансформатора і електростанцій вирішила проблему постачання електроенергії на промислові підприємства. Були розроблені електродвигуни, з'явилась електрометалургія і електричний транспорт. Почали використовувати телефон в системі зв'язку та лампу розжарювання для освітлення. Все це вимагало все в більшій кількості міді для виготовлення дроту. Тому логічним є те, що лідерами в споживання міді в кінці XIX і на початку XX століть були країни, які динамічно розвивали промисловість: США, Німеччина, та Об'єднане Королівство (Велика Британія).

Декілька слів відносно номенклатури продукції з міді та її сплавів, що виготовлялись в Російській імперії. Згідно даних А. Д. Брейтермана [309, с.15] в 1912р. було виготовлено

1002,0 тис. пудів (16,4 тис. т) виливок з бронзи та інших мідних сплавів, 69,5 тис. пудів (1,14 тис. т) дзвонів, 1046,4 тис. пудів (17,1 тис. т) листового прокату, 510,5 тис. пудів (8,4 тис. т) дротів різних діаметрів, 427,5 тис. пудів (7,0 тис. т) електричних кабелів тощо.

Кольорові метали: свинець

Перед Першою світовою війною виробництво свинцю в світі сягнуло піка: 1,2 млн. т в 1912р. (рис. 4.3) [309]. В подальші роки до 1922р. виплавка свинцю в світі характеризується понижувальним трендом.



Рис. 4.3 Динаміка виплавки свинцю в світі [309, с. 45]

Аналіз даних стосовно країн-виробників свинцю у 1907 і 1922 роках дозволяє відзначити наступне. Якщо в 1907р. основними виробниками були США (частка 31,9%), Іспанія (18,4%) і Німеччина (16,2%), то в 1922р. серед лідерів залишились тільки США (42,8%). В Німеччині та Іспанії виплавка свинцю зменшилась майже двічі, а на друге та третє місце вийшли Мексика (11,8%) та Австралія (10,5%) (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Виробництва свинцю в світі в 1907 і 1922 роках [309]

Країна	1907		1922		1922 до 1907, %
	Виробництво, тис. т	Частка, %	Виробництво, тис. т	Частка, %	
США	322,9	31,93	437,8	42,79	135,6
Мексика	76,2	7,53	120,8	11,81	158,5
Австралія	96,6	9,55	107,6	10,52	111,4
Іспанія	185,8	18,37	97,0	9,48	52,2
Німеччина	164,1	16,23	85,0	8,31	51,8
Канада	21,7	2,15	40,8	3,99	188,0
Бельгія	27,5	2,72	36,0	3,52	130,9
Родезія	---	---	20,8	2,03	---
Франція	24,8	2,45	12,0	1,17	48,4
Італія	23,0	2,27	10,5	1,03	45,7
Велика Британія	35,7	3,53	3,0	0,29	8,4
Інші країни	33,1	3,27	51,8	5,06	156,5
Світ, разом	1011,4	100,00	1023,1	100,00	101,2

Примітка. Вихідні дані Брейтерман А.Д. [309, с. 46]

Таким чином, військові дії в Старій Європі призвели до гальмування виплавки свинцю. Натомість збільшили виробництво країни, які були віддалені від театру військових дій.

В Російській імперії в кінці XIX і на початку XX століття споживання свинцю вирішувалось за рахунок його імпорту. Впродовж 1885-1913рр. частка імпорту коливалась в інтервалі від 94,8 до 98,6% обсягу споживання. В той же час видиме споживання свинцю збільшилось в 5 раз (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Структура ринку свинцю Російської імперії [309]

Роки	Виплавка		Імпорт		Споживання		Зміни споживання, %
	Тис. пудів	Тис. т	Тис. пудів	Тис. т	Тис. пудів	Тис. т	
1885	37	0,606	668	10,942	705	11,548	100,0
1895	25	0,410	1736	28,436	1761	28,845	249,8
1905	48	0,786	3126	51,204	3174	51,990	450,2
1913	84	1,375	3530	57,821	3614	59,197	512,6

Примітка. Вихідні дані Брейтерман А.Д. [309, с. 37]

Кольорові метали: цинк

Перед Першою світовою війною виробництво цинку в світі сягало майже 1 млн. т, а в 1913р. – 996,2 тис. т. Цього року основними виробниками були: США (323,2 тис. т; 32,4%), Німеччина (285,0 тис. т; 28,6%), Бельгія (198,0 тис. т; 19,9%), Франція (70,0 тис. т; 7,0%) і Велика Британія (59,0 тис. т; 5,9%). Загальна частка цих країн становила 93,8% світового виробництва цинку. Відзначається, що з наведених країн тільки США використовували свої руди, а решта країн - імпортували руду. В 1921р. виробництво цинку в світі зменшилось до 441,4 тис. т, проте в наступному році воно сягнуло 697,2 тис. т. При цьому США виробили 330 тис. т, тобто зберегли довоєнний рівень [309].

Виплавка цинку в Російській імперії в 1913р. сягнула 10,5 тис. т або 1,1% світового обсягу. Слід відзначити, що споживання цинку в країні задовольнялось за рахунок імпорту, частка якого в 1913р. становила 72,7% або 28,2 тис. т (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Структура ринку цинку Російської імперії [309]

Роки	Виплавка		Імпорт		Споживання		Зміни споживання, %
	Тис. пудів	Тис. т	Тис. пудів	Тис. т	Тис. пудів	Тис. т	
1863	65	1,065	13	0,213	78	1,278	100,0
1883	224	3,669	148	2,424	372	6,093	476,8
1903	604	9,894	623	10,205	1227	20,098	1572,6
1912	715	11,712	1265	20,721	1980	32,432	2537,7
1913	644	10,549	1719	28,157	2363	38,706	3028,6

Примітка. Вихідні дані Брейтерман А.Д. [309, с. 40]

При цьому за період з 1863 по 1913р. споживання цинку в Російській імперії збільшилось в 30 раз.

Кольорові метали: алюміній

Виробництво алюмінію в світі розпочалось з 10т в 1880р., а вже в 1890 становило 170 т [309]. Після того, як в 1890-91рр. було освоєно електрохімічний спосіб, виробництво алюмінію в 1900р. уже становила 7,5 тис. т. В передвоєнний 1913р. в світі було вироблено 78,1 тис. т алюмінію (рис. 4.4). В подальшому попит на легкий метал почав зростати і в 1918р. його виробництво сягнуло 200,3 тис. т. Проте, впродовж 1919-23рр. ситуація на ринку алюмінію була нестабільною і показник 1918р. не було перекрыто.

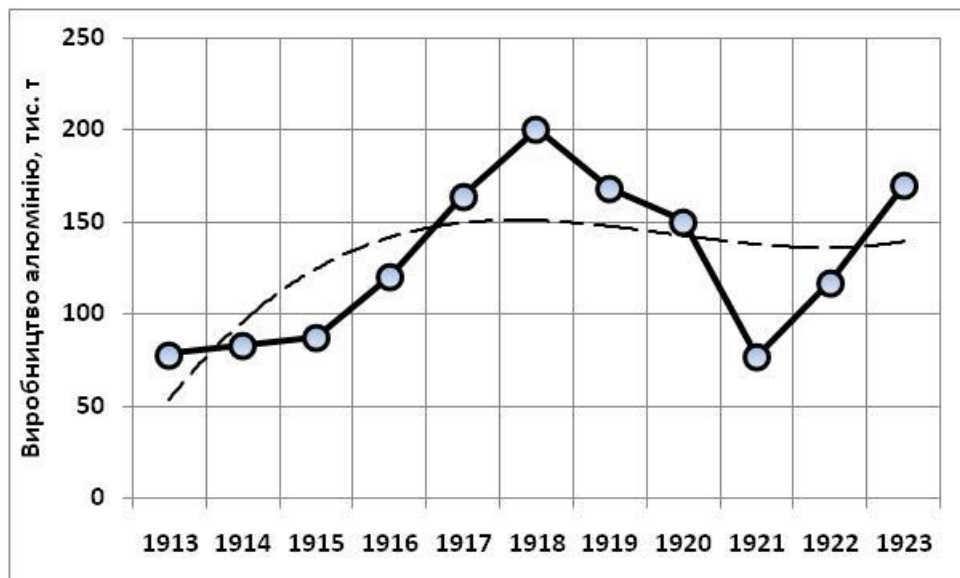


Рис. 4.4 Динаміка виробництва алюмінію в світі [309, с. 50]

Перше місце в світі за виробництвом алюмінію впродовж 1913-22рр. займали США, частка яких за звітний період збільшилась з 37,8 до 44,4% (табл. 4.7). В 1922 році 2-4 місця займали Франція, Німеччина і Швейцарія, з часткою 10,3% кожна.

Таблиця 4.7

Виробництво алюмінію в світі за країнами в 1913 -1922рр. [309]

Країни	1913		1918	1921	1922		1922 до 1913, %
	Обсяг, тис. т	Частка, %	Обсяг, тис. т	Обсяг, тис. т	Обсяг, тис. т	Частка, %	
США	29,5	37,77	102	28,8	52	44,41	176,3
Франція	13,5	17,29	12	10	12	10,25	88,9
Німеччина	0,8	1,02	25	10	12	10,25	1500,0
Швейцарія	10	12,80	15	10	12	10,25	120,0
Велика Британія	10	12,80	14	5	9,5	8,11	95,0
Канада	5,9	7,55	15	6	9	7,69	152,5
Норвегія	2,5	3,20	7,5	4	6	5,12	240,0
Австрія	5	6,40	8	2	4	3,42	80,0
Італія	0,9	1,15	1,7	0,7	0,6	0,51	66,7
Разом	78,1	100,00	200,2	76,5	117,1	100,00	149,9

Примітка. Вихідні дані Брейтерман А.Д. [309, с. 50-51]

1856р. - **Генрі Бессемер** (Henry Bessemer, 1813-1898), англійський винахідник, розробив конструкцію конвертера з кислотою футеровкою (динас) та технологію виробництва сталі з використанням продування знизу повітрям розплавленого чавуну. Тривалість технологічного циклу становила до 20 хв. Цей винахід поклав початок промислового виробництва сталі в світі. Одночасно Бессемер-процес знижував вартість сталі з 50...60 £/т (80...95 \$/т) до 6...7 £/т (9...11 \$/т). Для комерціалізації процесу винахідник в 1859р. заснував компанію Henry Bessemer and Company (Sheffield). В США перші конвертери Бессемера були встановлені поблизу м. Детройта, майбутньої столиці автомобільної промисловості. В 1865р. на свій винахід Г. Бессемер отримав патент США № 49055 «Improvement in machinery for the Manufacture of Iron and Steel» [22, 86, 93].



Генрі Бессемер. Фото - <https://commons.wikimedia.org>

1857р. – **Микола Васильович Воронцов** (1833-1893), інженер, Златоустівська збройова фабрика (м. Златоуст, Челябінська обл., Російська імперія), базуючись на публікації в «Горном журнале» проводить **перше в Росії бессемирування чавуну**. Після двохрічного стажування за кордоном (Англія, Бельгія, Німеччина, Франція) М. В. Воронцов був призначений механіком всіх Златоустівських заводів і помічником П. М. Обухова по сталеливарній фабриці. В зв'язку з розширенням виробництва 11-дюймових гармат було почато проект створення 50-тонного молота подвійної дії. Заливання 26 січня 1873р. чавунного шабота до цього молота масою 38 тис. пудів (620 т) провадилась з використанням 14 вагранок системи Маккензі і продовжувалась без перерви 27 годин. Виливка охолоджувалась впродовж трьох місяці. До кінця XIX ст. цей молот вважався найбільш потужним в світі [75].



Микола Васильович Воронцов [23]

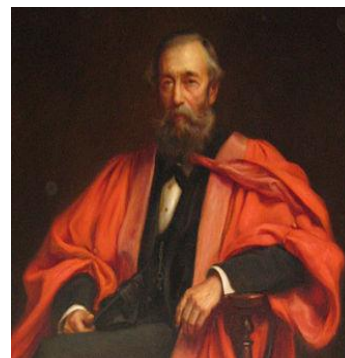
1859р. – В м. Златоусті (тепер Челябінська обл., Росія) була побудована та введена в експлуатацію перша в країні **Князе-Михайлівська збройова фабрика**, на якій було організовано серійне виробництво гармат з **тигельної сталі**. З 1 жовтня 1857р. по 30 липня 1860р. на уральському заводі за методом вченого-металурга **Павла Матвійовича Обухова** (1820-1869) було виплавлено 10,4 тис. пудів (170,6 т) сталі. Причому обухівська сталь коштувала від 1руб. 60 коп. до 2 руб. за пуд, тоді як пуд крупівської сталі обходився російській казні в 5руб. 50 коп., а англійської – 15 руб. Одна з гармат виробництва 1860р., яка витримала на полігоні більше 4 тисячі пострілів, демонструвалась на Всесвітній виставці в Лондоні в 1862р. і була нагороджена золотою медаллю [23, 71, 72].



Павло Матвійович Обухов [23]

1862-64рр. – В Великобританії побудовано **перші сталеві морські судна**. Це були колісне швидкохідне судно «Банші» (Banshee), гвинтовий пароплав «Енні» (Annie) та парусники «Формбей» (Formbay) і «Алтея» (Althea). Кораблі були досить дорогими, так як для їх виготовлення використали тигельну сталь [11].

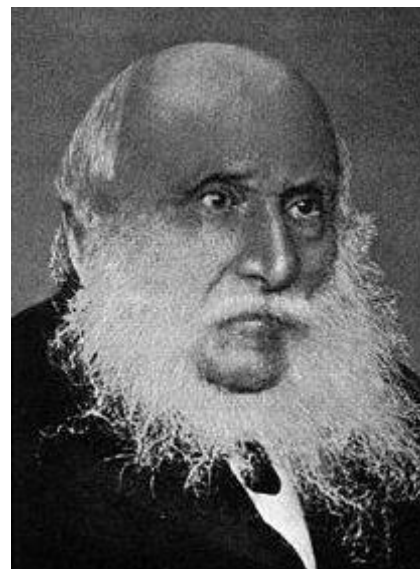
1863р. – **Генрі К. Сорбі** (Henry Clifton Sorby, 1826 –1908), англійський петролог і металознавець, розробив методи дослідження мікроструктури чавуну та сталі з застосуванням оптичного мікроскопу та травлення кислотою. Його іменем названа структурна складова сталі, що є сумішшю фериту та цементиту з міжпластинковими відстанями 0,2...0,4 мкм – «сорбіт» [1, 2, 22, 27].



**Генрі К. Сорбі,
Portrait in Mappin Hall,
University of Sheffield [22]**

1864р. – **Антон Іванович Скіндер** (1831-1895), хімік-технолог, Обухівський завод, під час роботи на Нижньо-Тагільському заводі (Російська імперія) розробив точні та оперативні (для свого часу) методики візуально-колориметричного визначення вмісту вуглецю, марганцю, сірки, фосфору та інших елементів в чавунах і сталях. Для підвищення точності вимірювання А. І. Скіндер сконструював прилади – кольорометр і нефелометр [75].

1864р. – Французький інженер **П'єр Еміль Мартін** (Pierro Emile Martin, 1824-1915), отримавши ліцензію від англійського інженера **Карла Вільгельма Сіменса** (Carl Wilhelm Siemens, 1823-1883) на його регенеративну піч, створив свій варіант **полум'яної відбивної плавильної печі** (open-hearth furnace) з регенераторами для виплавки сталі на поду. Інновація була реалізована на заводі Sireuil Ironworks, департамент Charente, Франція, що був власністю Еміля Мартіна (Emile Martin), батька П'єра Мартіна. Технологія виплавки сталі базувалась на використанні чавуну та металевого брухту. В 1867р. розробка сина та батька Мартін була відзначена золотою медаллю Всесвітньої виставки в Парижі. Основний патент П'єра та Еміля Мартінів, що описував процеси знеуглецювання (decarburization) та повторного науглецювання (recarburizations), був отриманий в Франції в 1865р. В світі ця розробка відома як мартенівський процес або процес Сіменса-Мартіна.



П'єр Еміль Мартін [22]

В той же час Е. та П. Мартіни не мали права на ліцензійні відрахування. Це обумовлено рішенням Металургійної та Гірничої Асоціації Штирії та Карінтії (Австрія), що прийшла до висновку, що Е. і П. Мартіни використали вже описані одиничні розробки. Проте, доклавши свої практичні розробки, винахідники в результаті отримали ефективний промисловий процес виробництва литої сталі [11, 22, 235-237].

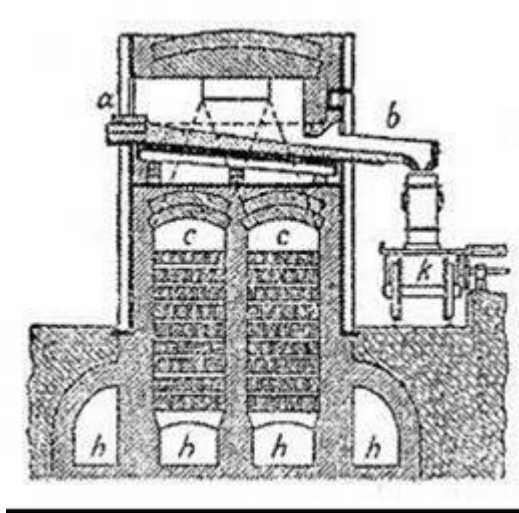
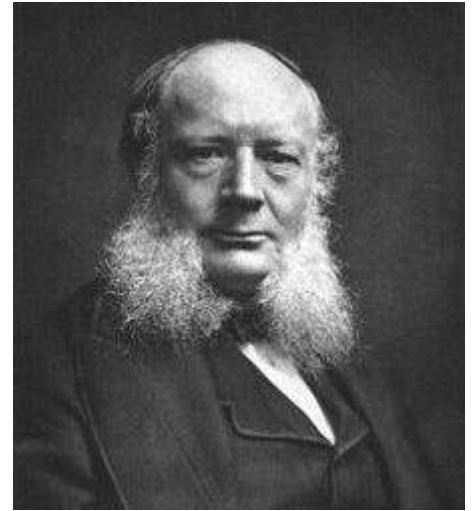


Схема першої печі для плавки сталі за процесом Сіменса-Мартіна [238]

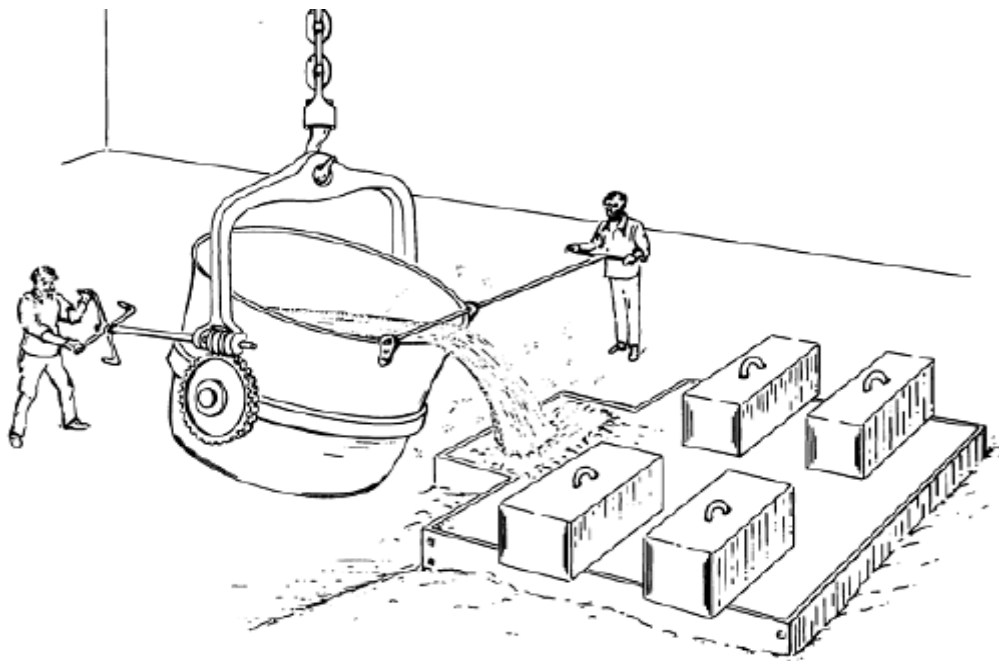


Сер Карл Вільгельм Сіменс [22]

1867р. - Джеймс Нейсміт (James Nasmyth, 1808- 1890), шотландський інженер, винахідник парового молота, створив для розливання металу в ливарні форми безпечний **ливарний ківш** з застосуванням зубчатої передачі для його нахилення. Такий ківш обслуговували дві людини замість шести і тому ця конструкція ливарного ковша знайшла широке застосування в ливарному виробництві [1, 2, 16, 22].



Джеймс Нейсміт, Woodburytype print, 1877 [22]



Ливарний ківш конструкції Джеймса Нейсміта[16]

1867р. - Німецький винахідник, доктор **Вернер Сіменс** (Ernst Werner Siemens, 1816-1892) і англійський фізик сер **Чарльз Уїтстоун**, (Charles Wherstone, 1802-1875) створили першу реальну **електричну динамо-машину**. Причому зробили це незалежно один від одного і одночасно надіслали 17 січня 1867р. документи в Королівське товариство (Royal Society) Лондона.



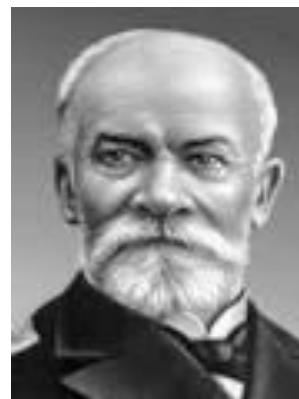
Вернер фон Сіменс [22]



Сер Чарльз Уїтстоун, портрет роботи Samuel Laurence, 1868 [22]

В недалекому майбутньому динамо-машина забезпечить електроенергією нові методи виробництва металів, електродугові пічі, а також виробництво алюмінію [22, 86].

1868р. – **Дмитро Костянтинович Чернов** (1839-1921), вчений-металург, Російська імперія, опублікував в сьомій книзі «Записки імператорского Русского технического общества» статтю «Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету», що започаткувала науку металографію. В роботі вперше, виходячи з кольорів гартування виробів з сталі, було вказано на існування в твердій сталі критичних температурних точок фазових перетворень (точки Чернова) і залежність їх положення на температурній шкалі від вмісту вуглецю в сталі. Тим самим було зроблено перші кроки до створення графічної діаграми залізо-вуглець [18, 175].



Дмитро Костянтинович Чернов [18]

1869р. – Засновано Британський Інститут чавуну та сталі (British Iron and Steel Institute) [86].

1869р. – **Дмитро Іванович Менделєєв** (1834-1907), професор хімії, Петербургський університет і Петербургський технологічний інститут, Російська імперія розробив систему класифікації хімічних елементів та створив **Періодичну таблицю хімічних елементів**. В основу класифікації було покладено періодичну залежність властивостей хімічних елементів від величини їх атомних ваг. Правочинність Періодичної системи було підтверджено відкриттям галію (1875), скандію (1879) та германію (1886), що були передбачені Д. І. Менделєєвим в 1870-1871рр. Сучасний варіант Періодичної таблиці хімічних елементів складено на підставі рішень Міжнародного союзу теоретичної і прикладної хімії (International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC) [18, 27, 86, 234].



Дмитро Іванович Менделєєв [18]

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (довгоперіодний варіант)

ПЕРІОДИ	ГРУПИ ЕЛЕМЕНТІВ																							
	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIII		IB	II	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA							
1	s-елементи																p-елементи							
1	1 H Гідроген 1,0079																	2 He Гелій 4,0026						
2	3 Li Літій 6,941	4 Be Берилій 9,0122																	5 B Бор 10,811	6 C Вуглець 12,011	7 N Азот 14,007	8 O Кисень 15,999	9 F Фтор 18,998	10 Ne Неон 20,179
3	11 Na Натрій 22,990	12 Mg Магній 24,305																	13 Al Алюміній 26,982	14 Si Силіцій 28,086	15 P Фосфор 30,974	16 S Сульфур 32,065	17 Cl Хлор 35,453	18 Ar Аргон 39,948
4	19 K Калій 39,098	20 Ca Кальцій 40,078	21 Sc Скандій 44,956	22 Ti Титан 47,88	23 V Ванадій 50,942	24 Cr Хром 51,996	25 Mn Манган 54,938	26 Fe Залізо 55,847	27 Co Кобальт 58,933	28 Ni Нікель 58,69	29 Cu Мідь 63,546	30 Zn Цинк 65,38	31 Ga Галій 69,723	32 Ge Германій 72,63	33 As Арсен 74,922	34 Se Селен 78,96	35 Br Бром 79,904	36 Kr Криптон 83,80						
5	37 Rb Рубій 85,468	38 Sr Стронцій 87,62	39 Y Йодій 88,906	40 Zr Цирконій 91,224	41 Nb Ніобій 92,906	42 Mo Молибден 95,94	43 Tc Технецій (99)	44 Ru Рудій 101,07	45 Rh Родій 102,91	46 Pd Паладій 106,42	47 Ag Срібло 107,87	48 Cd Кадмій 112,41	49 In Індій 114,82	50 Sn Свинець 118,71	51 Sb Станій 121,76	52 Te Телур 127,60	53 I Йод 126,90	54 Xe Ксенон 131,29						
6	55 Cs Цезій 132,91	56 Ba Барій 137,33	57 La* Лантан 138,91	58 Hf Гафній 178,49	59 Ta Тантал 180,95	60 W Вольфрам 183,85	61 Re Реній 186,21	62 Os Осмій 190,2	63 Ir Ірідій 192,22	64 Pt Платина 195,08	65 Au Золото 196,97	66 Hg Ртуть 200,59	67 Tl Талій 204,38	68 Pb Свинець 207,2	69 Bi Висмут 208,98	70 Po Полоній (209)	71 At Астат (210)	72 Rn Радон (222)						
7	87 Fr Францій (223)	88 Ra Радій (226)	89 Ac** Актиній (227)	90 Rf Ренерфрій (261)	91 Db Дубній (262)	92 Sg Сейбурій (263)	93 Bh Берклій (264)	94 Hs Ганцій (265)	95 Mt Мейтнерій (266)	96 Uun Унунгексій (267)														
			f-елементи																					
*Лантаноїди			58 Ce Цезій 140,12	59 Pr Прометій 140,91	60 Nd Неодим 144,24	61 Pm Прометій (147)	62 Sm Самарій 150,36	63 Eu Європій 151,96	64 Gd Гадоліній 157,25	65 Tb Тербій 158,93	66 Dy Диспроцій 162,50	67 Ho Гольмій 164,93	68 Er Ербий 167,26	69 Tm Тиманій 168,93	70 Yb Йттербий 173,04	71 Lu Лютецій 174,97								
**Актиноїди			90 Th Торій 232,04	91 Pa Прутацій (231)	92 U Уран 238,03	93 Np Нептуній (237)	94 Pu Плутоній (244)	95 Am Америцій (243)	96 Cm Кюріум (247)	97 Bk Берклій (247)	98 Cf Каліфорній (251)	99 Es Ейнштейній (252)	100 Fm Фермій (257)	101 Md Менделєєвій (258)	102 No Нобелій (259)	103 Lr Лоренцій (260)								

Україномовний варіант Періодичної системи хімічних елементів згідно IUPAC [233]

1870р. – **Веніамін Чів Тігман** (Benjamin Chew Tilghman, 1821-1901), винахідник з Філадельфії, США, отримав патент США на піскоструменеву обробку, що використовувалась і для очищення великих виливок [1, 2, 22].



Веніамін Чів Тігман, фото Frederick Gutekunst [22]

1870р. – **Олександр Олександрович Ізносков** (1844-1911), інженер, побудував першу в Російській імперії **мартенівську сталеплавильну піч** на Сормовському заводі (Нижегородська губернія), що належав підприємцю Дмитру Єгоровичу Бенардакі (1799-1870). Піч мала ємність 2,5 т, а в якості шихти використовувався переробний чавун та металевий брухт [23].



Олександр Олександрович Ізносков [23]

1874р. – **Віктор Коллю** (Victor Colliau, 1827-1892), інженер, походженням з Франції, створив першу комерційну вагранку в Америці. Це була економічна піч, яка мала два ряди фурм. В подальшому його син, Victor Colliau (1866 -?) продовжив в Детройті інженерні розробки батька [1, 2, 32, 33].

1876р. - **Вільям Фрішмут** (Johann Wilhelm Gottfried Frischmuth, 1830-1893), американський металург, походженням з Німеччини, розробив хімічний метод видобування з бокситів алюмінію та використання його в ливарному виробництві Філадельфії. Метод було запатентовано в США. Перший алюмінієвий вилівок було встановлено на монументі першому Президенту США Джорджу Вашингтону (1732-1799). Це була пірамідальна верхівка висотою 23 см, виготовлена Вільямом Фрішмутом з алюмінію, на той час такого ж дорогого металу, як і срібло. Монумент висотою 169 м було остаточно завершено 1885р. [1, 2, 18, 22].



Алюмінієвий вилівок верхівки монументу Дж. Вашингтону [22]

1876р. – Інженер **Сідней Джілкріст Томас** (Sidney Gilchrist Thomas, 1850-1885), Blaenavon Iron & Steel Company, Уельс, модернізував бесемерівський процес для переробки високофосфористих чавунів в низкофосфористу сталь шляхом додання вапняку та використання основної футеровки. У 1878р. Сідней Д. Томас отримав патент на цей метод, названий в подальшому томасівський процесом або томасівським конвертером [18, 86].



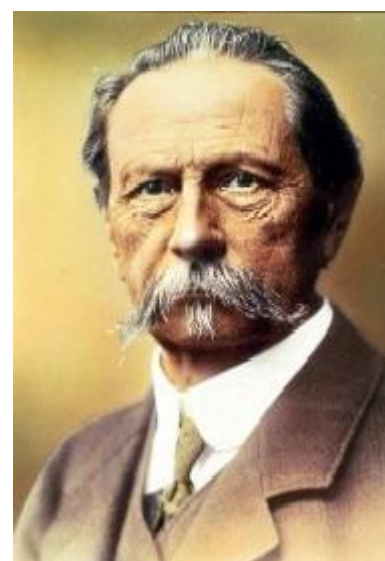
Сідней Джілкріст Томас [18]

1877р. – В Лондоні була заснована і почала функціювати **Лондонська біржа металів** (London Metal Exchange, LME). Одною з причин організації біржової торгівлі була нерівномірність постачання до Великої Британії суднових партій міді з Чілі та олова з Малайзії. Спочатку на біржі торгувалась мідь, а пізніше свинець та цинк. Під час Другої світової війни ЛБМ була закрита і торги відновились тільки 1954р. В подальшому торгівля в ЛБМ поширилась на алюміній (1978р.), нікель (1979р.), олово (1989р.), алюмінієвий сплав (1992р.), сталеву заготовку (2008р.), а також кобальт і молібден (2010р.) [22].



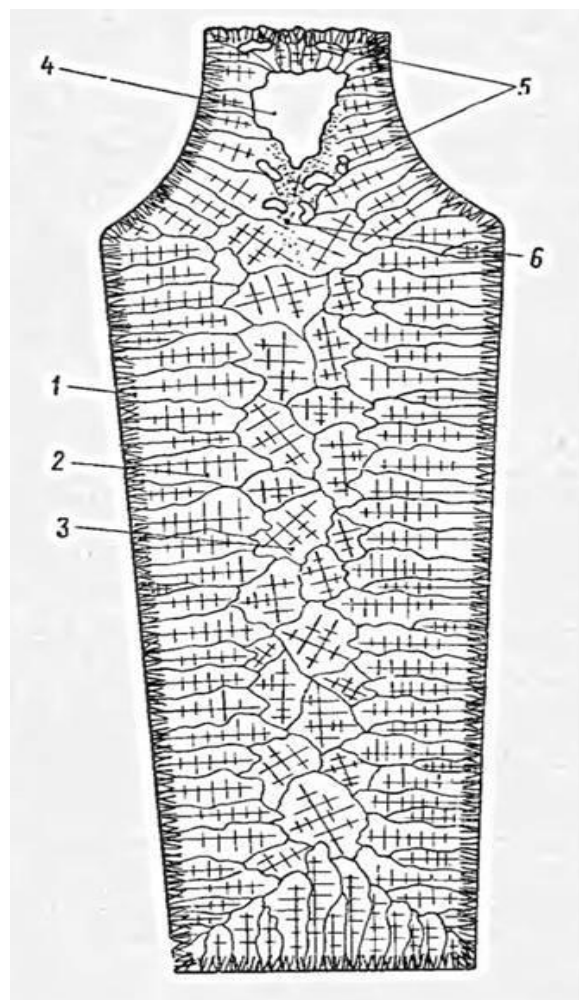
Сучасний вигляд Лондонської біржі металів [307]

1879р. - **Карл Фрідріх Бенц** (Karl Friedrich Michael Benz, 1844 – 1929), німецький автоінженер, отримав патент на перший в світі двотактний **бензиновий двигун внутрішнього згорання**, який був розроблений в 1878р. Його перший автомобіль (Motorwagen) був побудований в 1885р. в м. Мангеймі, Німеччина. Карл Бенц отримав патент на автомобіль у 1886р. На Паризькій виставці автомобіль К. Бенца демонструвався в 1887р. [18].



Карл Фрідріх Бенц [18]

1879р. – Дмитро Костянтинович Чернов (1839-1921), вчений-металург, Російська імперія, опублікував в першій книзі «Записки императорского Русского технического общества» статтю «Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок», де вперше виклав свою **теорію кристалізації сталевого зливка**. Він припускав, що перехід сталі з рідкого в твердий стан супроводжується процесом зароджування кристалів (дендритів) та їх ростом. Вчений також представив схему структурних зон сталевого зливка [18, 175].



Схематичне зображення структури сталевого зливка за Д. К. Черновим [177].

- 1 – дендрити дрібнокристалічної будови;
- 1 – стовпчаті дендрити;
- 2 – рівновісні дендрити;
- 3 – усадочна раковина;
- 4 – газові пухирі та пустоти;
- 5 – усадочна пухкість і ліквация зона.

1880-87рр. – Американська машинобудівна компанія з Клівленда, **W.W. Sly Manufacturing Company**, освоєє виробництво першого галтувального барабану, що дозволить механізувати та скоротити процес очищення металевих виливок [1, 2].

1882р. – Англійський підприємець та металург **Роберт А. Гадфільд** (Robert Abbott Hadfield, 1858 - 1940) розробив та запатентував (1883-84рр.) високомарганцовисту сталь з вмістом 11-14% марганцю. Інформацію про сталь винахідник оприлюднив у 1888р. Відома під марками BW10 (Велика Британія), ASTM A128 (США), 110Г13Л (Радянський Союз, Росія, Україна). В 1919р. отримав патент США US 1310528 «Manufacture of manganese Steel» з пріорітетом від 1917р. на вдосконалений варіант вказаної сталі. Особливістю високомарганцовистої сталі є спроможність до наклепу при ударних навантаженнях. Застосовується для виготовлення траків гусенечних машин, деталей дробилок і ковшів екскаваторів, елементів рейкового шляху та піхотних шоломів. В Радянському Союзі сталь Гадфільда почали виплавляти в 1922р. на заводі «Серп і молот», Москва [23, 84, 85].



Роберт А. Гадфільд [85]

1886р. - **Пауль Еру** (Paul Louis Toussaint Héroult, 1863-1914) у Франції та **Чарльз Мартін Гол** (Charles Martin Hall, 1863-1914) в США незалежно один від одного запропонували спосіб виробництва алюмінію електролізом глинозему, який розчинено в розплавленому кріоліті. Винахід призвів до зниження вартості чистого алюмінію від 15 USD/фунт (1884р.) до 0,50 USD/фунт (1890р.), стимулюючи комерційне виробництво алюмінію в світі. [1, 2, 17, 18, 22].



Пауль Л. Еру [22]



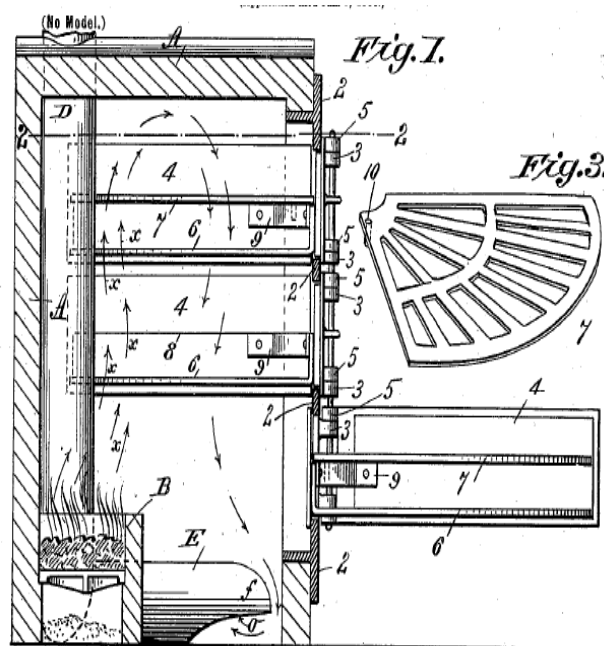
Чарльз М. Гол [22]

1886р. - **Анрі Луї Ле Шательє** (Henry Louis Le Chatelier, 1850 - 1936), французький фізик і хімік, професор Парижської вищої гірничої школи розробив термопару Pt – Pt/Rh (10% Rh) для вимірювання температур до 1550-1600 °С. В подальшому це дозволило визначити температури фазових перетворень в сталі [18, 23, 175].



Анрі Луї Ле Шательє [18]

1887р. - **Елі Міллет** (Eli Millett), Спрінгфільд, штат Массачусетс, США модернізує сушильні печі відповідно до потреб ливарного виробництва і одночасно застосовує для сушіння різних стижнів індивідуальні драйери. Розробки були запатентовані в 1887р., а також в 1900р. (патент США № 649135 «Core Oven») [1, 2, 16].



Малюнок до патенту США № 649135

1888р. – Американська компанія **Alcoa** (Aluminum Company of America, 1886) присвоїла алюмінію чистотою 99% марку 2S. Алюмінієва асоціація США (The Aluminum Association) класифікує його як алюмінієвий сплав 1100. Він є найстарішим алюмінієвим сплавом в світі. До виробів з сплаву 1100 застосовують деформаційне зміцнення і вони використовуються у випадках, коли міцність не є визначальною [49].

1890 р. – В США створено перший **ливарний конвейєр**, який приводився в рух двигуном, та об'єднував операції формування, лиття металу і охолодження виливок [1, 2].

1890р. – На Макеєвському труболиварному заводі (Російська імперія, Україна) був введений до дії цех по виробництву **чавунних труб** для шахтних водовідливних установок. Для виробництва цих труб використовували так званий «ямний» спосіб. По цій технології труби довжиною до 3м формувались та заливались вертикально. В 1910р. було випробувана **перша в Росії відцентрова машина** для лиття чавунних труб діаметром 100 мм і довжиною 2 м в сталевий кокіль, що рознімався по довжині. В 1912р. на заводі було побудовано новий труболиварний цех, в якому для виготовлення труб була застосовано карусельний метод. Формування труб виконувалось спеціальною машиною ударної дії, а ливарні форми пересувались по коловому конвейєру – «каруселі» [62].

1890р. – На Пермських гарматних заводах (Російська імперія) була створена **установка для електродугового плавлення металів** за методом **Миколи Гавриловича Славянова** (1854-1897), інженера, помічника Гірничого нальника Пермських заводів. В основу розробки були покладені патенти (привілеї), які отримав М. Г. Славянов в 1891р., а саме «Способ и аппараты для электрической отливки металлов» № 87 від 25 серпня 1891р. і «Способ электрического уплотнения металлических отливок» № 86 від 25 серпня 1891р.



Микола Гаврилович Славянов [23]

Своїм останнім винаходом інженер заклав основи електродугового підігріву надливу злитків. Ця технологія була застосування спочатку в Франції (1914р.), а потім в США, Німеччині та Швеції (до 1930-х років). Вперше в Радянському Союзі її впровадили на початку 1950-х років на заводі «Электросталь» (м. Електросталь), а потім на Кузнєцькому металургійному комбінаті, Новокраматорському машинобудівному заводі та Уральському заводі важкого машинобудування [23, 277, 278].

1891р. – На Богословському мідеплавильному заводі (Російська імперія, тепер Свердловська обл. РФ) збудовано фабрику для виробництва **міді електролітичним способом**. Технологія дозволяла отримувати мідь чистотою 99,97%. Проте внаслідок високої собівартості продукції виробництво було зупинено в 1895-1896 рр. [277].

1891р. - **Альберт Совер** (Albert Sauveur, 1863 - 1939), американський металург, походженням з Бельгії, використав мікроскоп на Illinois Steel Company, Південне Чикаго, для покращення контролю якості сталевого прокату. Зробив перші в США фотографії мікроструктури сталі. Видав книги "The Microstructure of Steel" (1893), "Metallography and Heat Treatment of Iron and Steel" (1912) [22, 28, 29].



Альберт Совер [29]

1895р. – Головний металург Обуховського заводу (Санкт-Петербург, Російська імперія) **Альфонс Олександрович Ржешотарський** (1847-1904) організував першу в Росії металографічну та мікрофотографічну лабораторію для дослідження структури сталі з допомогою оптичного мікроскопа. Застосування мікрофотографії дозволило наочно дослідити ліквіацію хімічних елементів в сталі. Підсумовуючи виконані в лабораторії дослідження, А. О. Ржешотарський в 1898р. видав книгу «Микроскопические исследования железа, стали и чугуна». В монографії відображені системні дослідження заліза, сталі та чавуну при різних методах обробки [75].



Альфонс Олександрович Ржешотарський [75]

1896р. – **Вячеслав Миколайович Ліпін** (1858-1930), ад'юнт кафедри металургії Санкт-Петербурзького Гірничого інституту організував на Путіловському заводі (Російська імперія) виробництво **легованої сталі**, зокрема вольфрамової. В 1897р. його було призначено екстраординарним професором Гірничого інституту за наукову роботу «Некоторые свойства молибденовой стали». Професор В. М. Ліпін є автором трьохтомної праці «Металлургия чугуна, железа и стали», 1904-1930рр. [23].

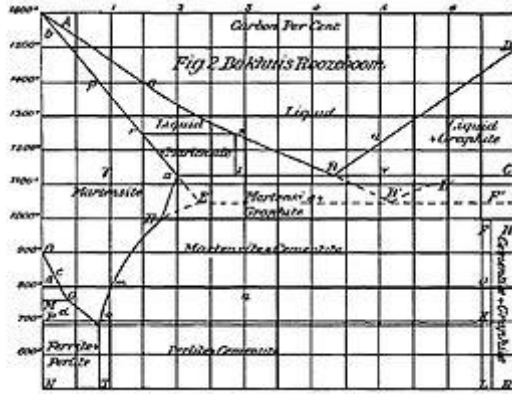


Вячеслав Миколайович Ліпін [23]

1897р. - **Вілліам Робертс-Аустен** (William Chandler Roberts-Austen, 1843 - 1902), металург, Англія, представив перше графічне зображення діаграми Fe – С в координатах температура - концентрація. У 1900р. **Хендрік Роузбум** (Hendrik-Willem Bakhuis Roozeboom, 1854 - 1907), фізико-хімік, Голландія, на прохання В. Робертс-Аустена доопрацював вказану діаграму, спираючись на теорію рівноваги фаз американського хіміка та фізика Джозайя Уїлларда Гіббса (Josiah Willard Gibbs, 1839 - 1903) і тим чином створив першу «реальну» фазову діаграму Fe-C [22, 23, 176].



Хендрік Роузбум [22]



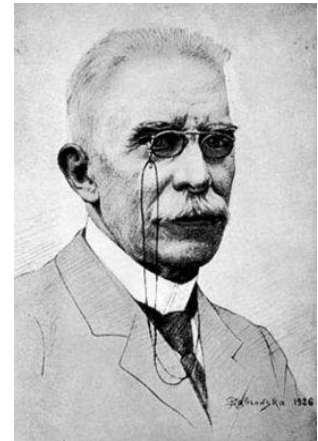
Fe - C Phase Diagram, H.W.B. Reozeboom, The Metallgraphist, 3, 293-300 (1900) [22, 176]



Вілліам Робертс-Аустен [176]

1897 р. – Знаний американський дантист **Б. Ф. Філбрук** (Barnabus Frederick Philbrook, 1853-1941) з штату Айова, адаптує процес лиття по восковим моделях, що витоплюються, для виготовлення золотих зубних коронок та інкрустацій [1, 2, 36].

1897р. – **Анрі Луї Ле Шательє** (Henry Louis Le Chatelier, 1850 - 1936), французький фізик і хімік, професор Парижської вищої гірничої школи сконструював металографічний оптичний мікроскоп для дослідження структури непрозорих об'єктів, в тому числі і металів [23].



Анрі Луї Ле Шательє [23]

1898 р. – Англійські винахідники **Ендрю Пулсон** (Andrew Poulson) і **Джон Харгрівз** (John Hargreaves) розробляють перші піщані ливарні форми (стрижні) з використанням **зв'язуючого на основі силікату натрію** (рідке скло), якого додають в кількості 1,0-1,5% від ваги піску. В цьому ж році автори патентують свою розробку (патент GB189811847A «Improvements in and relating to the Preparation of Sand and like Substances to be used in Making Moulds and Cores for Casting») [1, 2].

1898р. - В Німеччині рекомендують використовувати для пароплавних трубопроводів з солоною водою **мідно-нікелеві сплави**, що містять 4-45% Ni [1, 2].

1899р. – У Франції починається промислове виробництво електричних **дугових плавильних печей** для плавки сталі (ДСП), розроблених металургом и вченим **Паулем Еру** (Paul /Louis-Toussaint/Heroult, 1863-1914) [1, 2, 22].

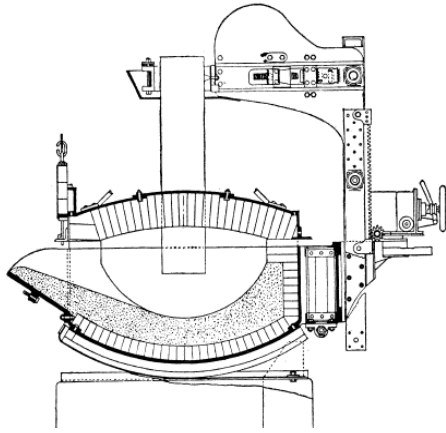


Схема однофазної, ємністю 2,5 т плавильної печі конструкції П. Еру, La Praz, Франція [184]

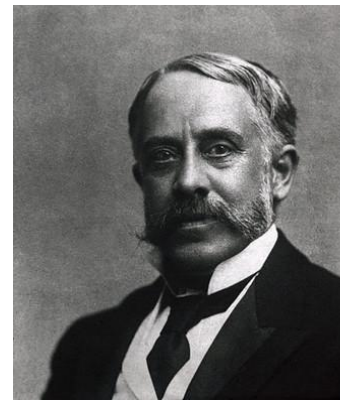


Пауль Еру [22]

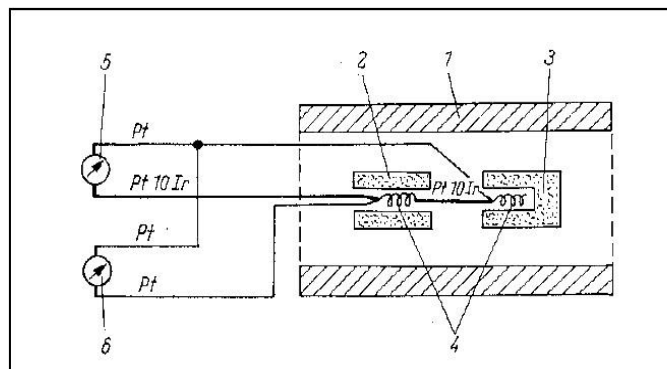
1899р. – **Вілліан Роберт-Аустен** (Sir William Chandler Roberts-Austen, 1843-1902), англійський металург і професор, першим в світі повідомив свою ідею стосовно **диференціального термічного аналізу (ДТА)** в документі на ім'я дослідного комітету сплавів (Alloys Research Committee) в Лондоні. В результаті металознавці отримали вельми чутливий інструмент для виявлення фазових перетворень в металевих сплавах, що супроводжуються досить малими тепловими ефектами, в координатах температура – час. Крім того, науковець розробив для автоматичного запису температури прилад, який він назвав **пірометром** (Thermo-Electric Pyrometer), що записував на фотопластинці криву зміни температури в часі [22, 27, 94].

Фото В. Роберт-Аустен -

<http://www.blackheathvillagearchive.com/gallery?lightbox=imageh8e>



Вілліан Роберт-Аустен



Roberts-Austen's DTA design

1 - трубу керамічна; 2 - зразок еталонний; 3 - зразок дослідний; 4 - термопари; 5 - гальванометр, що показує температуру дослідного зразка; 6 - гальванометр, що показує різницю температур

Принципова схема ДТА Вілліана Роберт-Аустена [94]

1900р. – Шведський інженер **Фредерік А. Кьєллін** (Fredrik Adolf Kjellin, 1872-1910) створив першу в світі комерційну **індукційну піч** для виплавки сталі на підприємстві Benedicks Vultfabrik, Stysinge, Швеція. В 1901р. Фредерік А. Кьєллін отримав патент США US 682088 «Electric Furnace» з пріоритетом від 13 березня 1901р. [200, 201].



Фредерік А. Кьєллін [200]



Модель індукційної печі Фредеріка А. Кьєлліна в масштабі 1:10 [200]

1900р. – **Юхан Август Брінелль** (Johan August Brinell, 1849-1925), шведський інженер і металург, головний інженер Fagersta Iron and Steel Works в Вестманленд (Westmanland), Швеція, винаходить **метод кількісного визначення твердості металів** з використанням сталеві загартованої кульки діаметром від 1 до 10 мм при навантаженні від 1 до 3000 кг. Винахідник повідомив про свою розробку Шведське товариство технологів (Swedish Society of Technologists) і представив її на Парижській виставці. Перші комерційні твердоміри Брінелля були виготовлені Alpha Company, Швеція. Твердість за цим методом позначалась як HBW [1, 2, 22, 23, 100, 101]. Фото Юхана А. Брінелля - <https://alchetron.com/Johan-August-Brinell>



Юхан Август Брінелль



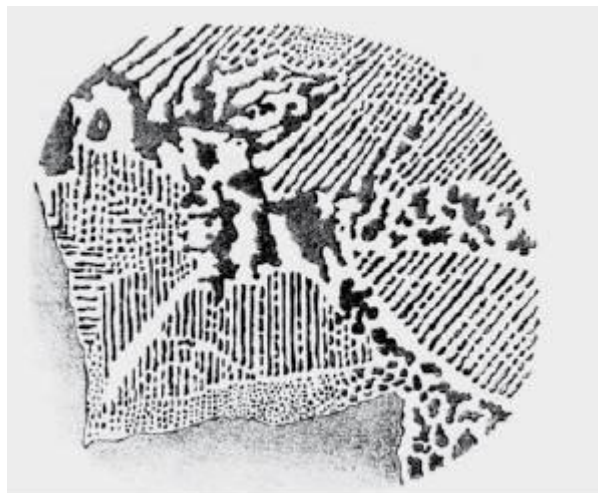
Дизайн твердоміра Брінелля від Alpha Company, Швеція [101]

1900р. – Вироби з **алюмінієвої бронзи** регулярно виготовляють в США [1, 2]

Початок 1900-х - Перший патент на **процес лиття в кокіль під низьким тиском** отримує англійська компанія Е. Н. Лейк [1, 2].

1901р. - Компанія **American Steel Foundries** (Сент-Луїс, штат Міссурі, США) виробляє перші сталеві залізничні колеса **методом відцентрового лиття** [1, 2, 16].

1902р. - Професор **Флоріс Осмонд** (Floris Osmond, 1849-1912), Франція запропонував назвати фазу голчатої структури та великої твердості у сталі «мартенсит» від прізвища німецького металографа професора **Адольфа Мартенса** (Adolf Karl Gottfried Martens, 1850-1914), Королівський центр випробування матеріалів (Königlichen Materialprüfungsamtes in Dahlem bei Berlin, в наш час Bundesanstalt für Materialforschung und – prüfung, BAM). У 1912р. шостий конгрес Міжнародної асоціації з випробування матеріалів (International Association for Testing Materials, IATM) у Нью-Йорку затвердив термін «мартенсит» [18, 22, 178].



Малюнок Адольфа Мартенса. Мікроструктура дзеркального чавуну, травлення сульфатом магнію, х 200 [178]



Адольф Мартенс [178]

1903р. - Перший успішний літак братів **Уїлбурга** та **Орвілла Райтів** (Wilbur Wright, 1867-1912 і Orville Wright, 1871-1948) мав бензиновий двигун з повітряним охолодженням, в якому блок циліндрів і картер (разом важать 152 фунтів або 69 кг) були виготовлені з ливарного алюмінієвого сплаву з 8% міді. Побудував цей перший авіаційний двигун з повітряним охолодженням американський винахідник і механік **Чарльз Едвард Тейлор** (Charles Edward Taylor, 1868 – 1956).



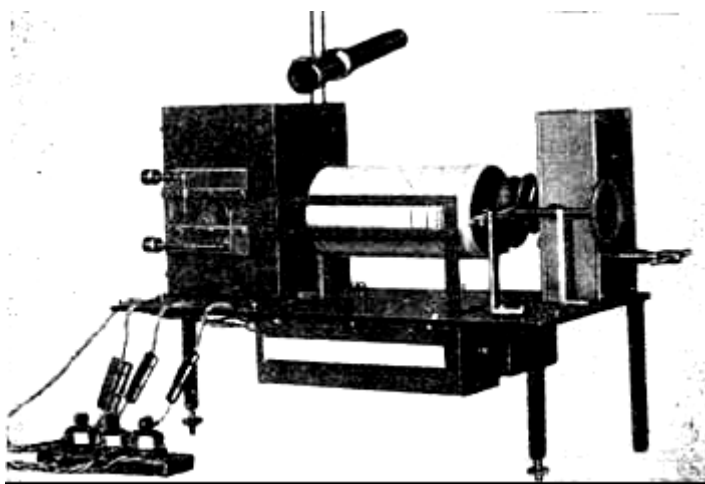
Орвілл Райт в 1905р. [22]



Уїлбур Райт в 1905р. [22]

Вважається, що двигун виготовили або в компанії Miami Brass Foundry, або в компанії Buckeye Iron and Brass Works, штат Огайо [1, 2, 22, 38].

1904р. – **Микола Семенович Курнаков** (1860-1941), професор Електротехнічного інституту, Санкт-Петербург, Російська імперія, опираючись на роботи англійського металурга Вільяма Робертса-Остіна (William Chandler Roberts-Austen, 1843-1902) та французького фізико-хіміка Анрі Ле Шательє (Henri Louis Le Chatelier, 1850-1936), розробив перший в Росії **прилад (пірометр) для записування кривих охолодження-нагріву металерих сплавів** на паперовий носій. Перший зразок приладу був виготовлений в майстерні Сейсмічної лабораторії Академії наук Росії, а другий – в Німеччині. Тим самим вчений започаткував основи термічного аналізу в російській науці [18, 22, 23, 254, 255].



Пірометр конструкції М. С. Курнакова [255]



Микола Семенович Курнаков [18]

1905р. – **Альберт Лерій Марш** (Albert Leroy Marsh, 1877-1944), американський металург, створив сплав, що містив 80% нікелю та 20% хрому. Сплав отримав назву **Nichrome (Ніхром)** і використовується в якості нагрівального елемента в печах. В 1906р. винахідник отримав патент США US811859 «Electric resistance element» з пріоритетом від 1905р. [86, 87].



Альберт Марш [87]

1905р. – **Роберт Крукс Стенлі** (Robert Crooks Stanley, 1876-1951), американський металург International Nickel Company (INCO, США-Канада), розробив сплав, що містив 65% нікелю та 35% міді. Патент US 811239 «Manufacture of Nickel-Copper Alloys» з пріоритетом від 1905р. був оформлений на імя Емброуза Монелля (Ambrose Monell), президента компанії INCO, і опублікований в 1906р. В результаті запатентований сплав отримав торговельну марку «**монель**», що є власністю INCO. Сплав характеризується високою міцністю та корозійною стійкістю, і застосовується в хімічній, газовій, нафтовій промисловостях.



Роберт Крукс Стенлі [89]

В 1925р. Robert C. Stanley запатентував покращений виробничий процес виробництва сплаву «монель». У 1920 р. він запатентував процес, що став основою для виробництва нікелю шляхом електролітичного рафінування. З 1922 по 1949р. Robert C. Stanley займав посади президента та голови правління INCO [88, 89].

1906р. - Перша **низькочастотна індукційна піч** для плавлення сталі встановлена компанією Henry Disston & Sons, штат Пенсильванія, США. Розробник конструкції печі інженер **Едвард Аллен Колбі** (Edward Allen Colby) отримав патент США в 1890р. [1, 2, 40].

1906р. – Американський вчений **Ерлі Блау** (Dr. Earl Blough, 1876-1971) розробив **алюмінієвий сплав системи Al-Mn-Cu**, що містив 1,25% Mn і 0,13% Cu. В компанії Alcoa він маркувався як 3S, а в подальшому як сплав 3003, що використовувався для виготовлення листового прокату, стійкого до корозії [49].

1906р. – В США перша дугова сталеплавильна піч (ДСП) системи **Пауля Еру** (Paul Heroult, 1863-1914) була встановлена на заводі компанії **Nalcomb Steel Company, Syracuse New York**. Конструктивно вона була виконана однофазною, мала два електроди, прямокутний корпус та місткість 3,6 т [185].



Плавильна піч конструкції П. Еру, 1905р. Експонат Німецького музею інструментів, м. Ремшайд [22]

1907р. – **Герман Дойлер** (Herman Hugo Doehler, 1872 -1964), американський винахідник та підприємець родом з Німеччини, отримує патент США US 856772 «Casting Apparatus» з пріоритетом від 18.10.1906р. на машину для лиття розплавленого металу (сплави цинку, свинцю і олова) в металеву прес-форму під тиском з пневматичним приводом. У 1951р. видав книгу «Die Casting», McGraw-Hill, 502 с. [1, 2, 39].

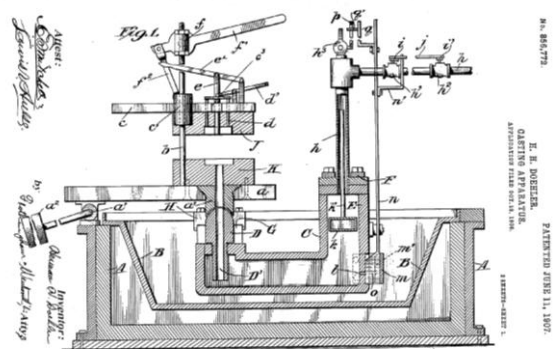


Схема машини Г. Дойлера, патент US 856772

1907р. – Німецький фізик **Марсело Стефано Пірані** (Marcello Stefano Pirani, 1880-1968), компанія Siemens & Halske A.- G., отримав патент US 848600 «Production of Homogeneous Bodies from Tantalum or other Metals» з пріорітетом від 1906р. Суть винаходу полягала у розробці метода електронно-променевої плавки для виготовлення гомогенних (однорідних) за структурою виробів з танталу та інших металів [138, 139].



Марсело Стефано Пірані [139]

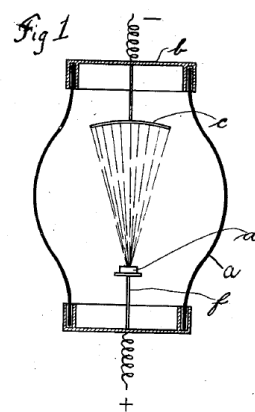


Схема до патенту US 848600 від 1907р.

1907р. - **Альфред Вільм** (Alfred Wilm, 1869 - 1937), німецький металург, виявляє, що механічні властивості алюмінієвого сплаву системи Al-Cu-Mg-Mn можливо підвищити при застосуванні послідовно загартування і штучного старіння. На алюмінієвий сплав, що містив 3,5...5,5% Cu, 0,5...1% Mn і 0,5% Mg, винахідник в 1906р. отримав патент Німеччини. В 1909р. компанія Durener Metalwerke почала комерційне виробництво сплава

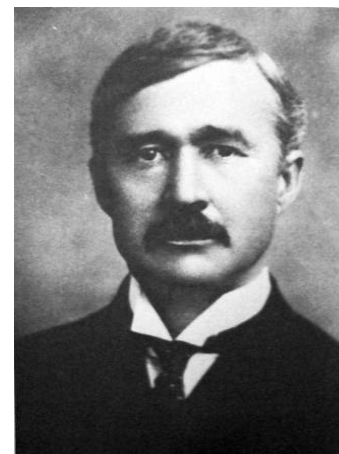
А. Вільма під **торгівельною маркою «Duralumin»**, яка є похідною від слів «Durener» і «Aluminium». В квітні 1911р. в німецькому виданні «Zeitschrift für de gesamte Hüttenkunde» була опублікована стаття А.Вільма «Physikalisch-metallurgische Untersuchungen über magnesiumhaltige Aluminiumlegierungen» [1, 2, 41].



Альфред Вільм [313]

1907р. – **Елвуд Хейнес** (Elwood Haynes, 1857 - 1925), американський винахідник, металург, автомобільний піонер і промисловець, винайшов металевий сплав, який назвали «стеліт» або «Stellite» (10-60% хром, кобальт решта). На вказаний сплав Е. Хейнес отримав патент US 873745 «Metal Alloy» з пріорітетом від 23.04.1907р. Сплав відзначається високою корозійною та зносостійкістю, і використовувався в моторо - та верстатобудуванні, стоматології тощо. У 1912р.

Е. Хейнес створив Haynes-Stellite Company, Індіана, для виробництва нових маловуглецевих високохромових сплавів і отримав вигідні контракти під час Першої світової війни [22, 86, 95].



Елвуд Хейнес [22]

1908р. – **Пауль Людвік** (Paul Ludwik, 1878-1934), австрійський професор, в книзі «Die Kegelprobe: Ein neues Verfahren zur Härtebestimmung von Materialien. 1908» запропонував вимірювати твердість матеріалів по відносній глибині проникнення вістря. Твердомір **Роквелла** або прилад для визначення відносної глибини проникнення алмазного конуса і сталевий кульки в матеріалі був винайдений уродженцями штату Коннектикут в США Х'ю М. Роквеллом (Hugh M. Rockwell, 1890–1957) і Стенлі П. Роквеллом (Stanley P. Rockwell, 1886–1940), які працювали в New Departure Manufacturing, що виробляла кулькопідшипники. В 1919р. вихідники отримали патент США на свій твердомір [18, 22, 37].

1908р. - В США організовано **American Iron and Steel Institute**, New York City. В 1917р. інститутом була запроваджена система кодифікації вуглецевих сталей [86].

1908р. – Компанія Sand Mixer Co., штат Огайо, США, почав випускати пересувний перемішувач піску для ливарних цехів, на конструкцію якого **Вілліам Стокхем** (William G. Stockham) отримав патент US 823710 «Sand Mixer» з пріоритетом від 10.11.1904р. [1, 2].

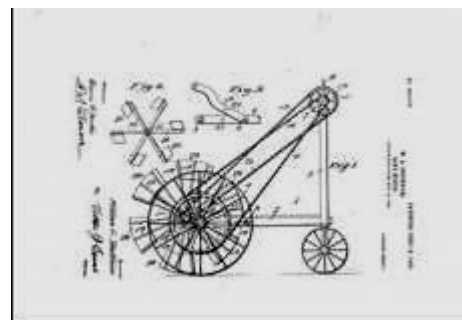
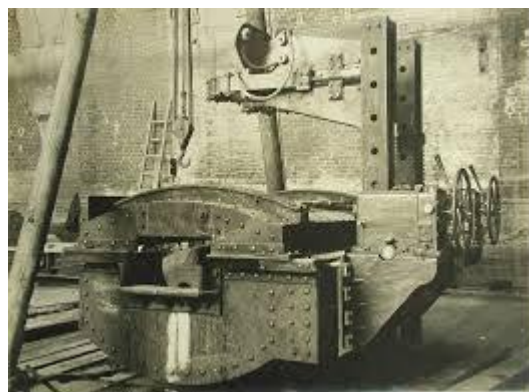


Схема змішувача В. Стокхема.
Малюнок з патенту US 823710

1909р. – Компанія Illinois Steel Company, США (в наш час входить до U. S. Steel Corporation) встановила **дугову сталеплавильну піч** (ДСП) системи Пауля Еру (Paul Heroult, 1863-1914). На ті часи це була найбільша в світі піч місткістю 15 т, що працювала на 3-х фазному змінному струмі напругою 2200 вольт, і мала три циліндричних електроди. Конструктивно піч була виконана циліндричною, а не чотирикутною [181, 182, 185].

1909р. - На Обухівському сталеливарному заводі (з 1922р. «Петроградский Государственный Орудийный Оптический и Сталелитейный завод «Большевик», з 2003р. ОАО «ФГУП Обуховский завод») м. Петербург, Російська імперія, при хімічній лабораторії було відкрито **пірометричне відділення для визначення критичних точок сталі**. Лабораторія була оснащена чутливими гальванометрами, самописними приладами системи Саладіна-Ле-Шательє-Пелліна (Saladin-Le Chatelier-Pellin) і проф. Миколи Семеновича Курнакова (1860-1941), а також електричними печами різноманітних систем. Крім того, пірометричне відділення виконувало градування, перевірку, монтаж і ремонт пірометричних жезлів (термопар). Для цього використовувалась криптолова піч та термоелементи з платини та сплаву платини з родієм [188].

1910р. – На Обухівському сталеливарному заводі (з 1922р. «Петроградский Государственный Орудийный Оптический и Сталелитейный завод «Большевик», з 2003р. ОАО «ФГУП Обуховский завод») м. Петербург, було введено в експлуатацію **першу в Росії дугову сталеплавильну піч** (ДСП) системи Пауля Еру (Paul Heroult, 1863-1914), що була імпортована з Західної Європи. Так було покладено початок виробництва електросталі в Росії. Ця піч мала ємність 3,5 т, живились однофазним струмом напругою 90-100 В і працювала дуплекс-процесом з мартенівською піччю.



Загальний вигляд дугової електропечі системи П. Еру на Обухівському сталеливарному заводі

Остання місткістю 5 т мала магнетитовий під і використовувалась для виплавки сталі що переливалась в ДСП для подальшого доведення металу. Потужність електроливарної майстерні заводу становила близько 200 тис. пудів сталевих зливок на рік (3,3 тис. т). Електропіч застосовувалась також для виплавки швидкокорізальної самогартувальної сталі, вартість якої була вдвічі меншою за покупну таку ж сталь. Крім того, вартість електросталі в зливках була в три рази дешевшою за тигельну сталь. Експлуатація ДСП продовжувалась до 1930р. Потрібно додати, що для вибору типу плавильної печі що забезпечує виплавки якісної сталі на Обухівському сталеливарному заводі, в Західну Європу було відправлено головного металурга М. С. Паутова (Паустова), головного хіміка Володимира Анатолійовича Яковлева (1865-1924) і консультанта заводу, професора Гірничого інституту В'ячеслава Миколайовича Ліпіну (1858-1930). Підвищені вимоги до сталі були обумовлені тим, що основним видом продукції Обухівського сталеливарного заводу було озброєння (гармати наземного і морського базування, броня для суден, снаряди, міни, рушничні стволи, оптичні прилади тощо). [23, 183, 188].

1910 р.– В США на струсо-пресових формувальних машинах почали застосовувати **двобічні модельні плити**, що дозволило збільшити продуктивність праці формувальників. Винахідник **Джон Алленсон** (John Allenson) Saint Paul Foundry Company, Minnesota, отримав патент США US 955838 «Molding-Machine» на формувальну машину з пріоритетом від 1909р. [1, 2].

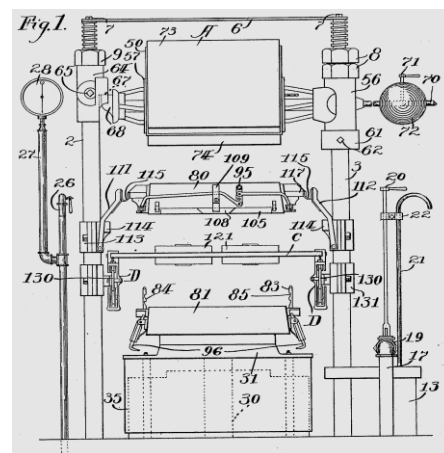


Схема формувальної машини
Джона Алленсона, патент US 955838

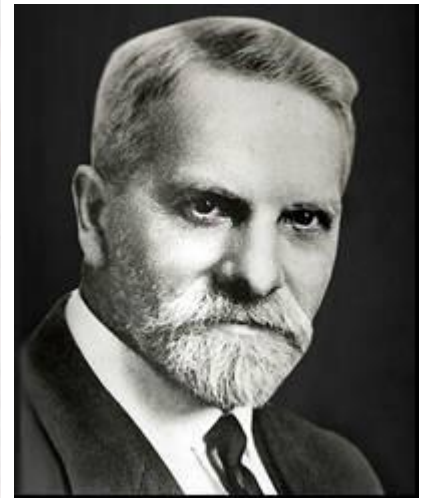
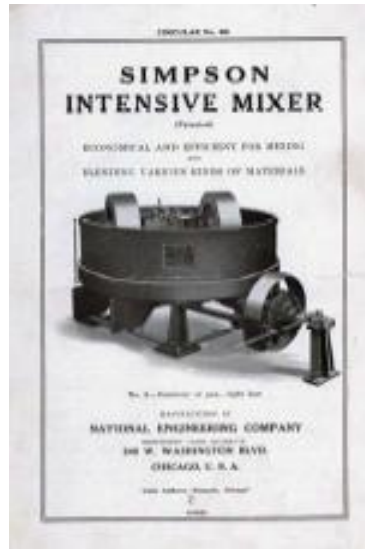
1911р. – Російський хімік Григорій Семенович Петров (1886-1957), Кусковський хімічний завод, Москва, Російська імперія, розробив та запатентував метод виробництва поверхнево-активних речовин (ПАР) алкиларилсульфонатного типу, відомих за назвами **«Контакт Петрова»** або **«Гасовий Контакт Петрова»**. Висока поверхнева активність та дешевизна нафтових сульфонатів обумовила їх масштабне застосування в якості миючих засобів і емульсійних розчинів при збагаченні руд тощо. На початку 1960-х років за пропозицією Центрального науково-дослідного інституту технології та машинобудування (ЦНИИТМАШ, м. Москва), контакт Петрова використовувався на початковому етапі розробки технології виробництва **рідких самотверднучих сумішей** (РСС), що застосовувались для виготовленні ливарних стрижнів [62, 189, 197].



Григорій Семенович Петров, 1919 [197]

1911р. - Перша електродугова сталеплавильна піч (ДСП) для **виробництва виливок** починає працювати на Treadwell Engineering Co., Істон, штат Пенсільванія, США [1, 2].

1912р. – **Пітер Лістон Сімпсон** (Peter Liston Simpson, 1848-1917), американський підприємець родом з Шотландії, заснував в США компанію National Engineering Company, розробив і почав виготовляти перший змішувач (бігуни) з індивідуальними вертикальними вальцями для використання в ливарному виробництві, керамічній і вогнетривкій промисловостях [1, 2, 42, 61].



Пітер Лістон Сімпсон [42]

1912р. – **Бенно Штраус** (Benno Strauss, 1873-1944) і **Едуард Маурер** (Eduard Maurer, 1886-1969), німецькі металурги, компанія Krupp Steel Works, Essen, розробили **першу комерційну нержавіючу аустенітну сталь системи Fe-Cr-Ni**, що містила 20% Cr та 7% Ni, і позначалась як V2A. Винахідники отримали німецькі патенти з пріоритетом від 1912р. на сплав 7,0-25% Cr, max 1,0% C, 0,5-20% Ni (патент 304126) та на сплав 15-40% Cr, max 1,0% C, 4-20% Ni (патент 304159).



Бенно Штраус

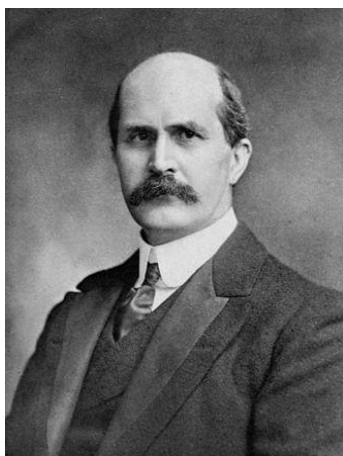


Едуард Маурер

В 1920-1930рр. було створено кілька варіантів таких сплавів, а саме Type 302 (18% Cr, 8% Ni), Type 302 (18% Cr, 8% Ni), Type 316 (18% Cr, 12% Ni, 2,5% Mo), Type 410 (12% Cr), Type 430 (17% Cr) [37, 86, 96, 97]. Фото від сайта - <http://www.best-krepeg.ru>

1913р. – Англійські вчені **Уільям Генрі Брегг** (Sir William Henry Bragg, 1862-1942) і **Уільям Лоренс Брегг** (Sir William Lawrence Bragg, 1890 - 1971) та російський вчений, походженням з України, **Георгій (Юрій) Вікторович Вульф** (1863-1925), незалежно один від одного, надали трактування інтерференційної картинки (рентгенограми) відбиття рентгенівських променів від кристалів. Це заклало основи рентгеноструктурного аналізу при дослідженнях будови металів. Математично ефект описується формулою Вульфа – Брегга (Бреггів) в Радянському Союзі та формулою Брегга в західних країнах. В 1915р.

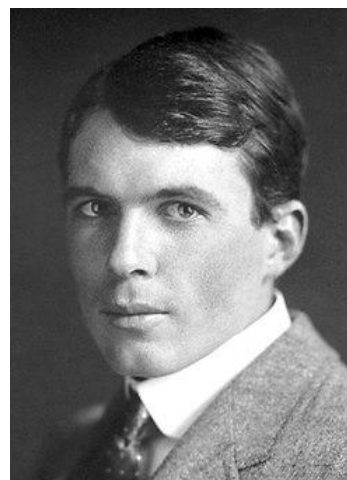
У. Л. Брегг та його батько, У. Г. Брегг, були відзначені Нобелівською премією по фізиці «за заслуги в дослідженні кристалів з використанням рентгенівських променів» [22, 23, 171].



Сер Уільям Генрі Брегг [22]



Георгій (Юрій) Вікторович Вульф [23]



Сер Уільям Лоренс Брегг [22]

1913р. - **Гаррі Брерлі** (Harry Brearly, 1871-1948), самоучка-металург, Brown Firth Laboratories, Sheffield, Англія, практичним шляхом розробив **корозійностійкий сплав заліза**, що містив приблизно 12% Cr і 0,35% C та загартовувався термічною обробкою. Так в Європі вперше з'явилась **нержавіюча сталь**. Це була сталь мартенситного класу, схожа на створену Елвудом Хейнсом (Elwood Haynes) в Америці. Сплав використовувався для виготовлення столового приладдя та деталей авіаційних двигунів. В 1916р. Брерлі Г. отримав патент США US1197256 «Cutlery» на сталь з 9...16% Cr та вмістом вуглецю менше 0,7% для виготовлення столового приладдя [86, 98]. Фото Г. Брерлі надано Bonnie Fortney-Wichita - www.findagrave.com.



Гаррі Брерлі

1914р. - **Х'ю М. Роквелл** (Hugh M. Rockwell, 1890-1957) і **Стенлі П. Роквелл** (Stanley Pickett Rockwell, 1886-1940), New Departure, Bristol, США, винайшли метод визначення твердості металів шляхом вимірювання осьового переміщення індентора. В якості останнього використовувався алмазний конус з кутом 120° або сталева кулька діаметром 1/16 дюйма. В 1919р. винахідники одержали патент США US1294171 «Hardness-tester». В 1924р. Стенлі П. Роквелл запатентував модернізовану версію твердоміра (патент US1516207 «Hardness testing Machine») та почав роботу по комерціалізації винаходу. Промислове виробництво стандартизованих Роквелл-твердомірів було налагоджено в Wilson Mechanical Instrument Company, США [23, 100, 102].



Х'ю М. Роквелл, з колекції Albert M. Rockwell, Jr., 1-12-05-
<http://www.earlyaviators.com>

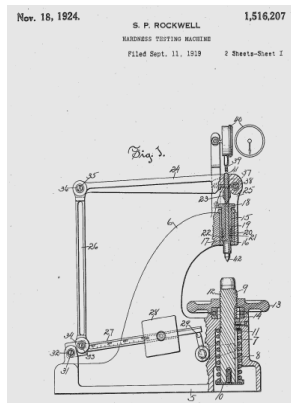


Схема до патенту Стенлі П. Роквелла

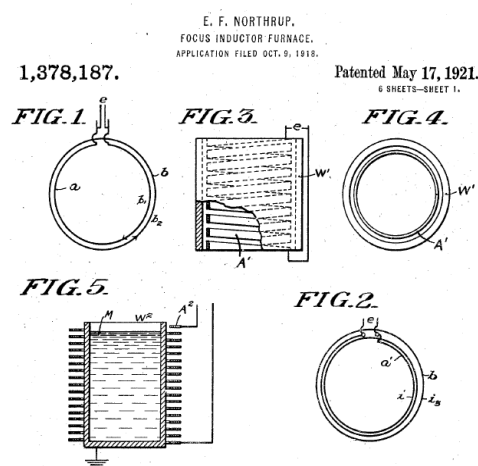


Стенлі П. Роквелл [102]

1915 р. – В США почалися перші експерименти з **бентонітовою глиною** замість простої вогнетривкої глини в якості сполучної добавки до формувальної суміші [1, 2, 22]. В огляді USGS відмічається /44/, що використання бентоніту як зв'язуючого формувальних ливарних сумішей було визнано в 1920-х роках і з тих пір в США сталеливарні заводи були основним споживачем бентоніту. Має сенс зазначити, що термін «бентоніт» вперше був запропонований в 1898р. професором геології університету Вайомінг (Wyoming) **Уїлбуром К. Найтом** (Wilbur Clinton Knight, 1858-1903) і має прямий зв'язок з геологічною формацією Бентон, на якій був розташований Форт Бентон, штат Вайомінг [44 – 46].

1915р. - Перша комерціалізація лиття під тиском в США від **Германа Дойлера** (Herman Hugo Doehler, 1872-1964) на основі патенту США від 1910р. В результаті була створена машина конструктивно наближена до сучасних моделей [1, 2].

1916р. - **Едвін Ф. Нортруп** (Edwin Fitch Northrup, 1866-1940), професор фізики Принстонського університету (Princeton University), США створює першу **високочастотну (індукційну) тигельна піч** для плавлення металів. На свій винахід вчений отримав патент у 1918р. Промисловий варіант цієї печі було встановлено в Ajax Metal Company з Філадельфії, штат Пенсільванія, для плавки мідних сплавів. В подальшому компанія виробляла ці печі на продаж [1, 2, 47].



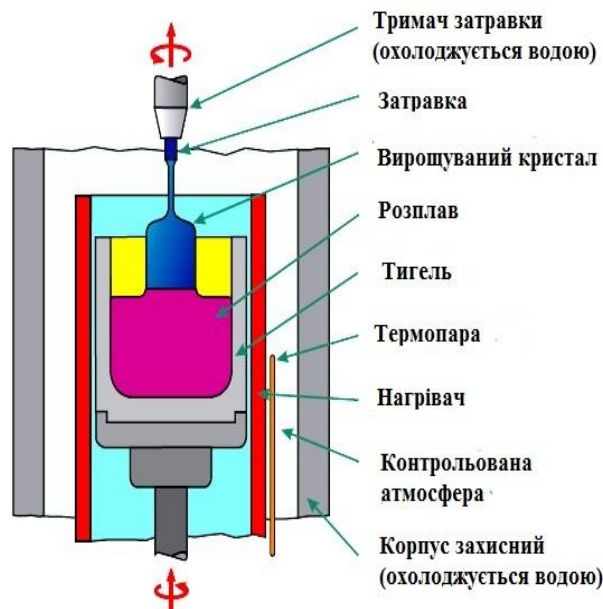
Схеми Едвіна Ф. Нортрупа до патенту США 1378187 від 1921р.

1916р. - Американська компанія **Alcoa** (Aluminum Company of America, 1886) розробляє **перший алюмінієвий деформований сплав** компанії Alcoa, 2017 T4 (система Al-Cu-Mg-Mn). Він є одним з найважливіших матеріалів для створення першого жорсткого дирижабля США USS Shenandoah, який зробив свій перший політ у 1923р. Століття по тому, сплав 2017 T4 використовується для виготовлення широкого асортименту прокату при виготовленні компонентів повітряних суден [22, 48].

1916р. – За свідченнями сучасників польський хімік **Ян Чохральський** (Jan Czochralski, 1885-1953), що працював в лабораторії матеріалознавства компанії Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (Берлін, Німеччина) випадково впустив в тигель з розплавленим оловом свою ручку. Витягуючи її він виявив, що за металевим пером тягнеться тонка смужка закристалізованого олова. В подальшому, використовуючи металеві шматочки як затравку, Ян Чохральський отримував на повітрі металеві дротики з олова, свинцю та цинку діаметром до 1 мм і довжиною понад 150 мм, що мали монокристалічну структуру. Результати досліджень швидкості кристалізації металів вчений опублікував в статті «Ein neues Verfahren zur Messung der Kristallisationsgeschwindigkeit der Metalle» [A new method for the measurement of the crystallization rate of metals], що вийшла в 1918р. в журналі Zeitschrift für Physikalische Chemie, 92 (1918). Таким чином було розроблено **метод Чохральського** (Czochralski method або CZ), що в подальшому використовувався для вертикального вирощування монокристалів напівпровідників і інтерметалідів [23, 299 - 301].



Ян Чохральський [301]

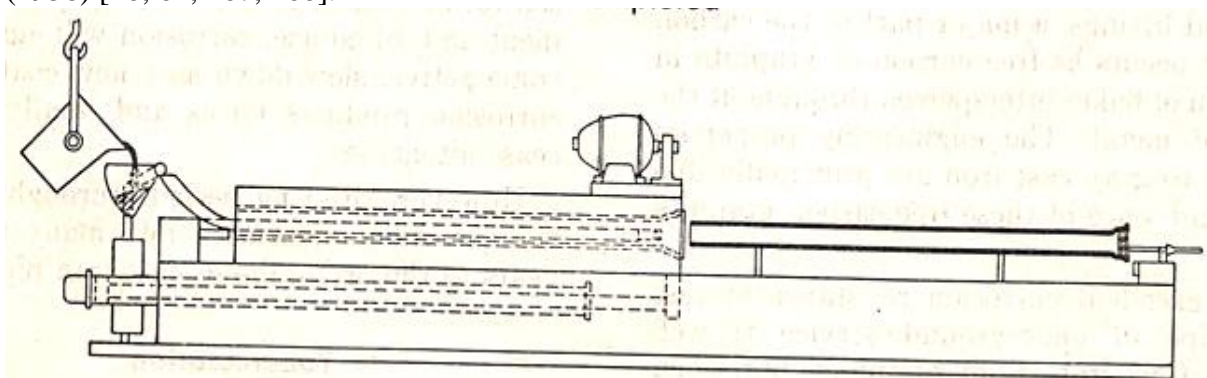


Сучасна схема CZ – методу [302]

1918р. – Бразильсько-французький інженер **Сенсо де Лаво** (M. Dimitry Sensoud de Lavaud, 1882-1947) продемонстрував **відцентровий метод виробництва чавунних довгомірних труб** для водопостачання. Конструктивно принципово нова відцентрова машина мала висувний жолоб для заливання чавуну в металеву виливницю. Ліцензії на технологію він продав у США і Канаду, де почалося великомасштабне виготовлення труб за його методом. Комерційне використання в США чавунних литих труб, виготовлених за методом де Лаво, почалось з 1922р. Потрібно відмітити, що Сенсо де Лаво був багатогранним інженером. Так, він винайшов безступінчатую автоматичну коробку передач, яка була продемонстрована на автомобілі Sensaud de Lavaud у 1927р. на автомобільній виставці в Парижі. Також інженер будує перший в світі турбореактивний двигун (1937) та проектує роторний двигун з гіпоциклоїдними шестернями (1938) [18, 62, 167, 168].



Сенсо де Лаво [169]



Принципова схема виробництва чавунних труб відцентровим методом за de Lavaud – process [168]

1918р. - Перше **повністю автоматизоване ливарне виробництво** (одне з перших в світі) було створене в Рокфорді (Rockford), штат Іллінойс, США, і виготовляло ручні гранати для американської армії [1, 2, 16].

1919-23 роки. - **Елмер Осар Бердслей** (Elmer Oscar Beardsley) та **Вальтер Френсіс Пайпер** (Walter Francis Piper), інженери Oregon Works, винайшли та побудували в Німеччині, Лейпціг, **перший піскомет** (Sandrammer) для набивання ливарних форм. Перші патенти Німеччина та США на піскомет винахідники отримали у 1919р. [1, 2, 43].

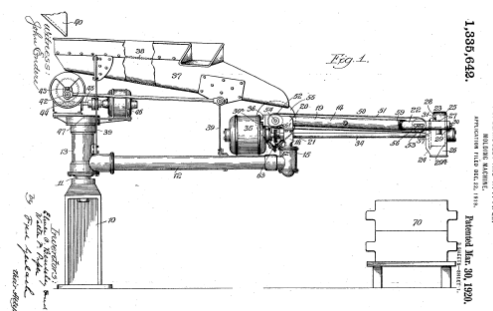


Схема піскомета від Елмера Бердслея та Вальтера Пайпера, патент США 1335642 від 1920р.

1920р. - Швейцарсько-французький фізик **Шарль Едуар Гійом** (фр. Charles Édouard Guillaume, 1861-1938) отримав Нобелівську премію 1920р. за відкриття залізо-нікелевих сплавів (сталей) з мінімально низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення в діапазоні 20 - 100 °С. Сплав **інвар** (торгівельна марка Invar) містить 36% нікелю, решта – залізо (FeNi36) був розроблений в 1896р. **Елінвар** (торгівельна марка Elinvar) містить 36% нікелю, 12% хрому, решта – залізо [18, 23, 27].



Шарль Едуар Гійом [18]

1921р. – **Аладар Пач** (Dr. Aladar Pacz, 1882-1938), американський науковець походженням з Угорщини, отримує патент США на спосіб модифікування Al-Si сплавів (5-15% Si) флюсом, одним з компонентів якого є фторид натрію. Наразі в Німеччині компанія Metallgesellschaft AG (Frankfurt am Main) викупляє у А. Пача патент на Al-Si сплави, модифіковані металевим нартієм, доповнює його та виходить на ринок з сплавом під назвою «Silumin», що використовується для виробництва двигунів тощо. Модифікування, тобто подрібнення структурних складових силуміну натрієм, призводить до поліпшення механічних характеристик сплаву і оброблюваності виливок. За розробки впродовж 1908-1933 років винахідник отримав 46 патентів США (з них 10 є власністю компанії Alcoa, а 14 – компанії General Electric), а також патенти Канади (25), Франції (11), Австрії (11), Швейцарії (7), Німеччини (6), Англії (4) і Данії (1) [1, 2, 37, 50 – 52].



Аладар Пач. Фото від <http://home.frognet.net/~ejcov/pacz.html>

1921р. – В Німеччині починають використовувати **кремнієві бронзи**, що переважають за механічними властивостями і корозійною стійкістю олов'яні бронзи [1, 2].

1921р. – В 11-му звіті **Британської Національної фізичної лабораторії** (British National Physical Laboratory, NPL), Teddington, London) вперше були оприлюднені інформація стосовно нових алюмінієвих сплавів для авіації, що були розроблені в переддень Першої світової війни та після неї. Дослідження були виконані під керівництвом головного керуючого відділу металургії та металургійної хімії NPL **Вальтера Розенгейна** (Walter Rosenhain, 1875 - 1934). Серед них і сплав «Y» («Y» alloy), що містив 4% Cu, 2% Ni, 1,5% Mg, решта – алюміній. Цей сплав виявився високі механічними властивостями після термічної обробки і широко використовувався для виготовлення кованих деталей, що експлуатуються при високих температурах. В колишньому Радянському Союзі аналогом вказаного сплаву був жароміцний алюмінієвий сплав АК4. Згідно стандартів JIS, DIN, BS, ASTM, SAE. аналог сплава «Y» кодується як 2218 і використовується для виготовлення поршнів і головок циліндрів авіаційних двигунів [22, 304 - 306].



Вальтер Розенгейн [305]

1921р. – **Роберт Лоу Сміт** (Robert Low Smith) та **Джордж Едвард Сандленд** (George Edward Sandland), Vickers Ltd., Англія, розробили **спосіб визначення твердості матеріалів** з використанням в якості індентора чотирихгранної алмазної пірамідки з кутом при вершині 136° . Винахідники отримали в 1923р. патент США 1478621 «Apparatus for testing the Hardness of Materials» з пріоритетом від 1923р. В США цей метод регулюється ASTM E384 «Test Method for Knoop and Vickers Hardness Testing» [86].

1922р. – На Першому державному заводі по обробці кольорових металів (сел. Кольчугіно, Володимирська обл., Радянський Союз) інженери-металурги **Володимир Олександрович Буталов** (1881-1968), начальник ливарного цеху і **Юрій Григорович Музалєвський** (1887-1953), начальник мідно-прокатного цеху розробили першу в Радянському Союзі промислову технологію виплавки зливків та виготовлення плоского та гофрованого прокату з деформованого алюмінієвого сплаву системи Al-Cu-Mg (дюралюмін), що в подальшому було названо «кульчугалюмінієм» або Д1. Потрібно відмітити, що технічну інформацію стосовно німецького дюралюміна була передана Ю. Г. Музалєвському головним інженером Управління по добуванню кольорових металів, м. Москва Євгеном Григоровичем Деречейєм (1888-1938), який в 1913-1918рр. працював на Кольчугінському заводі. Це дозволило в 1924р. побудувати під керівництвом авіаконструктора Андрія Миколайовича Туполева (1888-1972) перший в Радянському Союзі суцільнометалевий тримісний літак-моноплан АНТ-2 вагою 523 кг.



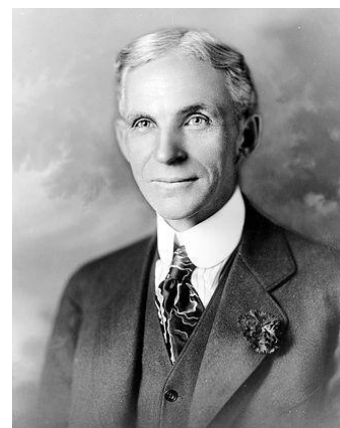
Іван Іванович Сидорін [23]

Ініціатором розробки алюмінієвих сплавів для літакобудування в Радянському Союзі був **Іван Іванович Сидорін** (1888-1982), металознавець, викладач Московського вищого технічного училища ім. М. Баумана, який 18 листопада 1921р. подав в Головне управління військової промисловості СРСР доповідну записку «К вопросу об организации русской алюминиевой промышленности». Тоді ж начальник Управління Військово-повітряних сил Червоної армії Аркадій Павлович Розенгольц (1889-1938) доручив І. І. Сидоріну створення виробництва радянського алюмінієвого сплаву для авіації. Для реалізації проекту І. І. Сидорін провів ґрунтовні порівняльні дослідження властивостей дюралюмінію та кольчугалюмінію, в результаті яких в 1925р. за його авторства було видано дві монографії «Исследование кольчугалюминия: хим. состав, механ. св-ва и терм. обработка кольчугалюминия» і «Исследование кольчугалюминиевых профилей». Крім того, І. І. Сидорін провів роботу по переобладнанню Кольчугінського заводу та організації на ньому військового приймання виробів з кольчугалюмінію [15, 23, 239-244].



Літак АНТ – 2. Зима 1924-1925рр. [244]

1924р. – Американська корпорація **Ford Motor Company** підприємця та автоконструктора **Генрі Форда** (Henry Ford, 1863-1947) встановлює "виробничий рекорд" випустивши 1 млн. автомобілів за 132 робочих дні. В подальшому автомобільне виробництво в США буде зростати, споживаючи одну третину попиту металевих виливок в країні [1, 2, 18, 22].



Генрі Форд, 1919 [18]

1924р. – На заводі «Електросила» (Харківський електромашинобудівний завод, «ХЕМЗ»), м. Харків, Українська РСР була створена група конструкторів, якою керували інженери Леонід Ілліч Аронов (1896-1966) і А. П. Іонов. В 1925р. співробітники групи сконструювали перші в Радянському Союзі **дугові сталеплавильні печі** (ДСП). Порівняно з зарубіжними конструкціями печей вони мали робочу напругу до 250 В і питому потужність 800 кВт/т. Вперше в Радянському Союзі були застосовані графітові електроди. Це стало можливим дякуючи застосуванню обертання електричної дуги магнітним полем, що було запропоновано Георгієм Євгенійовичем Євреїновим (1880-1937) і Степаном Івановичем Тельним (1890-1956), Катеринославський (Дніпропетровський) гірничий інститут. На цей винахід Г. Є Євреїнов і С. І. Тельний отримали патент Державного Електротехнічного Тресту СРСР № 2129 від 1927р. з пріоритетом від 1924р. В 1926р. дві з виготовлених печей – одно- і двоелектродна ємністю 0,25 т і електричною потужністю 200 кВ*А кожна були введені в експлуатацію і використовувались для виробництва сталевих фасонних литва [62, 180, 183, 186].



Перша в Радянському Союзі дугова сталеплавильна піч [180]



Степан Іванович Тельний [187]

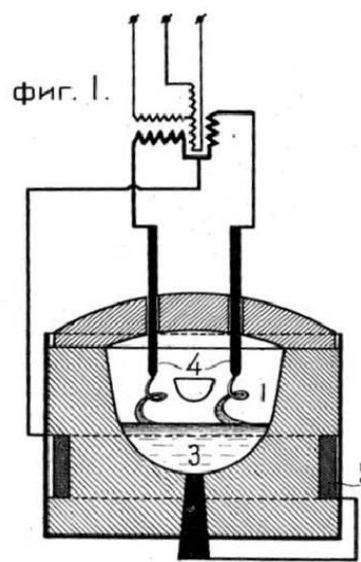


Схема до патенту № 2129 від 1927р. Г. Є. Євреїнова і С. І. Тельного



Георгій Євгенійович Євреїнов [187]

1924р. - **Вільям Гатфільд** (Dr. William Herbert Hatfield, 1882-1943), головний металург в Brown Firth Laboratories, Sheffield, Англія, винайшов аустенитний сплав, що містив 18% Cr і 8% Ni. Цей сплав був модифікацією оригінального сплаву компанії Круппа з 20% Cr і 7% Ni. Сплав В. Гатфільда, який називають сплав 18-8 або Staybrite (торгівельна марка), відповідає сучасному нержавіючому сплаву Туре 304 [22, 86, 99].



Вільям Гатфільд [99]

1925р. - **Рентгенографія** використовується як інструмент для перевірки якості виливок в США. До 1940 року всі **виливки** для військових літаків підлягали рентгеновському контролю для їх прийняття [1, 2].

1925р. - Компанія **American Brass Co.**, Уотербери, штат Коннектикут, встановлює першу середньо-частотну **індукційну піч** в США [1,2].

1927р. – **Микола Тимофійович Гудцов** (1885-1957), Путилівський завод, **Георгій Вячеславович Курдюмов** (1902-1996), Ленінградський фізико-технічний інститут і **Микола Якович Селяков** (1889-?), завідувач лабораторією рентгеновських променів, Ленінградський фізико-технічний інститут, Радянський Союз встановили будову мартенситу і довели, що він є сильно перенасиченим, напруженим твердим розчином вуглецю в α -Fe. В 1929р. Курдюмов Г. В. під час перебування в науковому відрядженні в Берліні, Німеччина (лабораторія професора **Георга Закса** (Georg Oskar Sachs, 1896-1960, Kaiser Wilhelm-Institute für Metallforschung, Berlin-Dahlem) встановив атомний бездифузійний механізм перебудови аустеніту в мартенсит. Результати наукової роботи Г. В. Курдюмов і Г. Закс опублікували в 1930р. в статті „Über den Mechanismus der Stahlhärtung“ в виданні “ Zeitschrift für Physik“. Наразі це є класичним орієнтаційним співвідношенням Курдюмова-Закса [18, 23, 37, 177, 179].



**Микола Тимофійович
Гудцов [23]**



Георг Закс [322]



**Георгій Вячеславович
Курдюмов [179]**

1928р. - Американська компанія **Alcoa** пропонує на будівельному ринку застосовувати в будинках **віконні рами**, що виготовлені з **алюмінієвих сплавів** [48].

1928р. – **Петро Петрович Берг** (1897-1974), докт. техн. наук (1949), організує першу в Радянському Союзі науково-дослідну лабораторію, що займалась проблемами ливарного виробництва. Лабораторія була створена на базі Ленінградського/Всесоюзного науково-дослідного інституту металів (1928), який в свою чергу був трансформований з Науково-технічної лабораторії Морського відомства Російської імперії (1891), що була створена за ініціативою відомого вченого Д. І. Менделєєва. В подальшому Московський філіал Всесоюзного НДІ металів був переіменований в НДІМАШ (1929), а потім – в ЦНДІТМАШ (1938). В Ленінградський період лабораторія під керівництвом П. П. Берга займалась проблемами формувальних матеріалів. Підсумком цих робіт стали книги П. П. Берга «Технические условия и испытание формовочных песков» (1932), підручник для внз «Курс формовочных материалов» (1933), «Временные нормативы на основные, вспомогательные формовочные материалы и формовочные смеси» (1939). В цих працях вперше були закладені теоретичні основи вчення про формувальні матеріали в ливарстві [23, 76, 77].



Петро Петрович Берг [23]

1929р. - В Радянському Союзі **алюміній металевий** з вітчизняної сировини вперше було одержано електролізним методом під керівництвом професора Технологічного інституту **Павла Павловича Федотьєва** (1864-1934) на заводі «Красный выборжец» (Санкт-Петербург). В 1912р. Федотьєв П. П. разом з своїм учнем, **Володимером Павловичем Ільїнським** (1885-?), результати своїх робіт виклали в книзі «Экспериментальное исследование по электрометаллургии алюминия» [19].



Павло Павлович Федотьєв [19]

1929р. – **Адольф Сівертс** (Adolf Ferdinand Sieverts, 1874 - 1947) німецький хімік, професор Єнського університету, в роботі «The Absorption of Gases by Metals», Zeitschrift für Metallkunde» обґрунтував правило для прогнозування розчинності газів в металах. Названий на його честь закон пустулює, що розчинність двоатомних газів (водень, кисень, азот) в металах пропорційна квадратному кореню парціального тиску газу середовища [22, 37].



Адольф Сівертс [303]

1929р. – **Вільгельм Кролл** (Wilhelm/Guillaume/William Justin Kroll, 1889-1973), металург, Люксембург, створює **новий клас нержавіючих сталей**, який назвали "precipitation-hardening stainless steels" (дисперсійно-твердіючі нержавіючі сталі). Така сталь вперше в 1945р. була виплавлена комерційно як Stailless W в Carnegie-Illinois Steel Company, Пенсільванія, США. В наш час базовою маркою цього класу нержавіючих сталей є AISI 630, що містить 15,0...17,5% Cr, 3,0...5,0 % Ni і 3,0...5,0% Cu. Вироби з сталей цього класу використовуються при високих та низьких температурах і в помірних агресивних середовищах [86, 103].



Вільгельм Кролл в своїй лабораторії [281]

1930р. – **Едгар Бейн** (Edgar Collins Bain, 1891-1971) і **Едмунд Девенпорт** (Edmund S. Davenport, ?-?), американські металурги, під час роботи в US Steel Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, досліджують процес **ізотермічних фазових перетворень в сталях**. В результаті була ідентифікована нова пластинчата мікроструктура в сталях після розпаду аустиніту. По прізвиську одного з її відкривачів нова мікроструктура була названа бейнітом (bainite, 1934). Проте у 1940р. була запропонована альтернативна назва «Структура аустемперінгу» «Austempering». Використовуючи ці результати були створені бейнітні сталі, які мають підвищені експлуатаційні характеристики [1, 2, 18, 22, 53].



Едгар Бейн [18]

1930р. – Московський завод «Красная Пресня», Радянський Союз вперше випускає малі **пневматичні формувальні машини**: струшувальну (розмір стола 500х600 мм) і пресову (розмір плити 400х300 мм). До 1932р. завод виробляв створені за імпортом зразкам стрижньові шнекові машини типу Perfect, струсові формувальні машини типу Osborne-42 (США), бігуни типу Simpson-2, аератори типу Carr і аератори типу Royer. В 1937р. на базі заводського конструкторського бюро було створено Центральне конструкторське бюро ливарного обладнання. В цьому ж році завод почав виробництво багатоплунжерної стрижневої машини-автомата за оригінальною конструкцією інженера Б. З. Черняка для масового виготовлення циліндричних або призматичних стрижнів. На той час близько 80% всього ливарного обладнання Радянського Союзу випускалось на заводі «Красная Пресня» [198, 199].

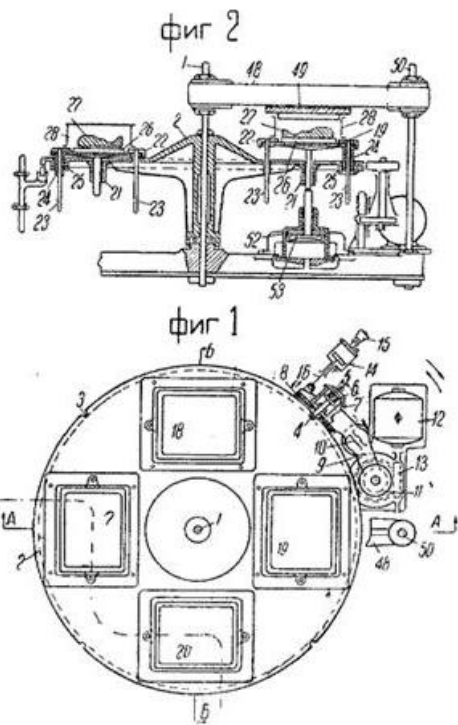


Схема до а. с. СРСР №51364
«Встряхивающий карусельного типа
формовочный станок» Б. З. Черняка.
Заявлено 23.07.1936, опубліковано
31.07.1937.

1931р. - **Август Ф. Мейхан** (Augustus Farnsworth Meehan, ? - 1933), Meehanite Metal Corporation, Tennessee, США отримав патент US 1790552 «Alloy for Manufacture of cast iron» з пріорітетом від 29 серпня 1928р. Тим самим винахідник завершив створення комплексу, що включав лігатуру та технологію виготовлення **випусок з модифікованого чавуну**. Augustus F. Meehan запропонував кілька варіантів лігатур на базі систем Si-Ca-Mg, Si-Ni-Mg-Ca і Si-Ca-Ni-Fe. Вперше силіциди кальцію і магнію були запропоновані винахідником для модифікування сірого чавуну в патенті US 1499068 «Making Gray Iron» з пріорітетом від 8 лютого 1922р. Винайдений Августом Мейханом "**Meehanite Metal**" з 1924р. застосовується багатьма ливарними цехами як в США, так і в інших країнах світу, які працюють за ліцензіями корпорації Meehanite Metal. В результаті верстатобудування отримало **спеціальний модифікований чавун «механіт»** (Meehanite cast iron), що використовується і в XXI столітті [256, 257].



Август Ф. Мейхан [257]

1933р. – Інженер **Микола Іларіонович Мозговой** (1901-1959) вперше в світовій практиці в цеху Київського машинобудівного заводу «Більшовик», УРСР реалізував технологію виробництва сталі в 1,5 т мартенівські печі з застосуванням **продувки розплаву газоподібним киснем**. Цього ж року він отримав авторське свідоцтво СРСР № 92012 на винахід «Способ производства стали в мартеновской печи». В 1946р. технологія застосування кисню при виробництві вуглецевої сталі в конвертерах за методом М. І. Мозгового була випробувана на Московському заводі «Динамо», Косогорському металургійному заводі (м. Тула) і Експериментальному науково-дослідному інституті металорізальних верстатів (м. Москва). Таким чином було покладено початок застосування киснево-конвертерного процесу виробництва сталі на теренах Радянського Союзу. В 1949р. члени групи впровадження технології, а саме **Бардін** Іван Павлович (1883-1960), академік, керівник роботи; **Бардзайн** Павло Янович, **Лебедьков** Олександр Олексійович, **Маментьєв** Олександр Григорович, **Тунков** Володимир Павлович, інженери; **Ільїн** Григорій Маркелович, директор; **Мармонштейн** Лев Веніамінович, головний інженер заводу «Серп і молот»; **Мозговой** Микола Іларіонович, нач. лабораторії ЦНДІЧМ; **Турбін** Костянтин Георгієвич, професор Московського інституту сталі – за розробку технології і впровадження в металургійну промисловість застосування кисню для інтенсифікації мартенівського процесу, були відзначені Державною (Сталінською) премією [23, 192].



Микола Іларіонович Мозговой [23]

1933р. – В США вперше використано **алюмінієвий сплав в мостобудування**. На мосту Smithfield Street Bridge, Пітсбург, Пенсільванія була проведена заміна сталевого та дерев'яного настилу мосту на алюмінієве. Для цього було застосовано товстий лист з сплаву 2014 –Т6 (система Al – Cu - Mn). Цей настил експлуатувався до 1967р., коли була проведена його заміна на плити з більш корозійностійкого алюмінієвого сплаву 5456-Н321 (система Al – Mg – Mn - Cr) [287].



Загальний вигляд Smithfield Street Bridge [22]

1936р. – **Андрій Анатолієвич Бочвар** (1902-1984), вчений-металознавець, і **Анатолій Григорович Спаський** (1895-1970), вчений-металург, Радянський Союз, розробили метод виробництва алюмінієвих виливок в автоклавах під підвищеним повітряним тиском для виробів авіаційної техніки.



Андрій Анатолієвич Бочвар [314]



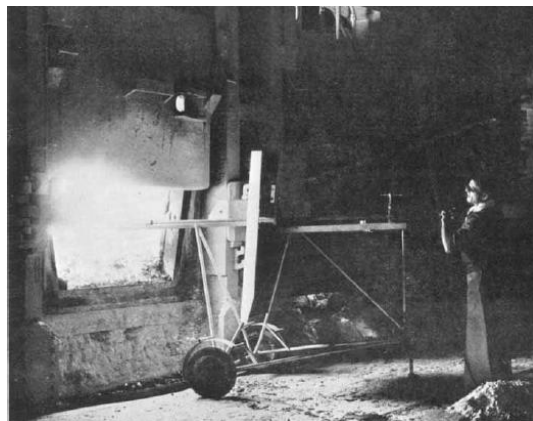
Анатолій Григорович Спаський [23]

В 1941р. винахідникам була присуджена Державна (Сталінська) премія третьої ступені за винахід метода кристалізації сплавів під тиском [23,59].

1937р. - Виявлена бейнітна мікроструктура чавуну при ізотермічному гартування [1, 2].

1937р. – Перший промисловий спектрограф з дифракційною решіткою для Геологічної служби Каліфорнії, США, виробляє Моріс Хеслер (Maurice Hasler) засновник Applied Research Laboratories (ARL). Спектрметри починають застосовувати у ливарному виробництві і до кінця 1940-х років замінюють спектроскопи при визначенні хімічного складу металевих сплавів [1, 2].

1937р. – **Dr. Ф. Х. Скофільд** (Dr. F. H. Schofield) і **А. Грейс** (A. Grace), National Physical Laboratory, Велика Британія, розробили експресний метод вимірювання температури занурювальною термопарою (quick-immersion method) системи платина-платинородій в діапазоні до 1600⁰ С. При цьому використовувався термопарний дріт платини та платини з 13% родію діаметром 0,5 мм. Метод застосовується для вимірювання температури рідкої сталі в мартенах, електричних печах і в конвертерах [140, 141].



Вимірювання температури сталі занурювальною термопарою в мартенівській печі на заводі Lackenby Works компанії Dorman Long & Co. Limited, Велика Британія [141]



Типова термопара для вимірювання температури в електроплавильних печах [141]

1938р. - **Вільгельм Кролл** (Wilhelm/Guillaume/William Justin Kroll, 1889-1973), металург, Люксембург, розробив **спосіб промислового виробництва титану** шляхом металотермічного відновлення кальцієм (магнієм) тетрахлориду титану (патент Німеччини від 10 липня 1937р.). Перший титан за способом

В. Кролля був виготовлений на заводі Cerametal в Bereldange, Люксембург. 25 червня 1940 року вчений-винахідник отримав патент США 2205854 «Method for Manufacturing Titanium and Alloys thereof», тобто на спосіб виробництва титану і його сплавів, поданий 6 липня 1938р. Після того, як Уряд США усвідомив важливість титану для економіки країни, в 1944р. був створений науково-дослідний центр в м. Боулдер (Boulder), штат Колорадо. Наприкінці 1948р. компанія E.I. Du Pont de Nemours (DuPont) почала комерційне виробництво титанової губки з використанням процесу Кролла [22, 104, 105].

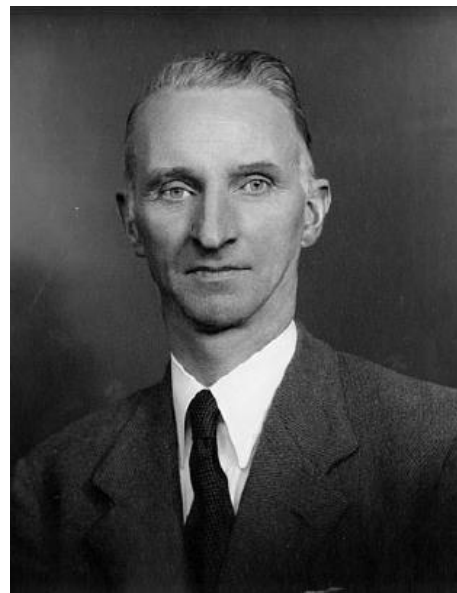


Вільгельм Кролл [315]

1938р. – Одночасно і незалежно один від одного **Андре Гіньє** (Andre Guinier, 1911-2000) в Франції та **Георг Престон** (George Dawson Preston, 1886-1972) в Шотландії, використовуючи складний аналіз дифракції рентгенівських променів, визначили зв'язок між дисперсійним твердінням в сплаві Al-Cu та збагаченими міддю «зонами». В 1939р. на Міжнародній конференції з питань зміцнення при старінні в Чикаго ці «зони», завдяки американським металургам Robert F. Mehl та Lawrence K. Jetter, були названі **зонами Гіньє-Престона** або зонами Г-П. Так було розшифровано механізм зміцнення дюралюміна, що виявив Альфред Вільм у 1907р. [279, 280].



Андре Гіньє [316]



Георг Престон, Carnegie Laboratory of Physics, University of Dundee [280]

Початок 1940-х - Модифікування сірого чавуну стає загальноновизнаним засобом, що дозволяє використовувати високоякісні чавуни замість сталі [1, 2].

1940р. – **Хворінов Микола Іліодорович** (Nikolai Chvorinov, 1903-1987), чеський інженер з російським корінням, опублікував теоретичну працю [N. Chvorinov, Theorie der Erstarrung von Gussstücken. Giesserei, 27, 1940, Heft 10, pp. 177 – 188, Heft 11, pp. 201 – 208, Heft 12, pp. 222 – 225]. В матеріалі викладено бачення автором процесів кристалізації металів та запропоновано алгоритм для визначення залежності між часом твердіння та геометрією металевих виливок: $\tau = (R/m)^2$ [80, 81].



**Микола Іліодорович
Хворінов [317]**

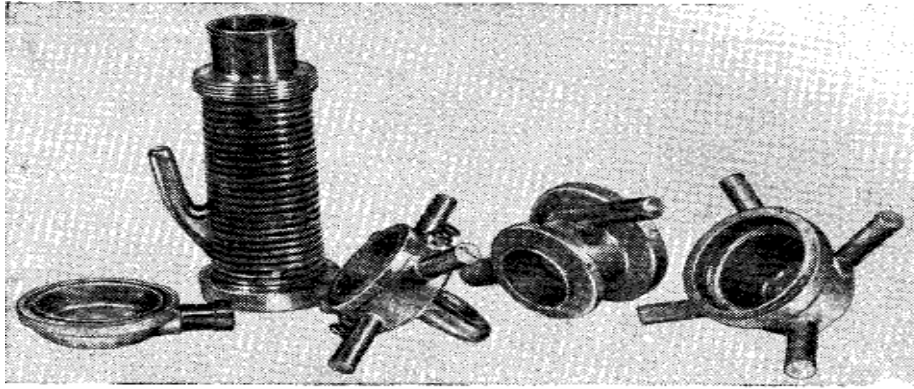
1940р. – **Alloy Casting Institute**, США, розробив **систему класифікації нержавіючих та високонікелевих ливарних сплавів**. Так, до групи «С» відносяться корозійностійкі сплави, що використовуються при температурах нижче 650 °С. До групи «Н» включені жаростійкі сплави, що використовуються при температурах вище 650 °С. Літерами від А до Z, позначають кількість хрому і нікелю. Число після першої літери, для групи «С», вказує на межу вуглецю в сотих частках відсотка. Для групи «Н» число вказує на середину діапазону вуглецю в сотих частках відсотка [86].

1941р. – **Костянтин Ілліч Ващенко** (1900-1992), Київський політехнічний інститут, канд. техн. наук на Всесоюзній конференції по виробництву литих боєприпасів (м. Ленінград, Радянський Союз) зробив доповідь стосовно технології виробництва **модифікованого чавуну**. Матеріали доповіді були розповсюджені відділом інформації Міністерства загального машинобудування СРСР серед учасників конференції. За проханням керівництва Коломенського тепловозобудівного заводу (м. Коломна) К. І. Ващенко надав практичну допомогу ливарному цеху заводу стосовно виробництва литих чавунних шестидюймових снарядів. В 1943р. К. І. Ващенко захистив докторську дисертаційну роботу на тему «Высококачественный модифицированный чугун» [282].



Костянтин Ілліч Ващенко [18]

1942р. – **Володимир Михайлович Пляцкий** (1888-1970), інженер, Радянський Союз, розробляє технологію виробництва виливок з мідних та алюмінієвих сплавів з застосуванням **кристалізації під поршнеvim тиском** (Squeeze Casting). В 1944р. він захищає в Ленінградському політехнічному інституті (тепер СПб ГПУ) кандидатську дисертаційну роботу «Литье под давлением с кристаллизацией под давлением (штамповка жидкого металла)». В 1949р. була видана книга В. М. Пляцкого «Технология литья под давлением. М. -Л. , Машгиз.». В 1951р. наукові та виробничі здобутки В. М. Пляцкого та його співробітників були відзначені Державною (Сталінською) премією третьої ступені за корінне удосконалення процесу лиття сплавів кольорових металів. Узагальнив свої напрацювання В. М. Пляцкий в докторській дисертаційній роботі «Основы литья с применением давления» (1958). Комерційне використання цієї технології під назвою Squeeze casting розпочалось в Європі, Північній Америці та Японії після 1960р. [1, 2, 56, 57].

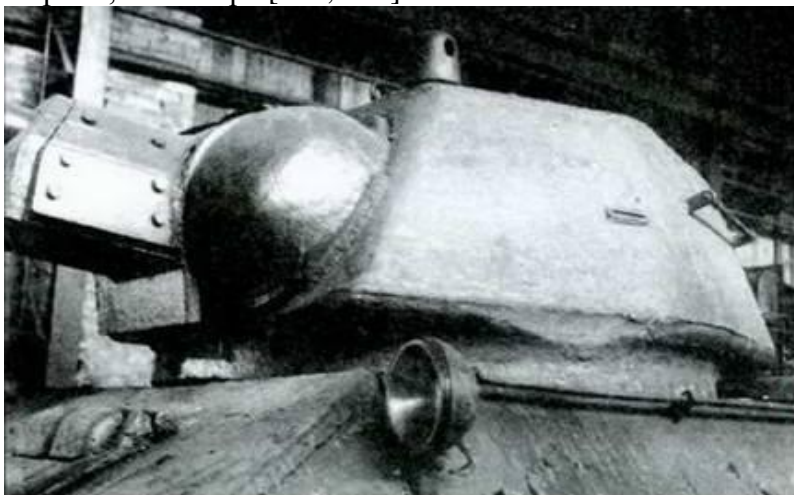


Фиг. 206. Алюминиевые детали, изготовленные штамповкой жидкого металла с боковыми подвижными стержнями.

Малюнок з книги
В. М. Пляцко «Литье под давлением». 3-е изд., перераб. - Москва: Оборонгиз, 1957. - 463 с.

1942р. – Андрій Анатолійович Бочвар (1902-1984), Кім Ісайович Портной (1910 - 1989) та Зоя Андріївна Свідерська, вчені-металознавці, Радянський Союз, розробили алюмінієвий ливарний сплав, який містив 12...25% цинку, 7...10% кремнію, до 1% міді та до 0,5% марганцю (хрому), магнію. Особливістю даного сплаву є схильність до природнього старіння, що забезпечує високі механічні властивості вилівок без термічної обробки. В 1947р. автори винаходу видали книгу: Новые литейные сплавы : Цинковистые силумины / Ин-т машиноведения АН СССР, Ин-т металлургии АН СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т авиац. материалов "ВИАМ". - Москва : Изд-во и тип. Оборонгиза, 1947. - 96 с. [23, 60].

1942р. – На Уралмашзаводі (м. Свердловськ, тепер м. Єкатеринбург) вперше в Радянському Союзі почали відпрацьовувати технологію лиття в кокіль броньової башти до танку Т-34 замість машинного формування в піщані форми. Такий варіант виробництва башти запропонували технологи заводу Р. П. Кузін і В. О. Балалін. В результаті крім прискорення виробництва було досягнуто підвищення протиснарядної стійкості броні танка. В 1946р. було опубліковано список лауреатів Державної (Сталінської) премії за 1943-1944рр. Серед нагороджених були Нехендзі Юліан Аркадійович (1901-1968), професор, Балалін Веніамін Олексійович, Хмелевський Роман Григорович, інженери ЦНДІ №48; Шкабатура Юрій Павлович, Кузін Роман Петрович, інженери Уралмашзаводу; Судакін Яков Абрамович, заст. нач. металургійного відділу Народного комісаріату важкої промисловості СРСР – за розробку і впровадження в виробництво нової технології виливки башт важких танків, що забезпечила суттєве збільшення випуску танків. Варто відзначити, що відомий ливарник, професор Ю. А. Нехендзі народився в Україні, м. Сквиря [112, 113].



Лита стальева башта танка виробництва Уралмашзаводу (УЗВМ). Осінь 1942р. [114]



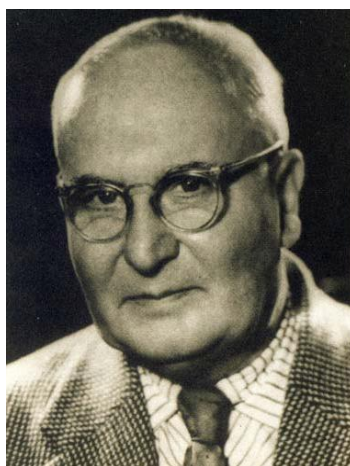
Юліан Аркадійович Нехендзі [23]

1943р. - **Кіт Мілліс** (Keith D. Millis), 28-річний американський металург, який працював в International Nickel Company (INCO), займався пошуками заміни хрому через його перерване постачання. В ході експериментів він виявляє, що при введенні сплаву мідь-магній в розплавлений чавун, формується **структура з графітом кулястої форми**. У 1949 році Кіт Мілліс (Keith Dwight Millis, 1915-1992), Альберт Гегнебін (Albert Paul Gagnebin, 1909-1999) і Норман Пиллінг (Norman Boden Pilling) отримують патенти США 2485760 і 2485761 на спосіб виробництва високоміцного чавуну за допомогою обробки його магнієм [1, 2, 22].

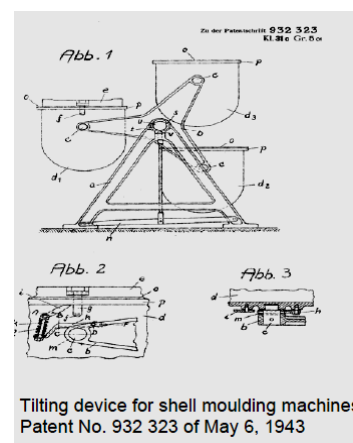


Альберт Гегнебін (зліва) і Кіт Мілліс вітають один одного з отриманням золотих медалей AFS за їх винахід, 1952р. [283]

1943р. – **Йоханнес Кронінг** (Johannes Croning, 1886-1957), німецький винахідник та підприємець, розробив ливарну форму, виготовлену з керамічного матеріалу, та отримав патент Німеччина на процес виготовлення **оболонкової форми**. В наш час ця технологія відома як лиття в оболонкову форму або Shell Moulding або кронінг-процес.



Йоханнес Кронінг [54]



Потрібно відмітити, що в 1950р. винахідником було створено відповідне обладнання, а в 1952р. на ливарній виставці в Атланти-Сіті, США, технологія стала найяскравішою подією. Широке розповсюдження технології в США призвело до того, що в 1957р. в країні вироблялось 225 тис. т виливок за цією технологією [1, 2, 54].

1943р. - **Бенджамін Соснік** (Benjamin Sosnick, 1903-?), Сан-Франциско, Каліфорнія, походженням з Польщі, вперше в США розробив спосіб виготовлення **металевої піни** шляхом плавлення в камері високого тиску суміші гранул алюмінію та ртуті, як піноутворювача. В 1948р. винахідник отримав патент США 2434775 «Process for making foamlike mass of Metal» з пріоритетом від 8 травня 1943р.

1946р. - **Вільгельм Кролл** (Wilhelm/Guillaume/William Justin Kroll, 1889-1973), металург, науково-дослідний центр в Олбані, штат Орегон, США, розробив **спосіб промислового виробництва цирконію**. Цього ж року було отримано перший штрибс цирконію [22].

1947-1949рр. – **Олексій Васильович Улітовський** (1893-1957), професор, начальник лабораторії ВНДІ метрології , та **Євген Григорович Ніколаєнко** (1913-1977?), інженер, начальник лабораторії прокатки розплавленого чавуну Одеського заводу сільськогосподарського машинобудування (в подальшому Конструкторсько-технологічне бюро, Центральне конструкторсько-технологічне бюро Міністерства сільськогосподарського машинобудування (1952), НДІ спеціальних способів лиття (1969), Радянський Союз, Україна, розробили технологію процесу і конструкцію ливарної машин для **виробництва тонкого листа безпосередньо з розплавленого чавуну**. В 1949р. на лабораторній машині було отримано чавунний лист довжиною до 20 м і шириною до 500 мм. Дільниця чавунного листа випускала 100-1200 т продукції на рік. В 1964р. виробництво чавунного листа було призупинено.



**Олексій Васильович
Улітовський [23]**

Авторський колектив, а саме, **Ніколаєнко** Євген Григорович, керівник роботи, начальник КТБ, **Гетман** Костянтин Тихонович, вагранник Одеського заводу імені Жовтневої революції, **Улітовський** Олексій Васильович, професор, начальник лабораторії отримали Державну (Сталінську) премію другого ступеня за 1951р. за розробку та освоєння процесу отримання тонкого листу безпосередньо з розплавленого чавуну. Наразі є сенс відмітити, що основою цієї розробки послужив винахід «Спосіб прокатки металла непосредственно из жидкого состояния», на яку авторський колектив і в тому числі О. В. Улітовський, отримали авторське свідоцтво СРСР №57902 в 1940р. В результаті інноваційна розробка Одеського КТБ стала поштовхом для промислового використання безпереривного лиття штаб в Радянському Союзі [23, 62].

1948р. - Перше промислове виробництво виливок з **чавуну з кулястим графітом** організовано в Jamestown Malleable Iron Co., Джеймстаун, штат Нью-Йорк. Перші **труби** з чавуну з кулястим графітом відлито в Lynchburg Foundry, Лінчберг, штат Вірджинія [1, 2].

Кінець 1940-х - Термічна регенерація піску застосовується для відпрацьованих стрижневих сумішей і, в обмежених обсягах, для глинистих і металізованих пісків [1, 2].

1949р. - Компанія Cooper-Bessemer, Гроув Сіті, штат Пенсільванія, виробляє перші комерційні виливки з **чавуну з кулястим графітом**, а саме, блоки, деталі для дизельних двигунів, циліндри тощо [1, 2].

1949р. - Застосування феросиліцію з вмістом магнію набагато спрощує виробництво **чавуну з кулястим графітом** [1, 2].

1949р. – Компанія Buffalo Pipe & Foundry Co., Tonawanda, Нью-Йорк, створює перше в США виробництво виливок з використанням **Croning-процесу** [1, 2].

1949р. – Створена і видана перша ASTM A339-51T **специфікація для чавуна з кулястим графітом**, яка згодом була замінен на ASTM A 536 [55].

1949-1950рр. – **Йосип/Ісідор Степанович Григорьев** (?-?), канд. техн.наук, і **Андрій Овер'янович Василенко** (1891-1963), доктор техн. наук, член-кор. АН УРСР, Інститут машинознавства та сільськогосподарської механіки АН УРСР (з 1958р. Інститут ливарного виробництва АН УРСР, з 1963р. Інститут проблем литва АН УРСР, з 1996р. ФТІМС НАНУ) розробили технологію виробництва виливок з **високоміцного чавуну** (чавун з кулястим графітом) і запровадили її в ливарному цеху Київського заводу верстатів-автоматів замість аналогічних виливок з сталі. Підсумовуючи роботу вчені-винахідники видали книги «Модифицированный чугун в машиностроении». - Киев : Гос. изд-во техн. лит. Украины, 1950. 168 с. та «Инструктивные и методические указания по технологии получения чугуна с глобулярным графитом (сверхпрочный чугун)». К.: Изд-во АН УССР, 1950. 40 с. Українські вчені разом з російськими були відзначені Державною (Сталінською) премією за 1949р., а саме: **Мільман** Борис Самійлович, керівник роботи, **Ципін** Ізраїль Йосипович, ст. наук. співробітник, **Унксов** Євген Павлович, директор ЦНДІТМаш, Москва; **Василенко** Андрій Овер'янович, дійсний член АН, **Григорьев** Ісідор Степанович, зав. відділенням лабораторії машинобудування і проблем с/г техніки АН УРСР; **Меєрович** Ілля Борисович, **Березін** Петро Васильович, інженери заводу «Русский Дизель», м. Ленінград - за розробку та освоєння нової технології отримування надміцного чавуну. У 1956р. І. С. Григорьев захистив докторську дисертаційну роботу на тему «Чугун с глобулярным графитом (Теория, свойства и практика внедрения)». Б. С. Мільман захистив докторську дисертаційну роботу «Вопросы теории и практики получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в литом состоянии» у 1961р. [18, 23, 62].



Андрій Овер'янович Василенко [18]



Йосип/Ісідор Степанович Григорьев
[<https://nubip.edu.ua/node/1152/11/>]

1950р. – Побудовано перший в Північній Америці автомобільний арокний міст з **алюмінієвих сплавів** над річкою Сагеной (Saguenay) в м. Арвіда (Arvida), провінція Квебек, Канада. Довжина мосту становила 290 футів (88 м). Він був зведений Алюмінієвою компанією Канади (Alcan) і використовується для вантажних перевезень алюмінієвих руд та виробів [287].



Перший автомобільний алюмінієвий міст у Канаді [287]

1950р. – Український фізик **Данилов Віталій Іванович** (1902 - 1954), доктор фізико-матиматичних наук (1940), завідувач відділу кристалізації Лабораторії металофізики АН УРСР (нині – Інститут металофізики НАН України) був відзначений Державною (Сталінською) премією СРСР за роботи в області кристалізації рідин, що узагальнені в статтях: «Некоторые вопросы кристаллизации жидкостей» і «О зарождении центров кристаллизации в переохлажденной жидкости», надрукованих в 1949р. Ці роботи стали основою для створення **фізичної теорії формування структури металевого злитку**. Науковець також досліджував кристалізацію переохолоджених органічних рідин, легкоплавких і тугоплавких металів, в тому числі і сталі. Наукові здобутки член-кор. В. І. Данилова були узагальнені в його посмертній книзі «Строение и кристаллизация жидкости» Киев, АНУССР, 1956 [297, 298].



Віталій Іванович Данилов [297]

1951р. – Компанія **Ford Motor Co.**, Дірборн, штат Мічиган, США переводить 100% її виробництва колінчастих валів на **чавун з кулястим графітом** [1, 2].

1953р. – Американський винахідник і підприємець **Гаррі Дієрт** (Harry Walter Dietert, 1896-1978), Детройт, розробив спосіб та обладнання для виготовлення **оболонкових форм** з використанням дрібного піску і масляного зв'язуючого, яке швидко сохне (**D-process**). При цьому, згідно патента США 2789331 «Method and Apparatus for making Molds useful in Casting» (1957), формувальна суміш вдувається в проміжок між моделлю та пластиною для сушіння [1, 2, 56].

April 23, 1957

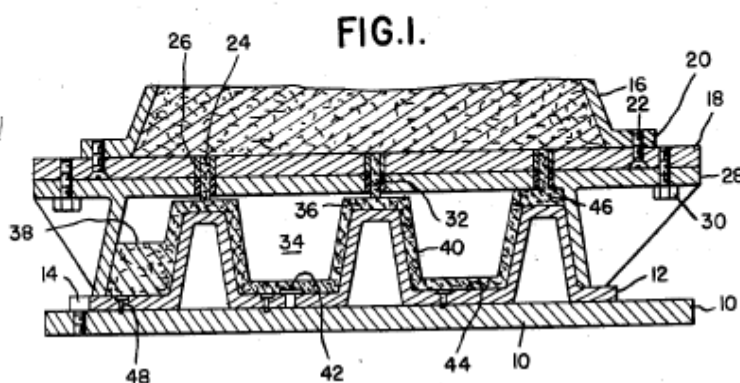
H. W. DIETERT

2,789,331

METHOD AND APPARATUS FOR MAKING MOLDS USEFUL IN CASTING

Filed March 30, 1953

2 Sheets-Sheet 1



Малюнок до патенту США 2789331



Гаррі Дієрт [318]

1953р. – У Всесоюзному науково-дослідному інституті ливарного машинобудування, ливарної технології і автоматизації ливарного виробництва (ВНИИлитмаш), Радянський Союз, Москва (з 2002р. ПАО «НИИЛИТМАШ») було створено лабораторію **гідромодельювання ливникових систем** для чорних та кольорових металів під керівництвом канд. техн. наук **Володимира Ісааковича Фундатора** (1903-1986). Вченим було розроблено метод фізичного моделювання процесу заповнення ливарних форм металевими розплавами. Для підвищення якості виливок науковцями лабораторії була створена технологія заливання ливарних форм з використанням **тканих фільтрів**, виготовлених з кремнеземного скловолокна (**Фірам-процес**). На вказану технологію свого часу продані ліцензії компаніям Болгарії, Бразилії, Іспанії, Німеччини, Норвегії, Фінляндії, Швеції та Японії.



**Володимир Ісаакович
Фундатор [164]**

У 1984р. велика група науковців (серед яких В. І. Фундатор) і працівників ливарних підприємств «За разработку и освоение малоотходной технологии заливки литейных форм с тонкой фильтрацией металла через стеклофильтры в литниковой системе» були відзначені Премією Ради Міністрів СРСР. Фундатор В. І. активно займався фільтрувальними системами для рідких металів та отримав авторські свідоцтва СРСР № 61576 «Литниковая фильтровальная сетка» опубл. 1942р. (фільтрувальна пластина з круглими отворами), № 621466 «Установка для изготовления литейных фильтров», опубл. 1978р. Було встановлено, що застосування фільтрувальних сіток сприяє зменшенню кількості газів в чавуні та підвищує його міцність [62, 164-166].

1954р. – Під керівництвом доктора технічних наук Сергія Тимофійовича Кішкіна (1906 - 2002), походженням з України, в Всесоюзному інституті авіаційних матеріалів (ВИАМ, Москва, Радянський Союз) було розроблено **перший ливарний жароміцний нікелевий сплав ЖС3** (система Ni-Cr-W-Mo) та технологія виготовлення методом точного литва за моделями, що виплавляються, **охолоджуваних турбінних лопаток** для авіаційних двигунів, що працювали при робочій температурі 900 °С. В 1956р. було розроблено перший серійний ливарний жароміцний сплав ЖС6-К (система Ni-Cr-Al-W-Co-Mo-Ti) для виготовлення виливок турбінних лопаток з рівноважною структурою. Робоча температура лопаток з цього сплаву була на 200 °С вища ніж у лопаток з кращого на той час деформованого сплаву ЭИ437Б.



**Сергій Тимофійович
Кішкін [23]**

Основними розробниками сплаву ЖС6-К були співробітники ВИАМ Сергій Тимофійович **Кішкін**, Клара Яковлевна **Шпунт**, Микола Федорович **Лашко** і А. П. **Сонюшкіна**. А. П. Сонюшкіна в 1967р. захистила кандидатську дисертаційну роботу на тему «Исследование сплавов типа ЖС6К, выплавленных в вакууме, и повышение их свойств путем модифицирования». В 1976р. К. Я. Шпунт захистила докторську дисертацію на тему «Основы легирования и производства высокожаропрочных сплавов на никелевой основе». В результаті проведених робіт С. Т. Кішкіним було сформульовано принципово новий підхід до створення жароміцних сплавів – гетерофазне зміцнення сплавів [172 -174].

1956р. - В США компанія ESCO Corporation, Портленд, штат Орегон, встановила перший **бетатрон** для радіографії важких сталевих виливків [1, 2].

1956р. – Американський архітектор **Гарольд Ф. Шруйер** (Harold F. Shroyer, ?-?) розробив технологію виробництва художніх виливок з пінополістиролу (Expanded Polystyrene, EPS). Вона полягала в виготовленні **ливарних моделей з блочного пінополістиролу**, які розміщують в піщаній формі і заливають розплавленим металом. В 1958р. винахідник отримує патент США № 2830343 «Cavityless Castings Mold and Method of Making Same». В 1959р. скульптор **Альфред Дука** (Alfred Duca, 1920–1997) створює бронзову скульптуру «Пегас» масою 150кг, що була першим в світі витвором, створеним за EPS - технологією [1, 2, 67, 78, 79].



"Pegasus" (1959) by Alfred Duca. deCordova Sculpture Park and Museum in Lincoln, Massachusetts, USA [79]

1957р. - Професор Технічного університету з Данії **Вагр Ааж Йєппесен** (Vagn Aage Jeppesen, 1919-1975) вперше розробив спосіб виготовлення **ливарних форм з вертикальним рознімом** і установку (формувальну машину) безопокowego пакетного формування. Він отримав в 1961р. патент США № 3008199 «Method of producing Casting Molds and a Plant for Carrying out the Said Method» з пріоритетом від 1958р., який був придбаний компанією Dansk Industri Syndikat (DISA) в 1961р.

Nov. 14, 1961 V. A. JEPPESEN 3,008,199
METHOD OF PRODUCING CASTING MOLDS AND A PLANT FOR CARRYING OUT THE SAID METHOD
Filed Aug. 19, 1958

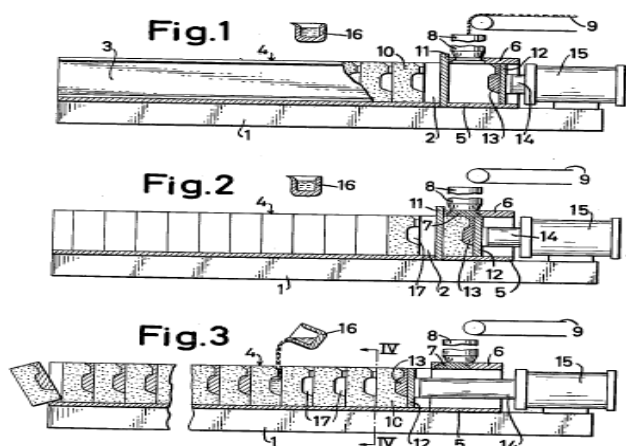
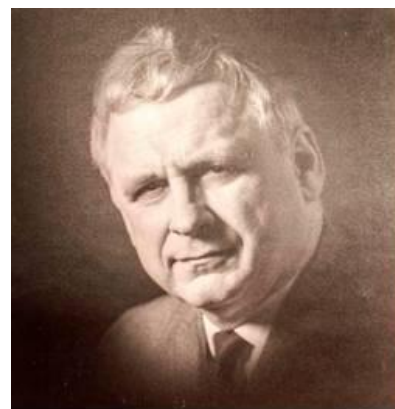


Схема формувальної машини до патенту В. А. Йєппесена



Вагр Ааж Йєппесен [58]

В 1962р. компанія створила прототип формувальної машини, який під торгівельною маркою **DISAMATIC** був продемонстрований на Міжнародній торгівельній ярмарці ливарства (GIFA) в 1962 році в Дюссельдорфі (Німеччина).

В 1964р. перша промислова вертикальна формувальна машина DISAMATIC була продана компанії United Danish Iron Foundries, Данія [1, 2, 22, 57, 58].

1958р. – На базі Інституту машинознавства та сільськогосподарської механіки Академії наук УРСР (м. Київ, Україна) створено **Інститут ливарного виробництва АН УРСР** (розпорядження Ради Міністрів УРСР від 26 вересня 1958р., №1186-р). Першим директором було призначено член-кор. АН УРСР Андрія Андрійовича **Горшкова**, який обіймав цю посаду до 1962р. На початковому етапі діяльності до складу інституту входили: відділ чавунного литва, відділ сталевого литва, відділ формувальних матеріалів (Олексій Миколайович **Цибрік**, 1911-1990), відділ автоматизації і механізації ливарних процесів (Олег Михайлович **Крижанівський**, 1914-1974), відділ кам'яного литва, відділ металознавства і термічної обробки (Михайло Петрович **Браун**, 1903-1977), лабораторія точного лиття і лабораторія радіоактивних досліджень лиття. В подальшому Інститут ливарного виробництва, далі Інститут проблем литва АН УРСР (з 1964р.) і Фізико-технічний інститут металів і сплавів НАНУ (з 1996р.) очолювали: Микола Васильович **Фікссен** (1962-1966), Віктор Олексійович **Єфімов** (1966-1988), Володимир Леонтійович **Найдек** (1988-2016), Анатолій Михайлович **Верховлюк** (2016-2017), Анатолій Васильович **Нарівський** (з 2017р.) [18, 110, 111].



**Андрій Андрійович
Горшков (1898-1972) [18]**



**Микола Васильович
Фікссен (1905-1965) [110]**



**Віктор Олексійович
Єфімов (1921-2002) [319]**



**Володимир Леонтійович
Найдек (р. н. 1937) [319]**



**Анатолій Михайлович
Верховлюк (р. н. 1956) [138]**



**Анатолій Васильович
Нарівський (р. н. 1944) [319]**

1958-1975рр. – Під керівництвом завідувача відділом автоматизації та механізації ливарних процесів Інституту проблем литва (ІПЛ) АН УРСР доктора техн. наук Олега Михайловича **Крижановського** (1914-1974), а також завідувача лабораторією електромеханічних пристроїв і систем, канд. техн. наук Владислава Йосиповича **Врублевського** (1915-1971), канд. техн. наук Леоніда Степановича **Панасюка** (1926-1975) і канд. техн. наук Володимира Тимофійовича **Антоненка** виконано цикл теоретичних, експериментальних досліджень. Вони мали за мету створення наукових основ розробки ударостійкого дозуючого обладнання для твердих неметалевих та металевих компонентів, а також металевих розплавів. Діючі моделі систем послідовного та паралельного дозування шихти для вагранки були відзначені золотою медаллю на Виставці досягнень народного господарства СРСР (м. Москва).



Модель системи дозування шихти для вагранки, що була розроблена ІПЛ АН УРСР. Лабораторія кафедри ливарного виробництва НТУУ (КПІ).

Фото В. Гнатуш

В подальшому одна з цих моделей була передана в Київський політехнічний інститут (НТУ «КПІ» ім. І. Сікорського) для використання в учбовому процесі при підготовці інженерів-ливарників. В 1969р. в структурі відділу автоматизації була організована конструкторська група під керівництвом Віктора Івановича **Лозенка**. Остання впродовж трьох років виконала кілька робочих проектів систем шихтування для ливарних цехів Рибінського моторобудівного заводу і кількох інших заводів Радянського Союзу [110].

1958р. – Розроблені фенольні та фуранові смоли, що твердіють під впливом кислотних каталізаторів (no-bake binder systems) для виготовлення холоднотвердіючих сумішей для ливарних стрижнів [1, 2].

1960р. - Manganese Bronze & Brass Company та J. Stone & Company (обидві з Лондона, Велика Британія) виготовляють **гребні гвинти** для суден з нікель-алюмінієвої бронзи. Остання характеризується високою корозійною стійкістю в морській воді. Властивості сплавів системи мідь-нікель-алюміній дослідили в 1914-1915 роках англійські вчені проф. **А. Рід** (A. A. Read) і **Річард Генрі Грівз** (Richard Henry Greaves, 1887-1958) [1, 2, 120].

1960р. - Для очищення алюмінієвих сплавів від неметалевих домішок в компаніях Alcoa (США) і British Aluminium (Великобританія) почали використовувати технологію фільтруючого шару (**bed filters, BF**). Вона передбачала використання нагрітої ємності, заповненої гранулами термостійких оксидних матеріалів, через яку проливається розплавлений алюміній [1, 2, 66].

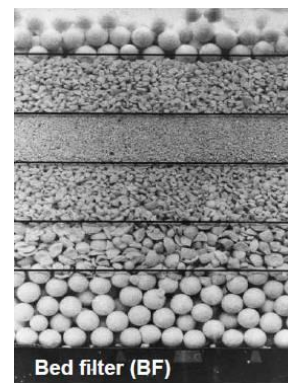


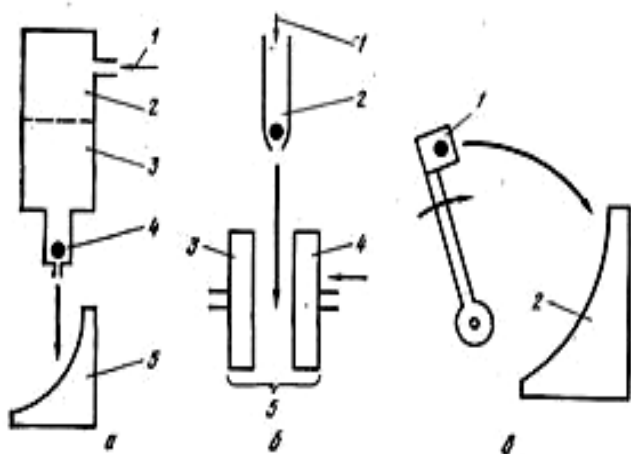
Схема будови фільтруючого шару [66]

1960р. – Інженер **Аркадій Рувімовіч Чудновський** (1928-?), Радянський Союз, Україна (Центральне проектно-конструкторське бюро №3, Одеса), розробив **спосіб лиття по моделям, що газифікуються**. Передбачалось, що ливарну модель складної конфігурації виготовляють з пінополістиролу, формують в піщану форму з малим вмістом вологи і заливають металом. Для відведення газів влаштовують додаткові випари та підвищують газопроникність форми. В 1961р. винахідник отримав авторське свідоцтво СРСР № 136014 на «Способ литья сжиганием модели внутри формы». В 1967р. за авторства А. Р. Чудновського в Москві була видана книга «Литье по моделям из пенопласта». 51 с. (Серия С-Х-2 "Технология литейного производства"/ М-во станкостроит. и инструм. пром-сти СССР. Науч.-исслед. ин-т информации по машиностроению "НИИ Маш") [78].

1960р. – Професор матеріалознавства **Пол Дювез** (Pol E. Duwez, 1907-1984), Каліфорнійський технологічний інститут, м. Пасадена, США разом з R. H. Willens і W. Jr. Klement в науковій статті Continuous Series of Metastable Solid Solutions in Silver-Copper Alloys (Journal of Applied Physics. 1960, V. 31. - р. 1136-1137) оприлюднює перше дослідження **аморфного сплаву** (amorphous alloy) системи Cu-Ag. Наступним кроком стало отримання аморфного сплаву системи Au-Si. Для виготовлення плівок сплаву гартуванням з рідкого стану була розроблена технологія, що передбачала розплющування гранул розплавленого металу мідною пластиною – холодильником [18, 232].



Пол Дювез, 1974 [232]



Схеми перших методів виготовлення тонких пластинок аморфних сплавів гартуванням з розплаву: а – метод пострілу від Р. Duwez (1-газ під тиском; 2-камера високого тиску; 3-камера низького тиску; 4-розплав; 5-холодильник мідний); б – метод молота і ковадла від І. С. Мирошніченко, І. В. Саллі (1-газ під тиском; 2-розплав; 3 і 4 – плити (молот і ковадло); 5-холодильник); в – метод екстракції розплаву або обертова катапульта (1-розплав; 2-холодильник) [231]

1961р. – За авторства **Олексія Петровича Гудченка** (1921-1998), канд. техн. наук, Московський авіаційний технологічний інститут, на Виставці досягнень народного господарства СРСР, Москва, була представлена **установка для визначення вмісту газів (водню) в розплаві легких сплавів**. Розробка базувалась на постулаті що при рівновазі в системі газ-метал, тиск газу в розплавленому металі буде відповідати тиску газу в навколишньому середовищі. В момент зміни рівноваги на поверхні металу з'являється бульбашка газу. Потрібно відмітити, що ідея такої методики належить науковцю **Іву Дарделю** (Yves Dardel), AIMI, Institute of Metals Division, США, який в виданні Metals Technology (TP 2484, Dec. 1948) опублікував статтю «Hydrogen in Aluminium» [23]. Фото О. П. Гудченко - <http://tlp.mati.ru/text3.html>.



Установка О. П. Гудченко, лабораторія кафедри ливарного виробництва НТУУ «КПІ». Фото В. Гнатуш



Олексій Петрович Гудченко



Сучасна установка для визначення вмісту водню в легких сплавах за методом Дардела ALUSPEED TES [137]

1961р. – За авторства інженера **Володимира Костянтиновича Беделя** (1908 - 2008), м. Москва, Радянський Союз, була видана монографія «Литьє под низким давлением». Тим самим було узагальнено досвід авторського колективу Науково-дослідного інституту технології та організації виробництва авіаційної промисловості (НДІАП, м. Москва, Радянський Союз) по створенню та впровадженню перших в Радянському Союзі **установок лиття під регульованим низьким тиском**. Означена технологія дозволяє виготовляти виливки з алюмінієвих та магнієвих сплавів, що мають габаритні розміри до 1м і товщину стінки 2...2,5 мм. На спосіб автоматичного керування швидкістю заповнення ливарної форми розплавленим металом В. К. Бедель, Л. А. Нікольський та В. Ф. Вихухолєв отримали авторське свідоцтво СРСР №106276 «Способ отливки тонкостенных деталей большого габарита» з пріорітетом від 30 червня 1955р. Для виготовлення виливок застосовується металева форма з сирими піщаними або оболонковими стрижнями, а для витиснення розплаву в ливарну форму використовується стиснене повітря або інертний газ [62, 170].

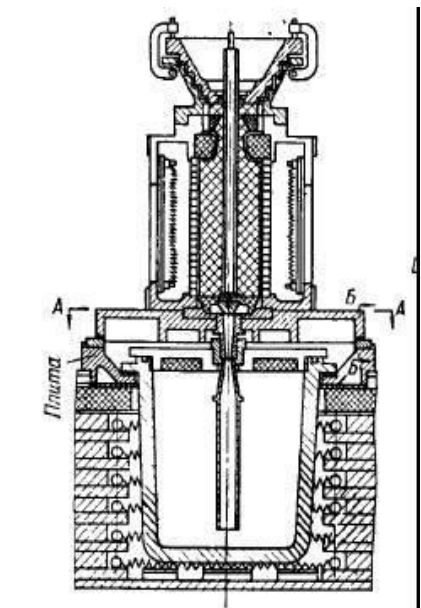


Схема установки ЛНД-1 з встановленою ливарною формою [170].

1962р. - В Німеччині доктор-інженер **Адальберт Вітмозер** (Adalbert Wittmoser) з співробітниками розробив технологію виробництва виливок з використанням **пінополістиролових ливарних моделей**, які формуються з вібрацією в ливарну форму, заповнену **ферромагнітним дробом (magnetic molding process)**. В процесі заливання металу та кристалізації виливки знаходять під впливом магнітного поля. Перевагами процесу є жорсткість форми, зменшення часу охолодження та підвищення механічних характеристик виливок внаслідок подрібнення мікроструктури. В 1971р. А. Wittmoser і R. Hofman отримали патент США 3619866 "Magnetizable mass Casting Device", що був зареєстрований 1967р. і має посилання на патент Німеччини H60967 від 1966р. [67].

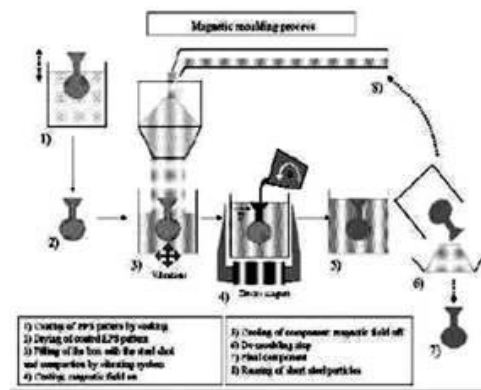


Схема процесу лиття в магнітну форму [67]:

1. Нанесення покриття на модель зануренням; 2. Сушіння покриття на моделі; 3. Заповнення контейнера з моделлю сталевим дробом; 4. Заливання форми розплавом в магнітному полі; 5. Охолодження форми; 6. Вибивання форми; 7. Віброобробка виливки; 8. Бункер для сталевого дроби [67].

1962р. – **Георгій Йосипович Ескін** (р.н.1933), металургійний завод "Наука", Радянський Союз, захистив дисертаційну роботу «Исследование воздействия ультразвуковых колебаний на структуру и свойства алюминиевых сплавов» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Тим самим молодий вчений започаткував принципово новий науковий напрям – **ультразвукова обробка (УЗ) легких сплавів в рідкому стані** та в процесі кристалізації. Подальші ідеї та наукові результати були сформовані Г. І. Ескіним в докторській науковій роботі «Исследование закономерностей и разработка научных основ технологии производства легких сплавов повышенного качества с применением ультразвуковой обработки расплава» (1982, Всесюзний інститут легких сплавів, Москва). Перша книга за авторства Г. І. Ескіна «Ультразвук в металлургии: (Улучшение структуры и свойств металлов и сплавов)» була видана видавництвом «Металлургиздат» в 1960р. [133].

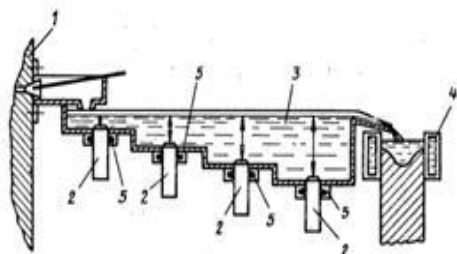


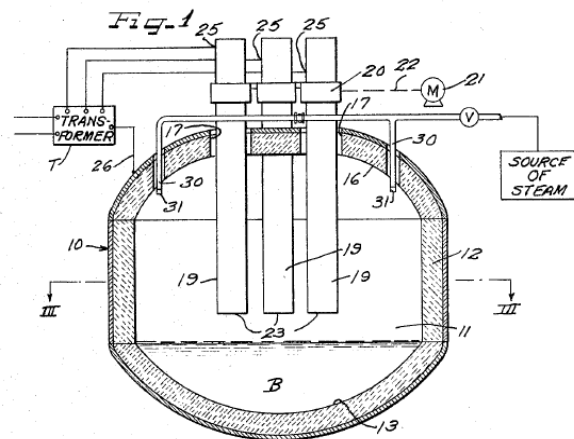
Схема до а. с. СРСР «Устройство для ультразвуковой дегазации расплавов металлов» №441311, опубл. 1974р. Автор Ескін Г. Й. та інші.



Георгій Йосипович Ескін [133]

1963р. – В США компанією Northwestern Steel and Wire, Sterling, Illinois було побудовано перші дві **надпотужні дугові сталеплавильні печі** першого покоління діаметром 6,7 м, місткістю по 135...140 т при потужності трансформатора 70...80 МВ*А, тобто питомій потужності 520...600 кВ*А/т. При цьому добова продуктивність одної печі сягала 1300 т. Концепція створення надпотужних дугових сталеплавильних печей та сам термін Ultra-high power (UHP) була вперше проголошена 1964р. на Proceedings Electric Furnace Conference в м. Буффало, США **Чарльзом Робінсоном** (Charles G. Robinson, Northwestern Steel and Wire Corp.) і **Вілліамом Швабе** (William E. Schwabe,

Union Carbide Corp.) в доповіді «Ultra-High Power Electric Steel Furnace Operation». Фактичний матеріал повідомлення базувався на результатах експлуатації печей в компанії Northwestern Steel and Wire. В 1966р. Чарльз Робінсон отримав патент US3264094 на «Method and Means for Melting and Increasing the Life of the Refractory lining of a melting Vessel» з пріоритетом від 1964р. [181, 183, 191].



Малюнок до патенту США №3264094 від 1966р. Чарльза Робінсона

1963р. – **Вілліам А. Хантер** (William Allan Hunter, 1922-2011), який до цього часу працював в компанії Beardsley & Piper (Чікаго, США), створив перший проект **автоматизованої формувальної безопокової машини з горизонтальним рознімом піщаної ливарної форми** та з двобічною модельною плитою. Перший концепт-зразок принципово нової формувальної машини придбала та встановила компанія Moline Malleable Iron (м. Сент-Чарльз, шт. Іллінойс, США). Наступного року винахідник створив компанію Hunter Automated Machinery Corporation, що почала виготовляти автоматизовану формувальну машину марки НМР-10. Одночасно Вілліам Хантер оформив заявку на винахід «Automatic matchplate moulding machine», патент на який за номером US3406738 він отримав 1968р. В наш час компанія Вілліама А. Хантера відома як Hunter Foundry Machinery Corporation та має свої офіси в США, Індії, Китаї, Бразилії та Європі [1, 2, 116].



Вілліам А. Хантер [116]

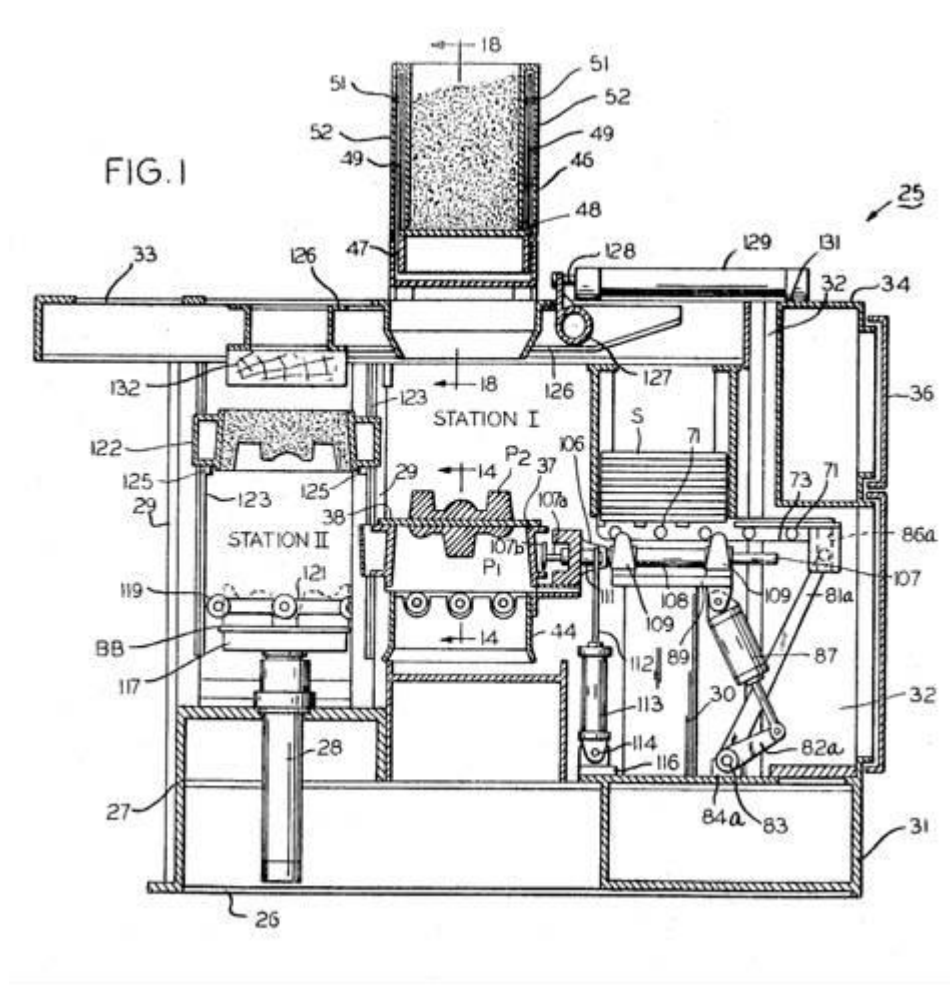


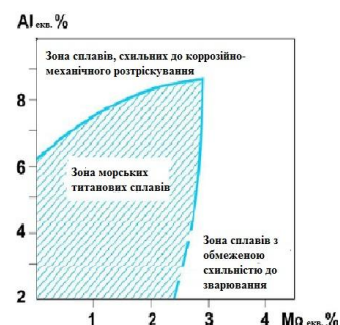
Схема до патенту США 3406738 від 16.11.1964 Вільяма Хантера

1963р. - Під керівництвом Ігоря Васильовича Гориніна (1926-2015), канд. техн. наук (у майбутньому академік РАН), головного інженера Центрального науково-дослідного інституту конструкційних матеріалів «Прометей», Ленінград, Радянський Союз на виробничій базі інституту було створено першу в країні **дільницю титанового литва**. На ній виготовляли вилівки суднової арматури для першого титанового атомного підводного човна К-162. Успішне функціонування ливарної дільниці стало підставою для організації відповідної промислової дільниці на «Северном машиностроительном предприятии», м. Северодвінськ і будівництво спеціалізованого цеху фасонного титанового литва. Програма будівництва атомних підводних човнів в СРСР



Ігор Васильович Горинін
Фото від <http://www.atomic-energy.ru>

була поштовхом до розробки та впровадження лінійки вакуумних гарнісажних печей від «Нева-2» до «Нева-5» з місткістю тиглей, відповідно, від 130 до 3500 кг титану. Одночасно були створені морські ливарні титанові сплави марок ТЛЗ (система Ti-Al) і ТЛ5 (система Ti-Al-V) для виливок спеціального та загального суднового машинобудування, що мали характеристики співставні з показниками поковок з аналогічних сплавів. Розроблена технологія модифікування мікроструктури вказаних сплавів дозволила на 10-20% підвищити як механічні властивості, так і експлуатаційні характеристики для титанових виливок з товщиною стінки до 350 мм [208].



Морські титанові сплави, що розроблені в ЦНДІ КМ «Прометей», Росія [209]



Основа антенного блоку



Робоче колесо компресора



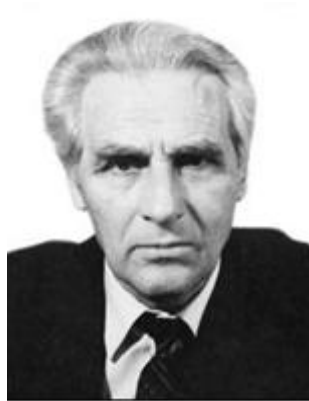
Корпус відцентрового насоса масою 480 кг.

Виливки з титанових сплавів ЦНДІ КМ «Прометей» [207]

1964р. – В Радянському Союзі розпочалось широке впровадження технологій виготовлення ливарних форм і стрижнів з застосуванням **рідких самотвердіючих сумішей (РСС)**. Технологія знайшла застосування при виробництві виливок з чавуну, сталі та кольорових металів вагою від десятків кілограмів до десятків тон. Перша в СРСР комплексно-механізована лінія для виготовлення стрижнів з РСС була встановлена на Київському заводі «Більшовик» при участі науковців Київського політехнічного інституту та Всесоюзного проектно-конструкторського технологічного інституту «Будшляхмаш» (м. Київ). В цьому ж році на заводі «Запоріжсталь», м. Запоріжжя, почалось виробництво чавунних виливниць з застосуванням ливарних форм, виготовлених з РСС, що продовжує функціонувати і в ХХІ столітті. Потрібно відмітити, що на «Запоріжсталі» було запроваджено варіант РСС-технології, яку розробили науковці Центрального науково-дослідного інституту технології машинобудування (ЦНИИТМАШ, м. Москва) під керівництвом д. т. н. А. М. **Лясса** (1911-1976) і к. т. н. П. А. **Борсука**. Крім вже названих інститутів, біля витоків технології РСС в Радянському Союзі були науковці Харківського політехнічного інституту (д. т. н. Б. А. Носков, к. т. н. І. В. Рижков та інші) і Челябінського політехнічного інституту (д. т. н. Ю. П. Васін, проф. П. В. Черногоров та інші). В 1967р. звання лауреатів Державної (Ленінської) премії були присвоєні **Лясу** Абраму Мойсейовичу (1911-1976), д. т. н., завідувачому лабораторією, **Борсуку** Павлу Афанасійовичу (1922-2019), к. т. н., с. н. с. Центрального науково-дослідного інституту технології машинобудування; **Долбенку** Євгену Тихоновичу (1925-2006), к. т. н., колишньому головному металургу Південуралмашзаводу; **Онуфрієву** Іннокентію Олександровичу (1911-?), колишньому головному інженеру Московського чавуноливарного заводу «Станколіт»; **Ткаченку** Андрію Сафронівичу (?-?), начальнику цеху металургійного заводу «Запоріжсталь»; **Рижкову** Івану Васильовичу (1923-1982), к. т. н., доц. Харківського політехнічного інституту – за розробку і впровадження у виробництво принципово нової технології ливарного виробництва – виготовлення стрижнів і форм з рідких самотвердіючих сумішей [23, 62, 109, 115, 117].



Абрам Мойсейович
Лясс [115]



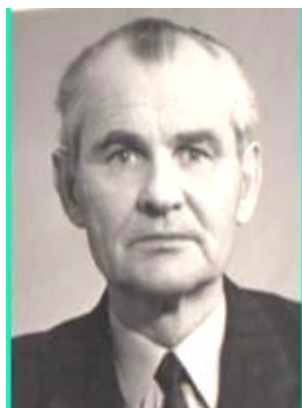
Павло Афанасійович
Борсук [23]



Євген Тихонович
Долбенко [23]



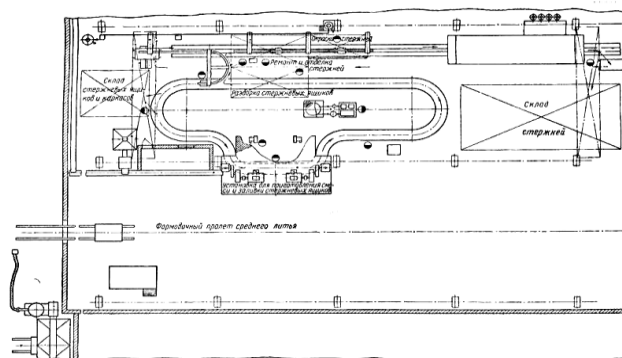
Іннокентій
Олександрович
Онуфрієв [319]



Андрій Сафронович Ткаченко. Фото
прес-центру ПАТ «Запоріжсталь»



Іван Васильович Рижков [320]



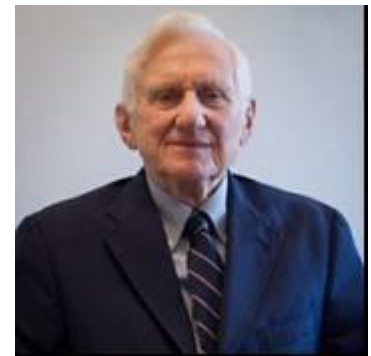
План размещения комплексно-механизированной поточной линии изготовления стержней

План комплексно-механізованої поточної лінії виготовлення стержнів з РСС на Київському заводі «Більшовик» [117]

1964р. – На Харківському моторобудівному заводі «Серп і молот» було почато промислове виробництво литих колінчатих валів з високоміцного чавуну марки ВЧ 70-3 для дизельного двигуна СМД 14. Вказана технологія була розроблена співробітниками Інституту проблем литва АН УРСР. Результати наукових досліджень стосовно розробки технології виробництва колінчатих валів з високоміцного чавуну були викладені в монографії А. А. Горшкова і М. В. Волощенко «Литые коленчатые валы» М.: Машиностроение, 1964. 195 с. [62, 110].

1964р. – Науковцями Інституту проблем литва АН УРСР (М. В. Волощенко, Б. Г. Зелений та інші) було розроблено **комплексний модифікатор (лігатура)** системи залізо-кремній-магній-кальцій (ЖКМК). Це дозволило розробити спеціальні марки високоміцного чавуну для корпусних виливок суднового машинобудування. Виробництво модифікатора було організовано на Челябінському електрометалургійному комбінаті [110].

1964р. - Американський вчений **Мертон Флемінгс** (Merton C. Flemings, 1929 - ?), Massachusetts Institute of Technology, в розвиток EPS – технології, розробляє технологію лиття за моделями, що газифікуються, (**Lost Foam Casting, LFC - process**), яка передбачає виготовлення з гранул пінополістиролу ливарних моделей, які збирають в блок. Останній формують в піщану форму без зв'язуючого і заливають розплавленим металом [1, 2, 82]. Фото М. Флемінгс від <https://dmse.mit.edu/people/merton-c-flemings>.



Мертон Флемінгс

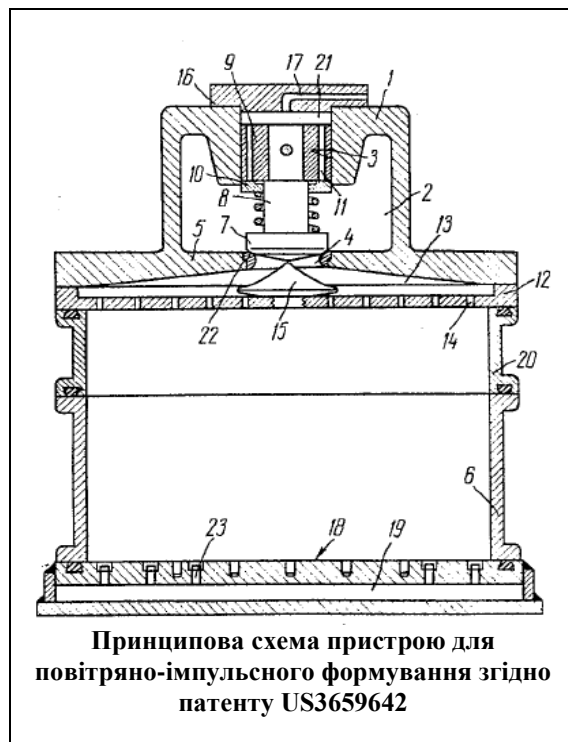
1965р. – Під керівництвом **Чарльза Оутлі** (Sir Charles William Oatley, 1904-1996), професора Кембріджського університету, виготовлено перший комерційний зразок **скануючого електронного мікроскопу «Stereoscan»** на базі Кембріджської наукової приладобудівної компанії (Cambridge Scientific Instrument Company, Англія). Тим самим були завершені наукові пошуки, які почались ще в 1928р. [1, 2, 22].



Чарльза Оутлі [22]

1968р. - **Дженіс Робінс** (Janis Robins) і **Ларрі Торелло** (Larry Toriello), Ashland Chemical Co, США, створюють високопродуктивну технологію виробництва **ливарних стрижнів з холодним твердінням (coldbox-process)** з використанням нової фенольної смоли. Німецька ливарня Daimler-Benz, Мангейм, першою впроваджує новий процес для виготовлення виливок автомобільних деталей. Компанія John Deere Silvas Foundry, Moline, Illinois, першою використовує цей процес для масового виробництва в Північній Америці [1, 2, 118].

1968р. – Співробітник Краматорського науково-дослідного і проектно-технологічного інституту машинобудування (НДПТІМаш), УРСР **Лев Федорович Васильковський** (1930-1987) захистив кандидатську наукову роботу «Разработка и исследование способа уплотнения формовочных смесей импульсным давлением воздуха». Тим самим були закладені наукові основи принципово нового метода виготовлення ливарних форм з піщано-глинистих сумішей – **повітряно-імпульсного формування (ПІФ)**. В 1972р. колектив авторів з НДПТІМаш, а саме Лев Федорович **Васильковський**, Володимир Юхимович **Сюсюк**, Микола Микитович **Абросімов**, Георгій Андрійович **Гейдебрехов**, Всеволод Андійович **Ляшенко** і Володимир Іванович **Підмогильний**, отримали патент США US 3659642 «Apparatus for Compacting a moulding mixture» з пріорітетом від 22 грудня 1969р. В подальшому варіанти вказаної



ливарної технології були реалізовані компаніями Georg Fischer AG (патент DE2949340 «Verfahren zum verdichten von koernigen stoffen», дата реєстрації 7 грудня 1979р.) і Sintokogio Ltd (JPS5438222 «Mold making machine», пріорітет від 15 грудня 1978р.). На Дослідному заводі НДПТІМаш було організовано виробництво машин і ліній імпульсного формування (ІФ). Всього, починаючи з 1968р., обладнання ІФ для опок розмірам від 700x800мм до 2000x3000мм було встановлено на більш ніж 30 підприємствах Радянського Союзу, серед яких «Октябрь» (м. Краснодар), «Бежицкий сталелитейный завод» (м. Брянск), «Ждановский завод тяжелого машиностроения» (м. Жданов/Маріуполь), «Новокраматорский машиностроительный завод» (м. Краматорськ), «Старокраматорский машиностроительный завод» (м. Краматорськ), «Донецкгормаш» (м. Донецьк), «Центролит» (м. Гомель), «Желдормаш» (м. Армавір), «Славтяжмаш» (м. Славянськ). З 1991р. правонаступником НДПТІМаш стало ОП «Донмет-Імпульс» (м. Краматорськ, Україна) [195, 196].

1968г. – На кафедрі «Машини та технологія ливарного виробництва» Київського політехнічного інституту (НТУУ «КПІ»), Радянський Союз, Україна, колектив науковців в складі К. І. Ващенко, Д. Ф. Чернеги, О. М. Бяліка та О. О. Шишкіна створив **спосіб і установку для експресного кількісного вимірування вмісту газів в рідких металах**. В 1970р. Костянтин Ілліч **Ващенко** (1901-1992), Дмитро Федорович **Чернега** (1927-2015), Олег Милайлович **Бялік** (1938-2005) і Олександр Олексійович **Шишкін** отримали авторське свідоцтво СРСР №277381 «Способ определения содержания газов в жидких металлах». На практиці ця установка дозволяє визначати вміст газів в розплавах алюмінієвих, мідних та магнієвих сплавів за 6...120 с при 88...96% відтворюваності результатів, В подальшому відповідна установка знайшла застосування в ливарних цехах підприємств

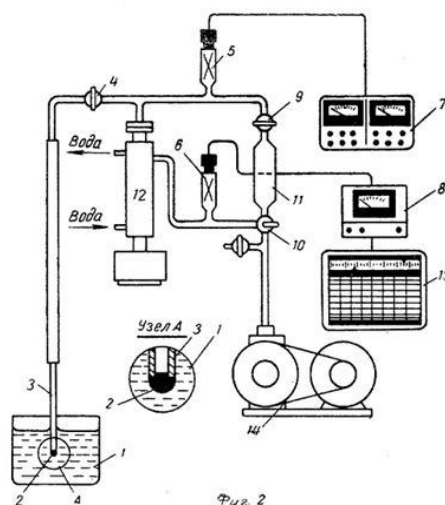


Схема до а. с. СРСР № 277381

Радянського Союзу [62].



Костянтин Ілліч Вашенко.
Фото від сайту кафедри
ливарного виробництва
НТУУ «КПІ» -
<http://foundry.kpi.ua>



**Дмитро Федорович
Чернега.** Фото від сайту
кафедри ФХОТМ
НТУУ «КПІ» - -
<http://www.fhotm.kpi.ua>



**Олег Михайлович
Бялік.** Фото від сайту
ІФФ НТУУ «КПІ» -
<http://iff.kpi.ua>



**Олександр
Олексійович
Шишкін.** Фото з
альбома
групи АЛВ-5

1969р. – Джеймс Ліндсей МакКоулай (James Lindsay McCaulay) і Кліффорд Метью Данк (Clifford Matthew Dunks), Materials and Methods Limited, Англія, подали заявку на винахід «Process for the Manufacture of Nodular Cast Iron», а в 1972р. отримали патент США US3703922. Таким чином в ливарному виробництві було започаткована технологія **внутрішньоформенного модифікування (in-mold process)** для виготовлення виливок з чавуну з кульковим графітом. Ливарна спілнота отримала інформацію про цю технології в статі James Lindsay McCaulay. «Production of nodulagraphite iron casting by the in-mold-process» у виданні «Foundry trade journal» від 15 квітня 1971р. Базуючись на цих матеріалах подальший розвиток технологія набула в Ford Motor Company, яка в 1977р. отримала патент США US4037643 на винахід «Modularizing treatment employing unitized modifying agent» з пріоритетом від 1975р. Цим патентом захищалась модифікуюча суміш, що містила 20...50% Si, 5...15% Mg, 0,5...1,5% Al, 0,3...2,0% Ca і 0,3...1,5% Ce.

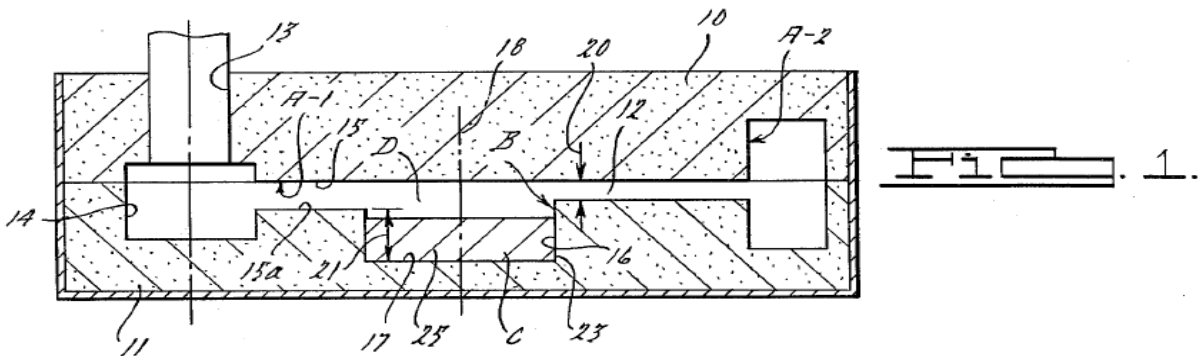


Схема до патенту США 4037643 від 26 липня 1977р. Ford Motor Company

1969р. – Компанія General Motors починає виробництво автомобіля Chevrolet Vega з **повністю алюмінієвим 4-х циліндровим блоком.** Для реалізації цього проекту Reynolds Metal. Co. розробила спеціальний алюмінієвий сплав А-390, який містив 17% Si, 4% Cu, 1% Fe, а також фосфор, цинк, марганець і титан. Для виробництва блоків застосовували лиття під тиском. Загалом 2,5 млн. блоків циліндрів були виготовлено протягом життєвого циклу цього автомобіля (1969-77рр.) [1, 2, 22, 119].



Автомобіль Chevrolet Vega [22]

1969р. – **Володимир Олександрович Лютий** (1937-1998), кафедра ливарного виробництва, Київський політехнічний інститут (НТУУ «КПІ»), Радянський Союз захистив кандидатську дисертаційну роботу «Хромоалюминиевая жаростойкая сталь для отливок, работающих при переменных температурах до 1200 °С». Тим самим було започатковано **новий клас ливарних сталей – хромоалюмінієвих**. Нова ливарна сталь марки 4Х23Ю3ТЛц (торгівельна марка «КПІ-2») майже вдвічі переважала хромо-нікелеву сталь Х23Н13 (прокат) за термостійкістю. Термін експлуатації литих насадок пальників котлоагрегатів теплоелектростанцій (ТЕС) з нової сталі в 10...15 разів був довший, ніж у насадок з листового прокату сталі Х23Н13. З метою просування розробки у 1978р. при кафедрі ливарного виробництва Київського політехнічного інституту було створено Галузеву науково-дослідну лабораторію зносостійких і жаростійких сплавів для теплоенергетичного обладнання (ІЖСТО), керівником якої було призначено В. О. Лютого [153].



**Володимир Олександрович
Лютий [153]**



**Відливка насадки пальника котлоагрегата ТЕС
з хромоалюмінієвої сталі [154]**

1969р.- В м. Ленінграді (тепер м. Санкт-Петербург) було збудовано перший в Радянському Союзі пішохідний суцільнозварений **алюмінієвий «Коломенський міст»** через канал ім. письменника Олександра Сергійовича Грибоедова (1794-1829). Для виготовлення елементів мосту було використано **корозійностійкий сплав типу АМг (система Al - Mg)**. Конструктивно міст виконано арочним з використанням алюмінієвих труб діаметром 270 мм. Загальна вага прольотної конструкції складає 8,108 т. Спроба побудови в Радянському Союзі автодорожнього мосту, що мав довжину прольоту 32,4 м, через р. Рузу в Підмосков'ї з **алюмінієвого сплаву Д16Т (система Al – Cu -Mg)** закінчилась невдачею. Внаслідок використання реагентів проти ожеледі, що призвело до корозійних руйнувань алюмінієвих конструкцій, через рік міст став непридатним до експлуатації та був демонтованим. В сучасній Росії перші два алюмінієві пішохідні мости з довжиною прольоту 38м було збудовано 2017р. в с. Афоніно поблизу Нижнього Новгороду [23, 286].



Загальний вигляд Коломенського мосту. Автор фото: Alex 'Florstein' Fedorov, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48927725> [23]



Загальний вигляд алюмінієвого пішохідного мосту в с. Афоніно поблизу Нижнього Новгороду, Росія [286]

Розділ п'ятий. Третя промислова революція (70-і роки ХХ ст. – 2010р.)

Третя промислова революція характеризується впровадженням автоматизації виробничих процесів. В цей час проходить четверта трансформація обчислювальних машин, коли замість транзисторів починають використовувати напівпровідникові інтегральні схеми. Це приводить до появи персональних комп'ютерів, що суттєво спрощую відносини машини з людиною. Комп'ютер стає звичним елементом робочого місця. Наступним логічним кроком стала розробка комп'ютерних мереж. Перша в світі така мережа була створена 1969р. в США під назвою ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network). В 1983р. за мережею ARPANET закріпилась назва «Інтернет». В результаті ІТ – технології почали не тільки ставати елементами промислового виробництва, а створювати принципово нові напрямки торгівлі (інтернет-торгівля). Були розроблені електромобілі, концепції «розумний дім» та «розумне місто», а також стеріолітографія або 3-D друкування з неметалевих та металевих порошків [18, 284].

В той же час незмінною є тенденція щодо збільшення виробництва та використання металів в усіх сферах людської цивілізації. Так, за даними World Steel Association (WSA) виробництво сталі в світі за період з 1970р. по 2010р. збільшилось з 595,4 до 1431,7 млн. т або в 2,4 рази (табл. 1).

Таблиця 5.1

Виробництво сталі по країнах світу в 1970р. і 2010р.

1970р.				2010р.			
Топ - 1970	Країна	Виробництво, млн. т	Частка, %	Топ - 2010	Країна	Виробництво, млн. т	Частка, %
1	США	119,31	20,0	1	Китай	638,74	44,6
2	СРСР	115,89	19,5	2	Японія	109,60	7,7
3	Японія	93,32	15,7	3	США	80,50	5,6
4	ФРН	45,04	7,6	4	Індія	68,98	4,8
5	Велика Британія	27,83	4,7	5	Росія	66,94	4,7
6	Франція	23,77	4,0	6	Республіка Корея	58,91	4,1
7	Китай	18,00	3,0	7	Німеччина	43,83	3,1
8	Італія	17,28	2,9	8	Україна	33,43	2,3
9	Бельгія	12,61	2,1	9	Бразилія	32,95	2,3
10	Польща	11,75	2,0	10	Італія	25,75	1,8
	Разом 10 країн	484,80	81,4		Разом 10 країн	1159,63	81,0
	Решта 42 країни	110,63	18,6		Решта 56 країн	272,04	19,0
	Всього 52 країни	595,43	100,0		Всього 105 країн	1431,66	100,0

Примітка. Вихідні дані від World Steel Association, WSA.

Слід також відмітити, що за 40 років істотно трансформувалась лідируюча десятка країн, виробників сталі на планеті Земля. Найбільш кардинальні зміни відбулись в економіці Китаю, який перетворився в «майстерню світу». Про це свідчить хоча б те, що Китай збільшив виробництво сталі з 18,0 до 638,7 млн. т тобто в 35,5 рази, а його частка в 2010р. становила 44,6% світового виробництва. З розпадом Радянського Союзу (2-е місце в топ -

1970) в світовому рейтингу сталі з'явилися Росія та Україна. Вони посідали в топ – 2010, відповідно, п'яте та восьме місця.

Світовий ринок виливок теж відзначався підвищувальним трендом. Так, виробництво виливок з чорних і кольорових металів в світі за період з 1970р. по 2010р. за даними статистики журналу «Modern Casting» збільшилось з 74,3 до 91,67 млн. т або на 23%. Доступна статистика виробництва виливок за країнами світу за 1994р. свідчить, що лідерами ринку були США (частка 19,97%), країни СНД (17,53%) і Китай (17,50%) (табл. 2). А якщо врахувати і Японією з часткою 10,14%, то ринок був доволі диверсифікованим.

Таблиця 5.2

Виробництво виливок по країнах світу в 1994р. і 2010р.

1994р.				2010р.			
Топ - 1994	Країна	Виробництво, млн. т	Частка, %	Топ - 2010	Країна	Виробництво, млн. т	Частка, %
1	США	13,27	19,97	1	Китай	39,60	43,20
2	СНД	11,65	17,53	2	Індія	9,05	9,87
3	Китай	11,63	17,50	3	США	8,24	8,99
4	Японія	6,74	10,14	4	Німеччина	4,79	5,23
5	Німеччина	3,82	5,75	5	Японія	4,76	5,19
6	Індія	2,88	4,33	6	Росія	4,20	4,58
7	Франція	2,27	3,42	7	Бразилія	3,24	3,53
8	Італія	1,57	2,36	8	Республіка Корея	2,23	2,43
9	Республіка Корея	1,54	2,32	9	Італія	1,97	2,15
10	Бразилія	1,49	2,24	10	Франція	1,96	2,14
	Разом 10 країн	56,86	85,56		Разом 10 країн	80,04	87,31
	Решта 23 країни	9,6	14,44		Решта 26 країн	11,63	12,69
	Всього 33 країни	66,46	100,00		Всього 36 країн	91,67	100,00

Примітка. Вихідні дані з журналу «Modern Casting»

Проте за станом на 2010р. ситуація в світовому ливарстві суттєво змінилась. Одноособовим лідером стала ливарна промисловість Китаю з часткою 43,2%. На друге місце з часткою майже 10% висунулась Індія, а на третє місце відкотились США (майже 9%). З країн СНД в чільній десятці країн-лідерів закріпилась тільки Росія (4,6%).

Істотні зміни мали місце і в номенклатурі сплавів, що використовувались для виготовлення виливок впродовж 1970-2010рр. Хоча лідерство продовжує зберігати сірий чавун, проте його позиції доволі активно і успішно атакують чавун з кульковим графітом і алюмінієві сплави (табл. 3). Якщо в 1970г. частка сірого чавуну становила 73,2%, то у 2010р. вона знизилась до 47,2%. При цьому частка виливок з чавуну з кульковим графітом збільшилась з 5 до 25,6%, а виливок з алюмінієвих сплавів – з 2,5 до 11,9%. Все це свідчить про те, що в конструкціях машин та обладнання застосовують все більше технічно якісніші та легші виливки з більш високими експлуатаційними та економічними характеристиками.

Одночасно слід відзначити, що і в технологічному плані ширше застосовують прогресивні ливарні технології, що поєднують кероване охолодження металу з зовнішнім

тиском. Все це дозволяє підвищити технічну оснащеність ливарних цехів, покращити їх екологічність, економічну ефективність та розширити номенклатуру литих виробів.

Таблиця 5.3
Виробництво виливок в світі з різних видів сплавів в 1970 і 2010рр.

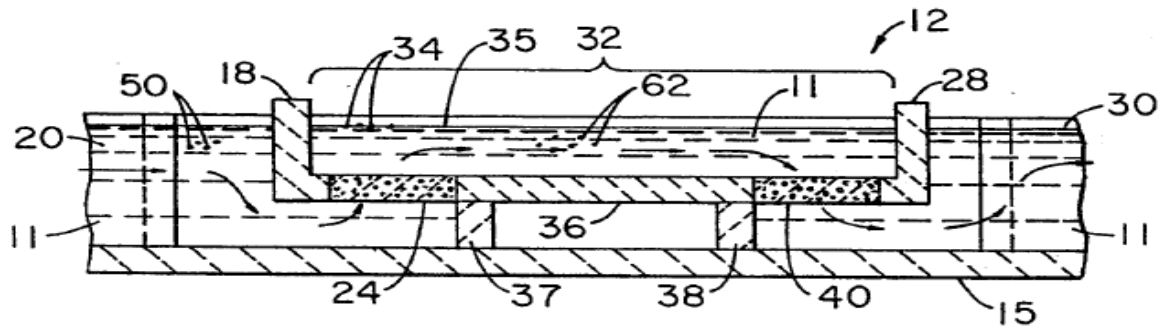
1970р.				2010р.			
Топ - 1970	Сплав	Кількість, тис. т	Частка, %	Топ - 2010	Сплав	Кількість, тис. т	Частка, %
1	Чавун сірий	54470,196	73,24	1	Чавун сірий	43258,296	47,19
2	Сталь	10044,484	13,51	2	Чавун з кульковим графітом	23451,711	25,58
3	Чавун з кульковим графітом	3721,504	5,00	3	Алюміній	10879,515	11,87
4	Чавун ковкий	2523,613	3,39	4	Сталь	10215,376	11,14
5	Алюміній	1879,028	2,53	5	Мідь	1652,401	1,80
6	Мідь	963,217	1,30	6	Інші кольорові метали	1193,449	1,30
7	Цинк	683,301	0,92	7	Цинк	528,978	0,58
8	Магній	61,831	0,08	8	Чавун ковкий	297,428	0,32
9	Інші кольорові метали	26,012	0,03	9	Магній	196,685	0,21
	Всього	74373,186	100,00		Всього	91673,839	100,00

Примітка. Вихідні дані з журналу «Modern Casting»

1970р. - Докторська робота **Дірана Апеляна** (Diran Apelian) в Массачусетському технологічному інституті (MIT, США) призводить до застосування **керамічний пінних фільтрів** при виготовлення металевих виливок в компанії Olin Corporation, США. Комерційні пінокерамічні фільтри почнуть використовуватися в ливарному виробництві з 1974 року. Тим самим значно зменшується кількість твердих неметалевих включень та вміст газу в ливарних сплавах, що підвищує експлуатаційні характеристики виливок. Прикладом розробки Д. Апеляна є патент US5336295 «Method for Separation and Removal of suspended Liquid Particles from Molten Metal and Associated Apparatus», що отримали Девід ДеЙонг (David H. DeYoung), Діран Апелян (Diran Apelian) і Раджакканну Мутрасан (Rajakkannu Mutharasan) у 1994р. [1, 2].



Діран Апелян. Фото від <https://engineering.ucdavis.edu>



Малюнок до патенту US 5336295 від 1994р.

1970р. – Девід Керр (David L. Kerr), Роберт Лемон (Robert C. Lemon) та Едвард Стоунбрук (Edward E. Stonebrook), Aluminium Company of America, Піттсбург, США отримали патент US 3496624 «Castings», що передбачав застосування **гарячого ізостатичного пресування** (ГІП, Hot Isostatic Pressing) для мінімізації пористості виливок з алюмінієвих сплавів при одночасному підвищенні їх експлуатаційних характеристик. Позитивний ефект досягається в результаті дії тиску інертного газу при температурі, нижчій від температури плавлення сплаву, на його структуру шляхом пластичної деформації. Вказана технологія використовується для обробки відповідальних виливок з алюмінієвих, нікелевих і титанових сплавів.

Застосування ГІП в США регламентується стандартами ASTM A1080 – 15 Standard Practice for Hot Isostatic Pressing of Steel, Stainless Steel, and Related Alloy Castings і ASTM B998 – 17 Standard Guide for Hot Isostatic Pressing (HIP) of Aluminum Alloy Castings [210].



Прес Quintus для ГІП від компанії Avure Technologies, м. Кент, США. Забезпечує тиск 103МПа при максимальній температурі 1260 °С. Внутрішній діаметр печі 1,7м, висота 2,5 м [211]

1970-і роки. – В Інституті проблем лиття АН УРСР (ФТІМС НАНУ) розроблялась технологія рафінуючого **переплаву чорного урану**, який було виготовлено методом кальцієтермічного відновлення. На першому етапі було розроблено вогнетривкий матеріал для тигля, що являв собою плавлений оксид кальцію, стабілізований хромом. В подальшому конструкторським відділом СКБ ПЛ АН УРСР під керівництвом Віктора Григоровича **Шмігідіна** була спроектована, виготовлена і встановлена на підприємстві в м. Глазові (в наш час Удмуртська республіка, Росія) спеціальна індукційна піч ємністю 1т з випуском розплаву через дно. Випробування показали позитивні результати рафінування урану від шлаків і домішок [110].

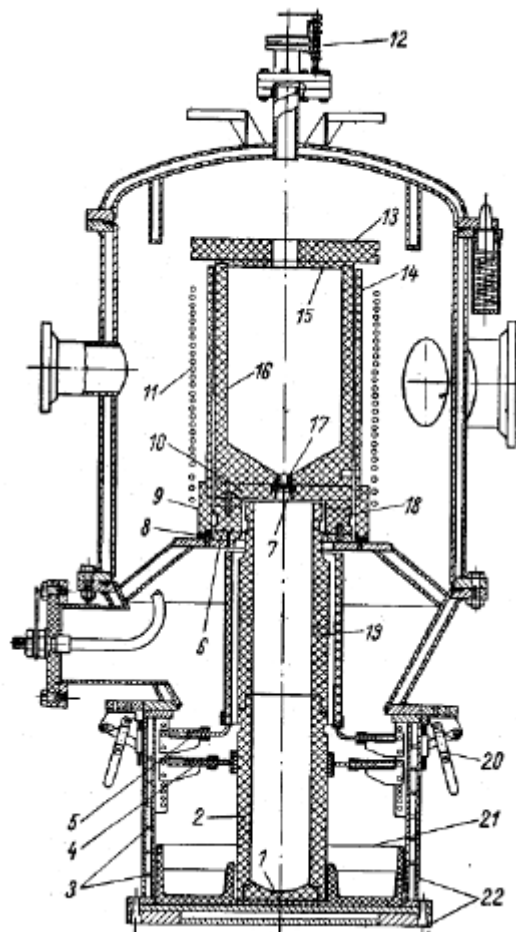
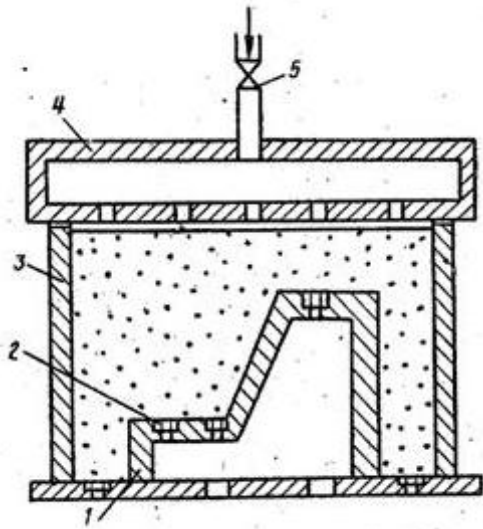


Схема вакуумної індукційної печі для плавлення урану [193]

1970-і роки. – **В'ячеслав Мойсейович Грузман**, канд. техн. наук, Уральський політехнічний інститут (в наш час УДТУ-УПІ), м. Свердловськ (в наш час м. Єкатеринбург) проводить перші в Радянському Союзі системні науково-дослідні роботи стосовно розробки екологічно-чистої технології **виробництва виливок в заморожені піщано-глинисті форми**. За цими результатами розробник та його співавтори отримали низку авторських свідоцтв СРСР, серед яких № 428843 «Способ изготовления литейных форм замораживанием» (опубл. 1974р.), № 500873 «Опка для изготовления литейных замороженных форм» (опубл. 1976р.), № 718215 «Способ изготовления замороженных форм» (опубл. 1980р.) та інші. В 1993р. В. М. Грузман захистив докторську дисертаційну роботу «Теория и технология литья в замороженные формы». Дослідник сформулював реологічну модель заморожених ливарних форм при використанні льоду в якості в'язучого, математичну модель теплової взаємодії модельної оснастки з стінкою замороженої форми та інше. Виходячи з теоретичних і експериментальних досліджень були розроблені склади формувальних сумішей, конструкції ливникових систем тощо. Результати досліджень були проваджені у виробництво на більш ніж 20 підприємствах Радянського Союзу, а також в Болгарії, Чехословачії та Німецькій Демократичній Республіці. На Уралвагонзаводі (м. Нижній Тагіл, Свердловська обл.) було введено в експлуатацію першу дільницю крупносерійного виробництва виливок в заморожених формах [217-219].



Малюнок до а.с. СРСР № 1014627 «Способ замораживания литейных форм», В. М. Грузман, В. Я. Иконников, опубл. 1983р. пріорітет від 1981р.



В'ячеслав Мойсейович Грузман. Фото - <http://энциклопедия-урала.рф>

1971р. – Було введено до дії **перший в Радянському Союзі** ливарний цех по виробництву сталевих виливок **методом лиття по моделям, що газифікуються**, в Прилукському виробничому об'єднанні протипожежного обладнання (с.м.т. Ладан, Прилукський р-н, Чернігівська обл., Україна – тепер ТОВ «Завод «ПОЖСПЕЦМАШ»). Проект цеху потужністю 200 т виливок на рік та технологічного обладнання було розроблено співробітниками Всесоюзного проектно-конструкторського інституту будувельно-шляхового машинобудування - ВПКТІ будшляхмаш (в подальшому НВО «КАМЕТ», м. Київ, Україна) [78, 83].

1971р. – Співробітники НДІ спеціальних способів лиття (НДІ ССЛ), м. Одеса, Радянський Союз, Україна, розробили промислову **технологію лиття в облицьовані металеві кокелі**. Перша вітчизняна автоматична лінія лиття в облицьовані кокелі, створена колективом НДІ ССЛ, впроваджена в 1971р. на харківському заводі «Серп і молот» для виробництва з чавуна з кульовидним графітом колінчатих валів для тракторного двигуна СМД-14. Творці вказаної технології та обладнання, а саме, **Серіков Іван Олександрович**, директор, **Пучканьов Анатолій Михайлович**, головний металург, **Семенов Василь Антонович**, наладчик, **Потейко Анатолій Дмитрович**, колишній головний інженер, **Дудкін Василь Васильович**, колишній слюсар-монтажник, працівники Харківського моторобудівного заводу «Серп і молот»; **Рабинович Бенедикт Веньяминович**, професор Московського автомеханічного інституту; **Снежной Ростислав Лук'янович**, директор, **Нетес Леонід Якович**, завідувач лабораторією, **Юрченко Олександр Пилипович**, провідний конструктор, **Теплинський Анатолій Давидович**, головний конструктор проекту, **Шевченко Альберт Федорович**, завідувач групою, працівники НДІ спеціальні способи лиття, були удостоєні звання лауреатів Державної премії СРСР за 1976р. В подальшому співробітники НДІ ССЛ на варіанти конструкції лінії лиття в облицьовані кокелі отримали кілька авторських свідоцтв СРСР і патент США [62].

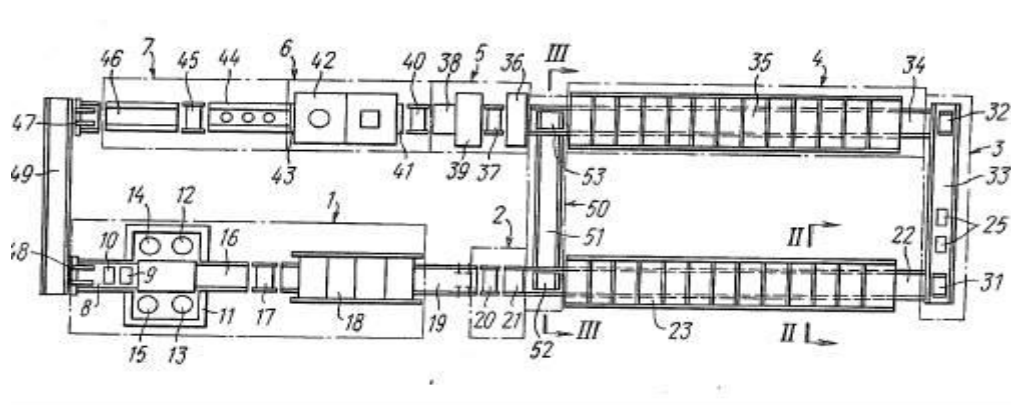


Схема до патенту США US4186793 «Automatic line for coated metal mould casting» від 05.02.1980р., який отримали співробітники НДІ спеціальних способів лиття.

1971р. - Девід Спенсер (David B. Spencer), докторант Massachusetts Institute of Technology, США, проводить експерименти що призводить до створення **технології напівтвердого формування виливків** (semi-solid forming/metallurgy, CSM). Тобто такому ливарного процесу, в якому частково закристиалізований металевий розплав, що має температуру між солідусом і ліквідусом, подається в порожнину прес-форми. При цьому формуються два напрямки реалізації технології: **ріолиття** (Rheocasting) та **тиксолиття** (Thixocasting). Особливістю технології являється перехід від традиційної дендритної до недендритної структури металевих сплавів. Комерціалізація процесу проводиться науковцями на чолі з професором **Мертом Флемінгом** (Merton C. Flemings) в компанії Newton Diecasting Company, м. Нью-Гейвен (New Haven), штат Коннектикут, США, що виробляє перші напівтверді виливків [1, 2, 124].



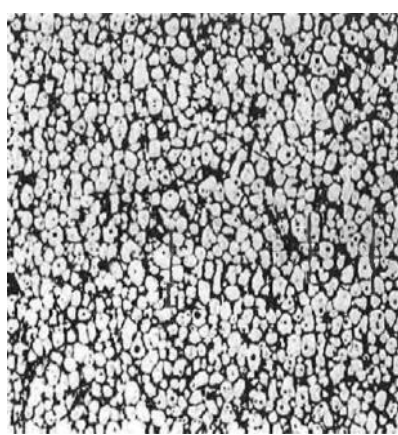
Девід Спенсер. Фото від <https://www.thebedfordcitizen.org>



Мерт Флемінгс. Фото від <https://dmse.mit.edu/people/merton-c-flemings>



Дендритна структура литого Al-Si сплаву [127]



Глобулярна структура тиксолитого Al-Si сплаву [127]



Тиксолитий автомобільний блок циліндрів [127]

1972р. - Професор Уельського університету **Альфред Р. Зінгер** (Alfred Richard Eric Singer, 1918-2010), м. Суонсі (Swansea), Уельс, отримав патент US 3670400 «Process and Apparatus for Fabricating a not Worked Metal Layer from Atomized Metal Particles» з пріорітетом від 9 травня 1969р., на технологію яка отримала назву **формування розпилюванням або спреїне лиття** (Spray Forming, Spray Casting, Ospray™). Технологія передбачала розпилення рідкого металу на тверду підкладку з наступною обробкою тиском в нагрітому стані. В результаті отримували дрібнозернисту структуру кольорових сплавів та сталей з високими властивостями.



Альфред Р. Зінгер. Фото від сайту <https://funeral-notices.co.uk>

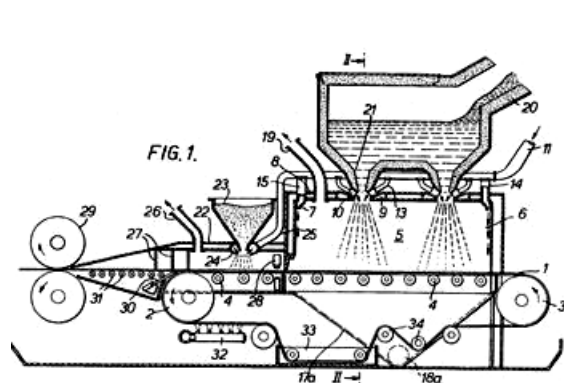


Схема до патенту US 3670400

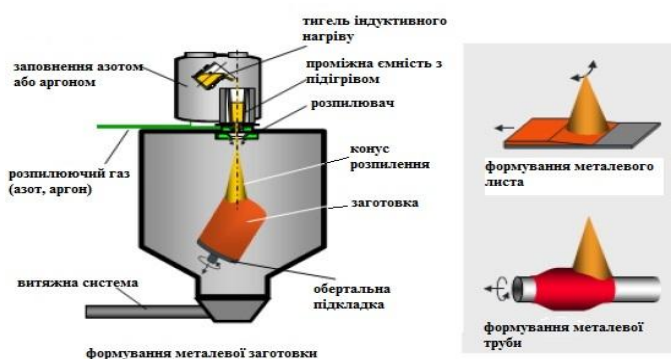
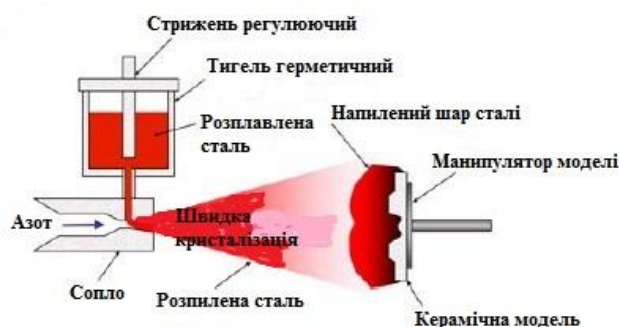


Схема варіантів технології Spray Forming при виготовленні металевих заготовки, листа і труби [202]



Принципова схема процесу виготовлення сталевий вставки за технологією Spray Forming [202]



Вставка пластикой взугтевої форми, що виготовлена за технологією Sray Forming з сталі P20 (Fe-C-Cr-Mn-Mo) [202]

1972р. – Японська компанія Sintokogio Ltd. (в наш час Sinto Group, Nagoya) розробила технологію **вакуумно-плівкового формування, ВПФ (V-process або V-process molding system)** по постійним ливарним моделям з використанням в якості наповнювача сухого піску без зв'язуючого. Для герметизації опок було запропоновано застосовувати полімерну термопластичну плівку. Технологія вакуумно-плівкового формування (ВПФ) була оприлюднена компанією Sintokogio на виставці «GIFA-74» (Дюсельдорф) і викликала велику зацікавленість у фахівців. Як свідчить патент US 3887321 «Vacuum sealed Molding Apparatus» від 1975р. (пріорітет Японії від 1972р.), авторами розробки були **Itsuo Hijikata**, **Masayoshi Kasazaki** та **Hideto Terada** (Sintokorio Ltd.). З 1975р. в Центральному науково-дослідному інституті матеріалів (ЦНДІМ, м. Ленінград, СРСР/м. Санкт-Петербург, Росія) розпочались дослідження нової технології та проектування обладнання для ВПФ. В 1981р. Радянський Союз купив у компанії Sintokogio Ltd. ліцензію на вказану технологію та

виробничу лінію для виготовлення сталевих виливок. Остання була введена в експлуатацію в 1983р. на **Луганському верстатобудівному заводі** (Україна) і мала продуктивність 20 форм на годину та габарити опок 1500x1500x400 мм. Одночасно на заводі було створено філіал ЦНДІМ і, крім того, роботи по ВПФ розпочались в ЦНДІ «Прометей» і ВПТІ ливарного виробництва (м. Ленінград) та Всесоюзному проектно-конструкторському технологічному інституті «Буддормаш» і Інституті проблем литва АН України (обидва м. Київ). За інформацією Sinto Group технологію ВПФ застосовують більш ніж на 200 ливарних лініях в 20 країнах [1, 2, 121 – 123].

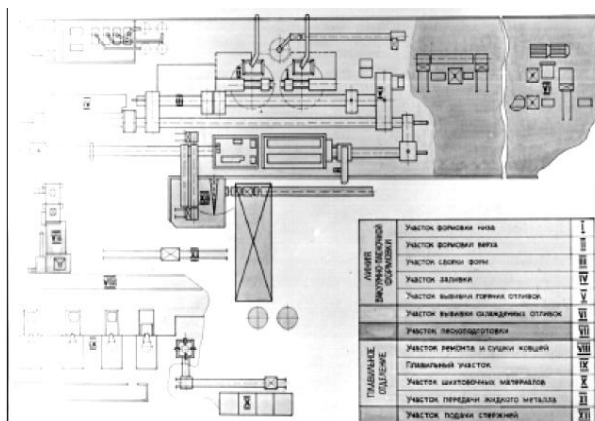
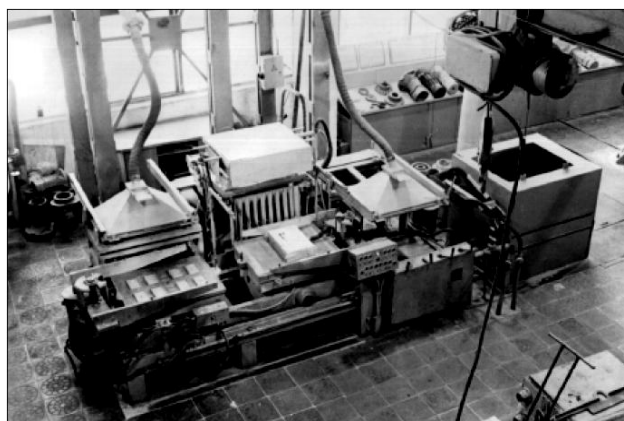


Схема цеху ВПФ на Луганському верстатобудівному заводі [121]



Дослідна дільниця цеху ВПФ на Луганському верстатобудівному заводі [121]

1972р. – Перше комерційне виробництво вилки, **колінчатого валу** для компресора холодильника, з **аустеніто-бейнітного чавуну з кульковим графітом** (Austempered ductile iron, ADI) реалізовано компанією Wagner Castings Company, м. Декейтер (Decatur), штат Іллінойс, США, для Tecumseh Products Company, м. Енн-Арбор (Ann Arbor), штат Мічиган, США [1, 2].

1972р. – Canadian Centre for Minerals and Energy Technology (CANMET), м. Гамільтон (Hamilton), провінція Онтаріо, Канада, використовує **рентгенографію** в режимі реального часу (real-time radiography, RTR) для дослідження процесу заповнення сталлю ливарної форми [1, 2].

1972р. – Компанія Hitchiner Manufacturing, Мілфорд (Milford), штат Нью-Гемпшир, США, запатентувала спосіб виготовлення виливок **вакуумним всмоктуванням** (counter-gravity casting process, CLA) стосовно лиття за моделями, що виплавляються. Автори винаходу, **Джордж Чендлі** (George D. Chandley) і **Джон Ламб** (John N. Lamb), отримали патент US 3863706 на «Metal Casting» у 1975р. з пріоритетом від 1972р. Цей варіант технології, що маркується як **CLA (1972)**, став першим в лінійці подальших комерційних розробок компанії в сегменті технологій та обладнання для точного лиття за моделями, що виплавляються, а саме CLV (1975), CLAS (1982), LSVAC (1990), SSCLA (1991), CLI (1991),

CLI-C3, SSCV (1994), CLIX (1994), SSCLA та SLIC (several layer investment casting). Технологія застосовується для виготовлення виливок з чорних та кольорових металів [1, 2, 128, 129].

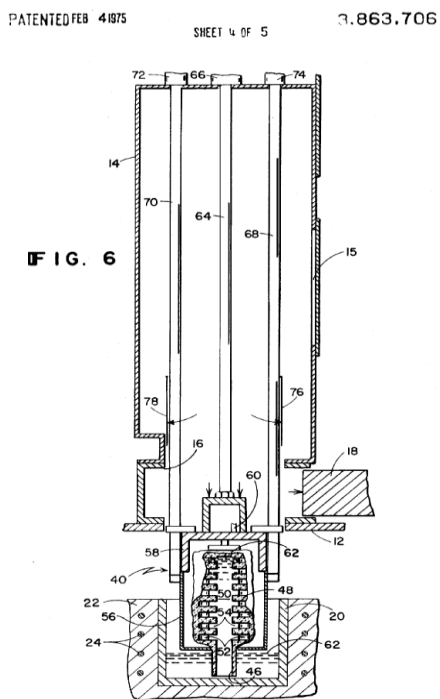


Схема до патенту US 3863706

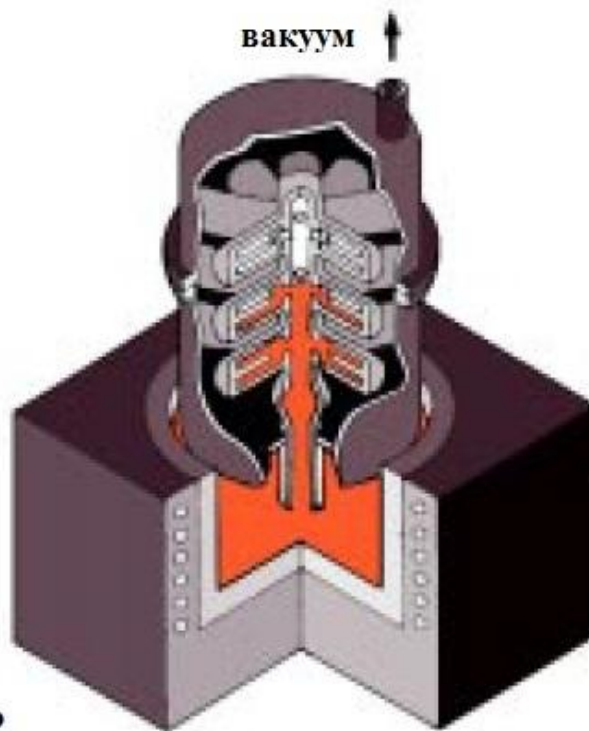
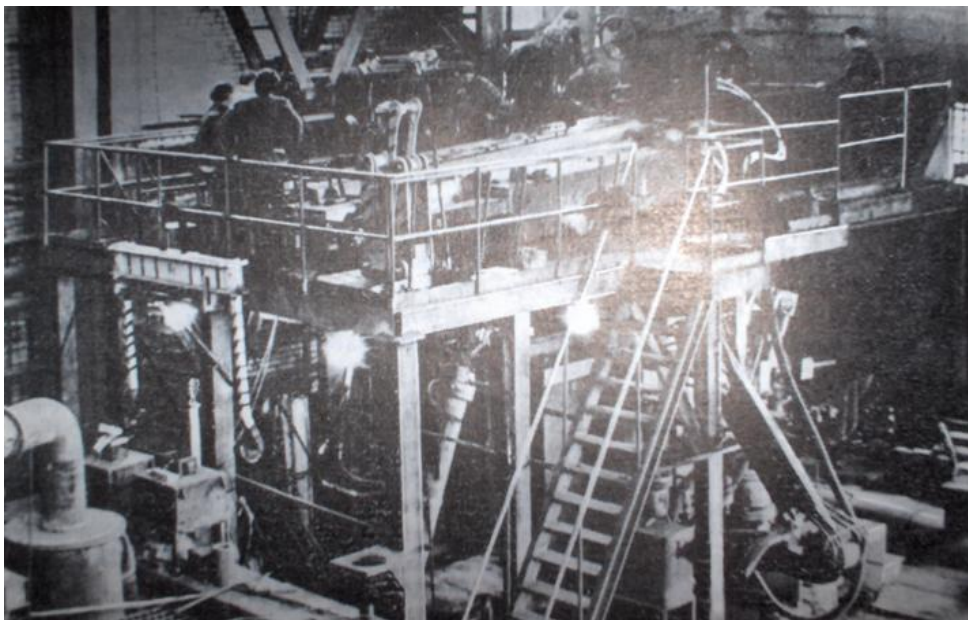


Схема заповнення ливарної форми, що вакуумується, розплавленим металом за CLV – процесом [128]

1972р. – Співробітниками Інституту проблем литва (ІПЛ АН УРСР), м. Київ, Всесоюзного науково-дослідного інституту металургійного машинобудування (ВНИИМЕТМАШ), м. Москва, Українського науково-дослідного інституту металів (УкрНИИМет), м. Харків і заводу «Дніпроспецсталь», м. Запоріжжя, була розроблена технологія та створено на базі п'ятитонного ливарного ковша дослідний зразок найбільшого в СНД агрегата АРД-5 для виготовлення під **низьким регульованим тиском в графітові рознімні виливниці** сталевих витратних електродів перерізом 200x200 мм і довжиною 5 м для електрошлакового переплаву. Отримані дослідні партії литих заготовок з сталей 45, X18H10T, ШХ-15, P18 мали високу чистоту поверхні та відповідали технічним умовам. В 1976р. Едуард Юрійович **Дубровин**, Інститут проблем литва АН УРСР (ІПЛ АН УРСР), захищає дисертаційну кандидатську роботу «Исследование и разработка технологического процесса и оборудования для получения расходуемых электродов ЭШП методом разливки стали под регулируемым давлением» [62, 110].

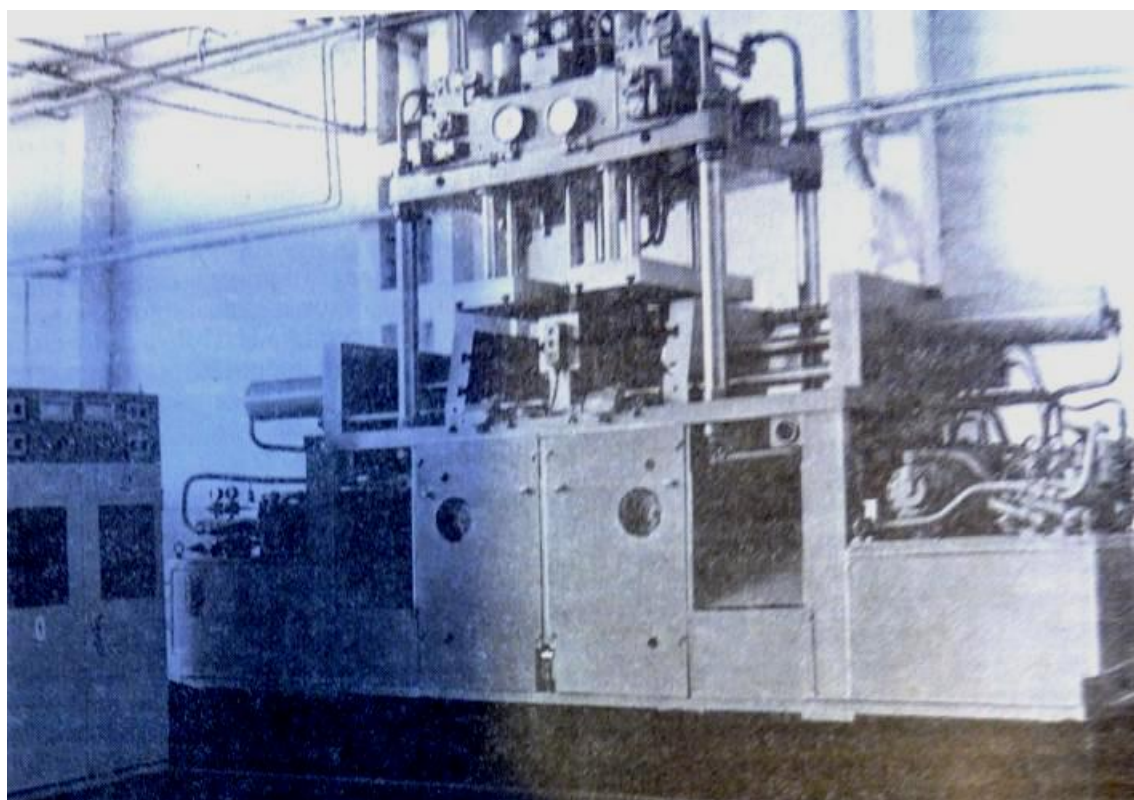


Агрегат АРД-5 для лиття під регульованим тиском сталевих витратних електродів [62]

1973р. – Створено об'єднаний творчий колектив з співробітників відділу нових методів лиття (завідувач канд. техн. наук **Г. П. Борисов**, 1930 - 2018) Інституту проблем лиття АН УРСР (тепер ФТІМС НАНУ, м. Київ, Українська РСР) і Спеціального конструкторського бюро Тираспольського заводу ливарних машин ім. С. М. Кірова (тепер ОАО «Литмаш», г. Тирасполь) для організації серійного виробництва **машин лиття під низьким регульованим тиском**. Вже в 1974р. було виготовлено базовий зразок агрегатованої ливарної установки АЛУ-1. Остання забезпечувала заливання ливарних форм під низьким регульованим тиском з наступним відсіченням і допресовкою металу вилівки під високим поршневым або газовим тиском. В 1983р. Г. П. Борисов захистив докторську дисертаційну роботу на тему «Разработка и внедрение технологии и оборудования для изготовления отливок из алюминиевых сплавов под регулируемым давлением» [62, 110].



Георгій Павлович Борисов [321]

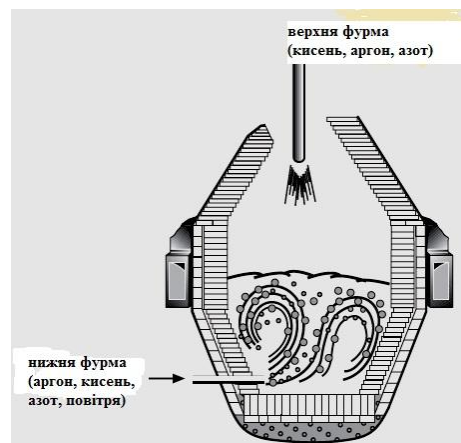


Універсальна машина для лиття під низьким регульованим тиском моделі АЛУ-1[62]

1973р. – Американська компанія ESCO Corporation, м. Портленд (Portland), штат Орегон, стала першим в світі сталеливарним заводом, що застосувала в конвертері **аргоно-кисневу продувку** (argon oxygen decarburization, AOD-process) для виплавки нержавіючих маловуглецевих хромомістких сталей.



Вільям Кривський [130]



Принципова схема AOD – процесу [131]

Принципи AOD – процесу було розроблено в 1954р. **Вільямом А. Кривським** (William Anthony Krivsky, 1927-2006) в Metals Research Laboratory Union Carbide Corporation, м. Ніагара-Фоллс (Niagara Falls), штат Нью-Йорк. В 1966р. винахідник і компанія Union Carbide Corporation отримали патент US 3252790 «Preparation of Metals and Alloys» з пріоритетом від 1960р. Після побудови 15-тонного конвертера з трьома фурмами для реалізації AOD – процесу, в жовтні 1967р. відбувся його успішний «гарячий» пуск [1, 2, 86, 130-132].

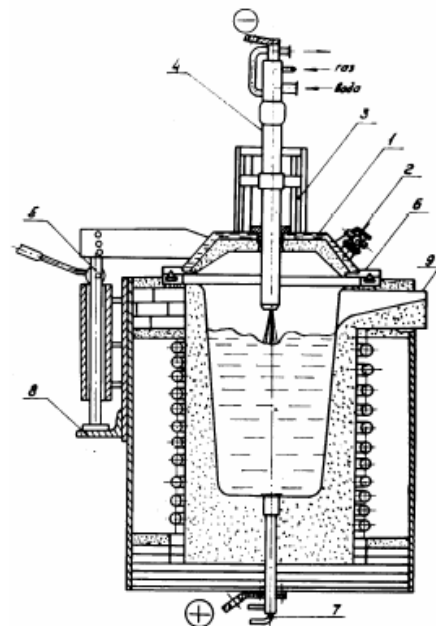
1973р. – З космодрому на мисі Канаверал, Флорида, була виведена на навколосезну орбіту перша американська орбітальна станція Salyut масою 77т. Серед наукового обладнання станції знаходилась багатоцільова електронно-променева піч для плавки металів. В процесі реалізації програми експериментів астронавтами було простежено вплив мікрогравітації на кристалізацію алюмінієвого сплаву з 33% міді. Досліджувалась поведінка металів, що не змішуються (системи Au - Ge, Pb – Zn – Sb, Pb – Sn - In), а також можливість одержання металів з аморфною структурою [18].



Екіпаж експедиції «Скайлеб-2» Зліва направо: Кервін, Конрад і Уайтц [18]

1974р. – Компанія Fiat, Італія, запроваджує **процес внутрішньоформового модифікування** для виробництва виливок з чавуну з кулястим графітом (in-mould process) [1, 2].

1974р. – Вперше на базі промислової печі ІСТ - 016 (ІСТ - 016) співробітниками Інституту проблем литва АН УРСР (ФТІМС НАНУ), м. Київ, Українська РСР була створена **плазмово-індукційна плавильна установка**, оснащена плазмовою приставкою потужністю 50 кВт. Обладнання було впроваджено на Челябінському тракторному заводі для виготовлення турбоколів із жароміцної сталі для трактора Т-150. Певними науковими підсумком робіт з плазмової плавки стали захист докторських дисертацій Володимиром Миколайовичем **Костяковим** (ІПЛ АН УРСР) «Исследование закономерностей плазменного нагрева в электропечах и разработка промышленных способов выплавки литейных сплавов» (1991), Іваном Васильовичем **Шейко** «Нові технології та обладнання для індукційної плавки металів і сплавів» (2003) і Анатолієм Васильовичем **Нарівським** (ФТІМС НАНУ) «Научные и технологические основы процессов глубинной обработки цветных литейных сплавов плазмореагентными средами» (2006). В 1986р. колектив науковців ІПЛ АН УРСР отримав авторське свідоцтво СРСР № 586776 з пріоритетом від 1976р. на винахід «Плазменно-индукционная печь для плавки металлов и сплавов» [62, 110].



Принципова схема плазмово-індукційної установки ІСТП-016 від ФТІМС НАНУ [308]

1975р. – Співробітники Інституту проблем литва АН УРСР (м. Київ, Українська РСР) в співдружності з Центральним науково-дослідним технологічним інститутом (тепер ВАТ «Центральний науково-дослідний технологічний інститут «Техномаш», м. Москва, РФ) створили та впровадили у виробництво на Київському заводі «Комуніст» (тепер ПАО «Київський завод «Радар») принципово нову **чотирьохпозиційну автоматизовану карусельну установку УНДКФ – 1**. Тим самим була реалізована технологія лиття під низьким регульованим тиском тонкостінних виливок з алюмінієвих сплавів в холодні керамічні форми, що виготовлені за витоплюваними моделями.

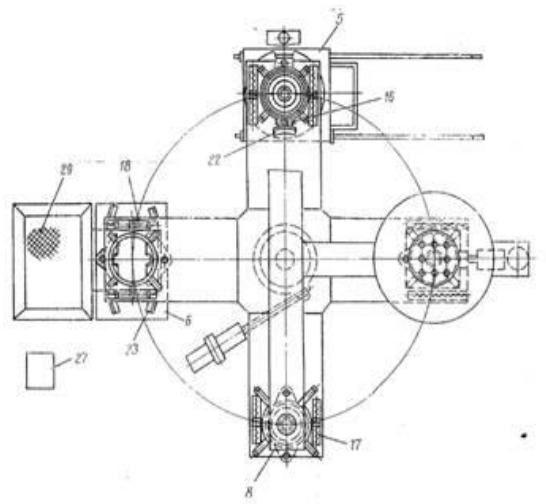


Схема установки в плані відповідно до авторського свідоцтва СРСР №473560 «Установка для изготовления отливок в холодных керамических формах», заявл. 1971р., опубл. 1975р.

За результатами виконаної роботи кандидатські дисертаційні роботи захистили науковці ІПЛ АН УРСР **Котлярський Франко Мар'янович** «Исследование процесса формирования отливок из алюминиевокремниевых сплавов в зависимости от условий питания» (1975), **Лічак Олександр Іванович** «Исследование и разработка системы автоматического управления заполнением форм при литье под регулируемым давлением» (1976) та **Марченко Володимир Юхимович** «Исследование процессов структурообразования и разработка способов регулирования свойств суспензий и оболочек для литья по выплавляемым моделям алюминиевых сплавов» (1975) [62, 110].

1975р. – На Київському заводі ім. І. Лепсе (ВО «Київтрактородеталь»), Українська РСР, було впроваджено автоматизацію заливання чавуну з одночасним його підгрівом **магнітодинамічною установкою МДН-6** при виготовленні гільз тракторних двигунів на відцентровій машині. Магнітодинамічні насоси (установки) були розроблені співробітниками відділу магнітної гідродинаміки Інституту проблем литва АН УРСР. Співробітниками цього відділу, **Цин** Марк Рахмільович та **Поліщук** Віталій Петрович, отримали в 1961р. авторське свідоцтво СРСР № 136176 «Способ перекачивания нетокопроводящих расплавов» з пріорітетом від 1960р., а в 1962р. **Поліщук** Віталій Петрович - авторське свідоцтво СРСР № 147741 «Устройство для заливки жидкого металла в камеру машины для литья под давлением» з пріорітетом від 1961р. Останній винахід був практично реалізований в 1961р. В 1962р. **Поліщук** В. П. захистив кандидатську дисертаційну роботу «Исследование процесса заливки металла в литейную форму под воздействием магнитного поля», а в 1979р. – роботу на здобуття вченого ступеня доктора техн. наук «Исследование процесса обработки и заливки сплавов магнитодинамическими насосами». **Цин** М. Р. у 1968р. захистив наукову роботу на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук «Исследование процесса транспортирования и заливки жидкого металла в литейных цехах с использованием электромагнитных насосов магнитодинамического типа». В результаті вченими ПЛЛ АН УРСР були створені промислові магнітодинамічні насоси (серія МДН-4) та установки (серія МДН-6). В 1979р. за роботу «**Розробка та промислове освоєння принципово нових магнітодинамічних насосів-дозаторів для автоматичної заливки чавуну в ливарні форми**» колектив науковців та виробничників, а саме, науковці ПЛЛ АН УРСР **Погорський** В. К. (1938), завідуючий групою, **Поліщук** В. П. (1931-1996), завідуючий відділом, **Цин** М. Р. (1934), ст. наук. співробітник та працівники заводу ім. Лепсе ВО «Київтрактородеталь» **Галушка** В. Г. (1935), ливарник, **Кулик** В. В. (1946), інженер-конструктор, **Голубчик** Г. К. (1927-1986), заступник головного металурга, **Загоровський** П. І. (1932), заступник головного інженера, **Злобін** В. П. (1929-1991), генеральний директор, було присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки. В 1978р. **Погорський** В. К. захистив кандидатську дисертаційну роботу «Исследование и разработка процесса заливки чугуна магнитодинамическими насосами» [62, 107, 108 (фото)].



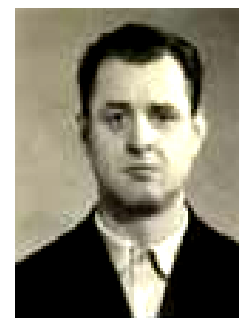
**Віктор
Костянтинівч
Погорський**



**Віталій Петрович
Поліщук**



**Марк
Рахмільович Цин**



**Василь Герасимович
Галушка**



**Владислав
Володимирович
Кулик**



**Георгій Ксенофонтович
Голубчик**

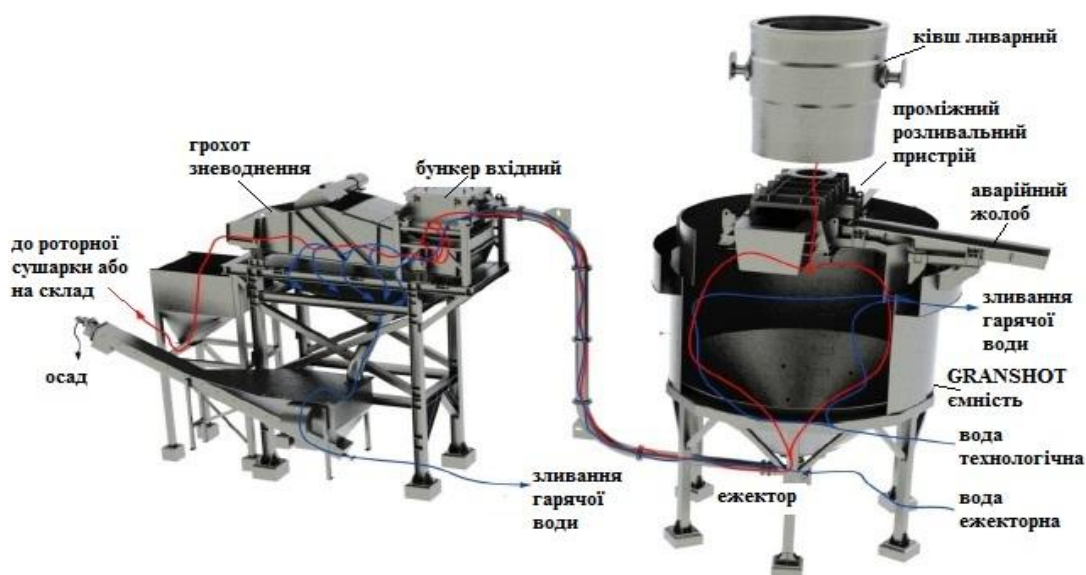


**Павло Іванович
Загоровський**



**Валерій Пилипович
Злобін**

1975р. - Нілс Дж. Клінт (Nils J. Klint), Uddeholms Aktiebolag, м. Хагфорс (Hagfors), Швеція отримав патент US 3888956 «Method of making Granulate» з пріоритетом від 1968р. Спосіб передбачав **отримання грануляту з сталі або ферросплавів** шляхом дроблення рідкого металу нерухоною термостійкою пластиною з подальшим охолодженням грануляту водою. За станом на 2001р. компанія Uddeholm Technology, Швеція поставила на світовий ринок та змонтувала більш ніж 30 **установок Granshot** для виробництва грануляту з чавуну, сталі та ферросплавів. Перевагами вказаної технології є зменшення витрат на підготовку плавок та енергоспоживання, стабільна якість металевого грануляту і підвищення якості виливок [221, 222].

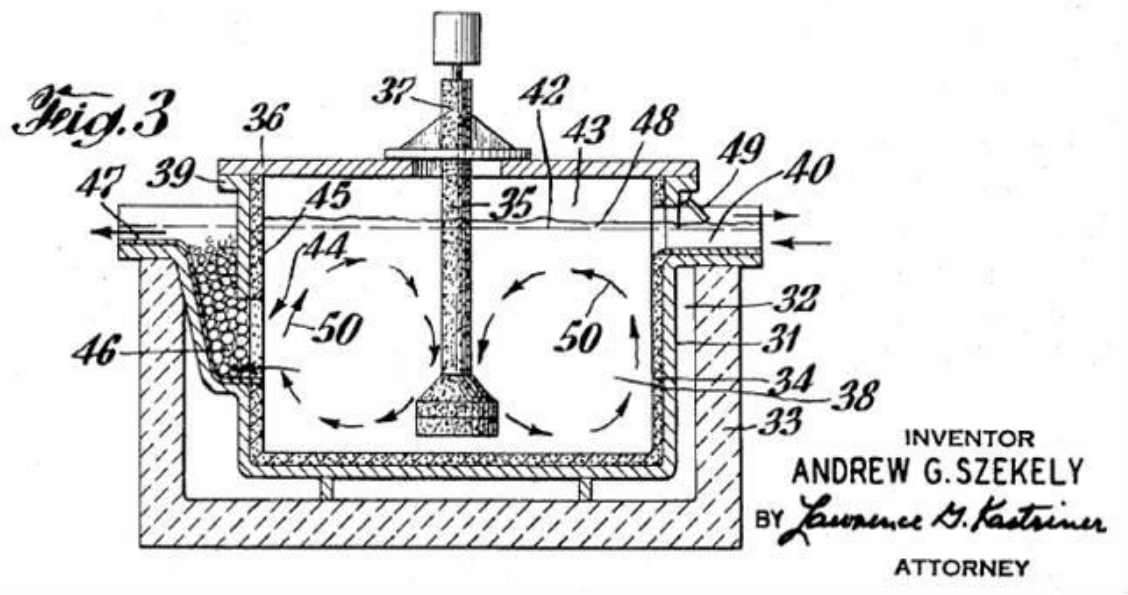


Комплекс обладнання Granshot [222]

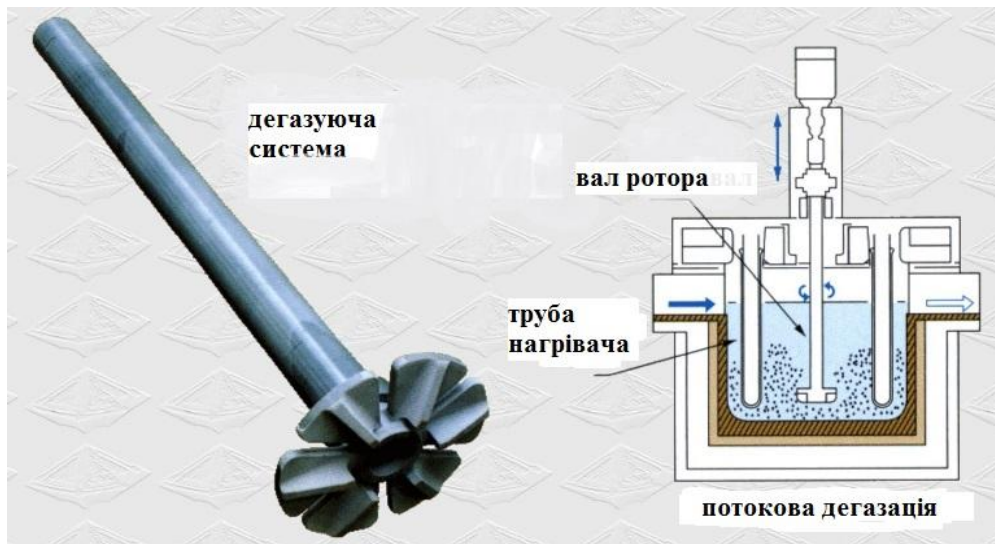


Гранулят феррохрому виготовлений за технологією Granshot [222]

Середина 1970-х – Американські компанії Union Carbide, м. Х'юстон (Houston), штат Техас, і Alcoa, м. Піттсбург (Pittsburgh), штат Пенсильванія, почали застосовувати **роторну дегазацію** розплаву деформованого алюмінію. Винахідник **Ендрю Геза Секели** (Andrew Geza Szekely), Union Carbide Corporation, США отримав у 1973р. патент US 3743263 «Apparatus for refining molten aluminum» з пріоритетом від 27 грудня 1971р. Компанія Reading Foundry Products, м. Редінг (Reading), штат Пенсильванія, буде застосовувати цю технологію для алюмінієвих ливарних сплавів в середині 1980-х років [1, 2].



Малюнок до патенту US 3743263



Принципова схема роторної дегазації розплаву в потоці [134]



Комерційна установка роторної дегазації металевих розплавів [134]

1976р. – **Костянтин Ілліч Ващенко** (1900 - 1992), **Вячеслав Олександрович Косячков** (1946 - 2017), Київський політехнічний інститут та **Петро Петрович Лузан** (1924 - 2009), Виробниче об'єднання полімерного машинобудування «Більшовик» (м. Київ, Українська РСР), подали заявку на винахід способу модифікування чавуну. Фактично винахід передбачав удосконалення технології виготовлення виливок з чавуну з кулястим графітом при **внутрішньоформовому модифікуванні (in-mold process)** шляхом створення в реакційній камері ливникової системи багат шарового модифікатора з диференційними властивостями. Тим самим забезпечувалась рівномірна сфероїдизація графіту по об'єму чавунної виливки. У 1978р. автори отримали авторське свідоцтво СРСР № 603667 «Способ модифицирования чугуна», а В. О. Косячков захистив дисертаційну роботу на тему «Сфероидизирующее модифицирование чугуна в литейной форме». Потрібно відмітити, що це була піонерська розробка в ливарному виробництві Радянського Союзу.



Костянтин Ілліч Ващенко. Фото від сайту кафедри ливарного виробництва НТУУ «КПІ» - <http://foundry.kpi.ua>



Вячеслав Олександрович Косячков. Фото від сайту кафедри ливарного виробництва НТУУ «КПІ» - <http://foundry.kpi.ua>



Петро Петрович Лузан. Фото надано журналом «Процессы литья»

1976р. – Компанії Foote Mineral Corporation, м. Екстон (Exton), штат Пенсильванія, США. і British Cast Iron Research Association, BCIRA, м. Бірмінгем (Birmingham), Велика Британія, розробили технологію виробництва **чавуна з компактною формою графіту** (compacted graphite iron, CGI). На цю розробку BCIRA отримала патент US4036641 «Cast iron» від 1977р. та з пріоритетом від 1976р. за авторством **Едварда Еванса** (Edward Raymond Evans) і **Джона Доусона** (John Victor Dawson). Спосіб передбачав для отримання компактної форми графіту присадку до чавуну сплаву, що містить 30...80% кремнію, 3...15% магнію, 3...25% титану, 0,05...1,0% церію, решта - залізо [1, 2, 135].



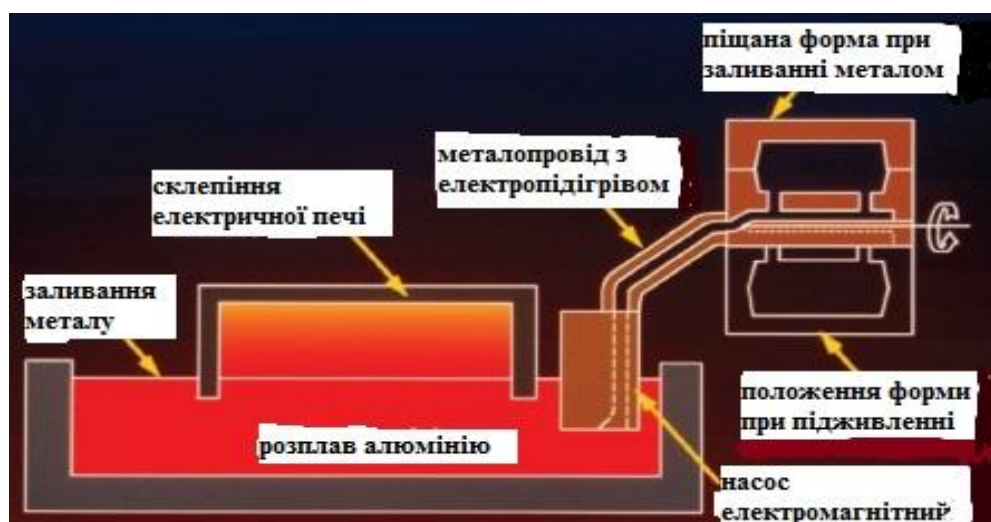
Едвард Еванс [135]

1977р. - General Motors, м. Детройт, США, застосовує **аустеніто-бейнітний чавун з кульковим графітом** (Austempered ductile iron, ADI) для виготовлення заднього диференціалу в легкових автомобілях [1, 2].

1978р. – Д-р **Джон Кемпбелл** (Dr. John Campbell, 1938) розробив для компанії Cosworth Engineering Ltd., м. Вустер (Worcester), Англія, технологію виготовлення виливок відповідального призначення з алюмінієвих сплавів, що отримала назву **Cosworth-process**. Для зменшення турбулентності розплаву в процесі заповнення ливарної форми застосовується електромагнітний насос, що підтримує тиск в ливниковій системі до кристалізації виливки. Ливарну форму виготовляють з горизонтальним рознімом з цирконового піску та використанням хімічного в'язучого. Технологія застосовується для виготовлення деталей двигунів гоночних авто (змагання «Формула-1»), а також в аерокосмічній та оборонній промисловості. Винахідник отримав патент Великої Британії №2187984 з пріоритетом від 1986р. [1, 2, 22, 145].



Джон Кемпбелл. Фото від сайту <https://www.elsevier.com/books>



Принципова схема Cosworth - процесу [144]

1979р. – Згідно проекту Центрального науково-дослідного інституту конструкційних матеріалів «Прометей», Ленінград, Радянський Союз була виготовлена і введена до дії на Зеленодольському суднобудівному заводі, Татарстан **унікальна двотигельна вакуумна піч «Нева-5»** для **плавки титану** загальною місткістю до 3,5 т розплаву і потужністю 3200 кВт. Це дозволило виготовляти цільнолиті лопасті суднових гребних гвинтів масою 2,2 т з титанового сплаву ТЛЗ (Ti-4Al). Технологія лиття передбачала використання кокіля з чавуну СЧ 20 з нанесеним захисним покриттям робочих поверхонь. Проектна потужність цеху титанового литва становить 800 т/рік [207, 209].



Вакуумна плавильно-заливальна гарнісажна двотигельна піч «Нева-5» на Зеленодольському суднобудівному заводі, Росія [209]

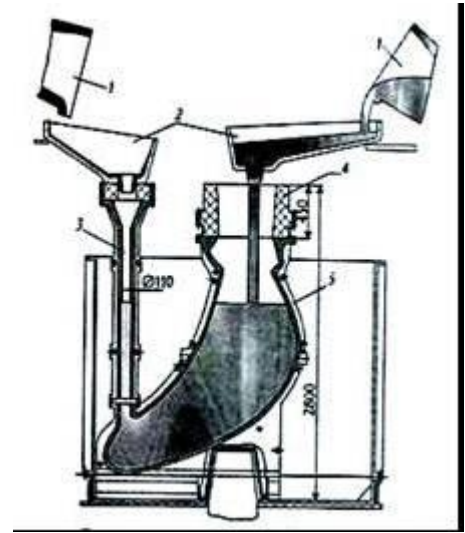
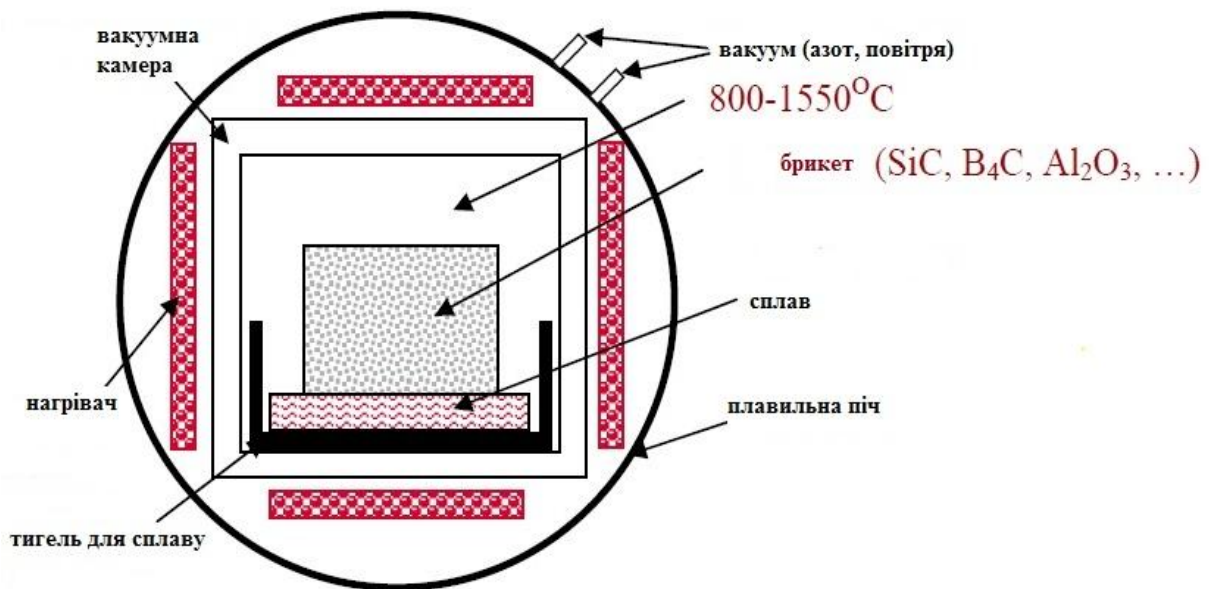


Схема заливання титановим сплавом ливарної форми гребного гвинта масою 2,2 т [207]

1979р. - **Фредерік Г. Холт** (Frederick H. Hoult), W. H. Booth & Co., Ltd., Шеффілд, Англія отримав патент US 4150704 «Method of Producing Sand Mounds having a frozen Surface» з пріоритетом від 1975р. Технологія передбачає виготовлення виливків з чавуну та бронзи в заморожену піщану форму і в подальшому отримала назву **Effset-process** або **EFF-SET – process** [220].

1980-1983рр. – Співробітники асоціації SCRATA (Steel Castings Research and Trade Association), Велика Британія, розробили та запатентували два варіанти технології виробництва виливків по моделям, що газифікуюються: **Replicast full mould (Replicast - FM)** і **Replicast ceramic shell (Replicast - CS)**. По технології **Replicast – FM** зібраний модельний пінополістироловий блок формується із застосуванням вібрації в вакуумний контейнер з сухим піском та заливається розплавленим металом. При цьому можна отримувати виливки масою до 2 т. На вказаний варіант технології **Майкл Ештон** (Michael C. Ashton), **Дерек Біш** (Derek A. Bish), **Стефан Шарман** (Stephan G. Sharman), SCRATA, отримали в 1982р. патент EP 0052997 «Method of Casting using Expendable Patterns» з пріоритетом від 1980р. По технології **Replicast – CS** на модельний пінополістироловий блок наноситься керамічна оболонка з 4...5 шарів, яка на наступному етапі спікається і одночасно випалюється пінополістирол. В подальшому керамічна оболонка формується з вібрацією в вакуумний контейнер з сухим піском і заливається розплавленим металом. Така технологія дозволяє отримувати виливки з маловуглецевих марок сталі без науглецювання. На процес **Replicast – CS** у 1984р. було видано Європейський патент EP 0115402 **Майклу Ештону** (Michael C. Ashton), SCRATA, на винахід «Ceramic shell Moulds, Manufacture & Use» з пріоритетом від 1983р. Асоціація SCRATA передала всі права на ліцензій по Replicast-технологіям компанії Fosco International LTD, Велика Британія [78].

1980р. – Компанія Lanxide Corporation, м. Ньюарк (Newark), штат Делавер, США, розробляє технологію виробництва **литих металоматричних композитних матеріалів** (Metal Matrix Composite - MMC) з застосуванням інфільтрації Al-Mg сплаву при відсутності зовнішнього впливу, температурі від 750 до 1050 °C та в збагаченій азотом атмосфері (**PRIMEX - process**). [1, 2, 143].



Принципова схема PRIMEX – process [143]

1981р. - Компанія General Motors Massena, Нью-Йорк, США, починає застосовувати технологію лиття за моделями, що газифікуються (lost foam casting), для виробництва головок циліндрів з алюмінієвого сплаву [1, 2].

1981р. – В Інституті проблем литва АН УРСР (ФТІМС НАНУ) групою співробітників (**Володимир Миколайович Бабіч, Олександр Кіндратович Білецький, Іван Григорович Раздобарін** та інші) розпочата розробка технології виготовлення заготовок з сірого та високоміцного чавуну методом безперервного горизонтального лиття. На нові конструктивні рішення було отримано авторські свідоцтва СРСР, серед яких № 954157 (опубліковано 1982р.) «Кристаллизатор для горизонтальних установок непрерывного литья чугуна» і № 996071 (опубліковано 1983р.) «Способ непрерывного литья чугунных заготовок».



Лінія безперервного горизонтально лиття чавунних заготовок марки ЛНЛЧ-3 на Липецькому виробничому комплексі «Новолит» [<http://www.lpknovolit.ru>]

В результаті впроваджувальних робіт було освоєно виробництво більш ніж 100 видів литих заготовок для потреб машинобудування. На заводі «Центроліт», Каунас (в наш час Kauno ketaus leikla), в 1985р. було створено новий високоавтоматизований цех безперервного лиття заготовок. В 1985р. лауреатами Премії Ради Міністрів СРСР стала велика група виконавців, серед яких **В. М. Бабіч** (ІІЛ АН УРСР), за розробку технології, створення та впровадження у виробництво обладнання для виготовлення високоякісних чавунних заготовок деталей машин методом безперервного горизонтального лиття. Серед нагороджених були співробітники Липецького філіалу Всесоюзного проектно-технологічного інституту ливарного виробництва, Білоруського політехнічного інституту, Науково-дослідного інституту спеціальних способів лиття (м. Одеса), Могилевського відділення Фізико-технічного інституту АН БРСР, Науково-дослідного інституту технології машинобудування (м. Москва), Інституту металургії АН Грузинської РСР, Каунаського ливарного заводу «Центроліт», Липецького ливарного заводу «Центроліт» і Руставського заводу «Центроліт» [62, 110].

1983р. – В США розробляється технологія та обладнання для процесу **повітряно-імпульсної формовки** (Air impulse moulding process) при виготовленні ливарних піщано-глиняних форм [1, 2].

1984р. – На Київському заводі ім. І. Лепсе (ВО «Київтрактородеталь», м. Київ), Українська РСР, була встановлена перша в Радянському Союзі **роторна установка для відцентрового лиття** в розімні облицьовані металеві кокілі чавунних гільз для тракторних двигунів «Ротоліт». Установка оснащена дискретним пристроєм для заливання металу (магніто-динамічний насос, МДН) та транспортним пристроєм. Виготовлення установки було реалізовано на Тираспольському заводі ливарних машин (Молдова) при участі науковців Інституту проблем лиття АН УРСР (м. Київ). В 1987р. група науковців Інституту проблем лиття АН УРСР і Київського заводу ім. Лепсе (ВО «Київтрактородеталь») отримали авторське свідоцтво СРСР № 1012500 на винахід «Роторная линия для центробежного лиття гильз» з пріорітетом від 1981р.

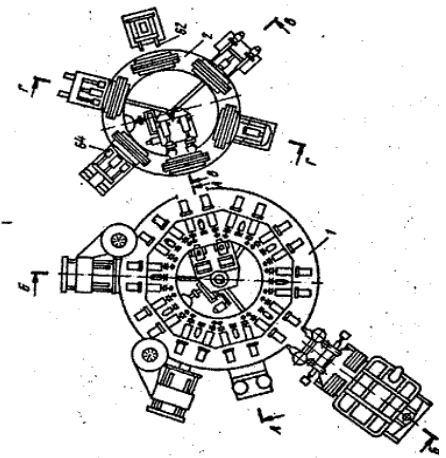


Схема до а. с. СРСР № 1012500

В 1997р. Державною премією України в галузі науки і техніки за роботу «**Створення і впровадження автоматизованого роторно-конвеєрного комплексу і ресурсозберігаючого, екологічно чистого технологічного процесу виготовлення відцентрових заготовок складного профілю в масовому виробництві**» були відзначені працівники ВО «Київтрактородеталь» **Яковчук В. Є.** (1927), головний металург, **Сівер М. В.** (1943), генеральний директор, **Злобін В. П.** (1929-1991), колишній генеральний директор, **Терехов В. В.** (1946), заступник начальника цеху, **Ваньчик І. Л.** (1937), заступник головного металурга; науковці ФТІМС НАН України (колишній ІПЛ АН УРСР), **Каричковський П. М.** (1944), завідувач сектором, **Горенко В. Г.** (1935), завідувач відділом, **Найдек В. Л.** (1937), директор; ТОВ фірма «Фарма Континенталь», **Казберч Л. А.** (1936), головний інженер [62, 108 (фото)].



Валерій
Євгенійович
Яковчук



Микола
Васильович
Сівер



Валерій
Пилипович
Злобін



Валерій
Васильович
Терехов



Ігор
Левкович
Ваньчик



Петро Микитович
Каричковський



Вадим Георгійович
Горенко



Володимир
Леонтійович
Найдек



Леонід Антонович
Казберч

1984р. – На лінії безперервного виготовлення ливарних заготовок (Каунаський ливарний завод «Центроліт», Литовська РСР) застосована технологія **модифікування порошковим дротом** для отримання високоміцного чавуну. Вказана технологія була розроблена фахівцями Інституту проблем литва та Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона АН УРСР і забезпечувала високу ступінь засвоєння магнію чавуном, автоматизацію та програмне регулювання технологічного процесу. В подальшому обладнання для реалізації технології модифікування чавуну двома незалежними порошковими дротами в проміжну дозуючу ємність була змонтована на ливарному конвейєрі заводу «Київтрактородеталь» (Українська РСР). Автори розробки, а саме, В. І. Григорчук, І. Г. Раздобарін, В. С. Шуміхін і В. Ф. Злобін, отримали в 1992р. авторське свідоцтво СРСР №1731823 «Установка непрерывного действия для получения отливок с заданными свойствами» [110, 194].

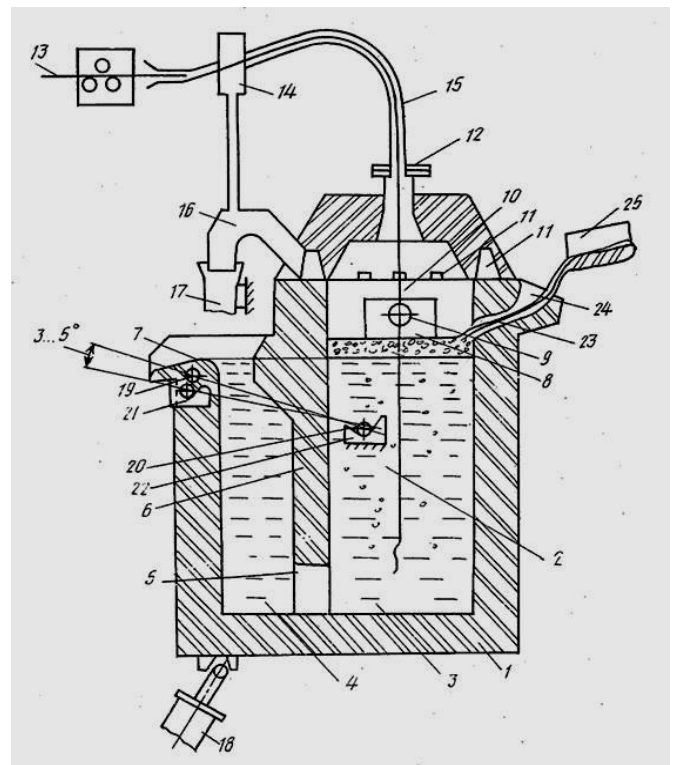


Схема установки безперервної дії для отримання сплавів з заданими властивостями згідно а. с. СРСР № 1731823.

1984р. - **Чарльз Халл** (Charles W. Hull, 1939) винаходить і в 1986р. отримує патент US 4575330 «Apparatus for Production of three-dimensional objects by stereolithography» на процес та обладнання для створення твердих об'ємних об'єктів шляхом **пошарового нанесення фотополімерного матеріалу з застосуванням лазера**. Винахідник назвав таку технологію **стереолітографією** (stereolithography), що в подальшому трансформувалась в 3D - printing.

В 1986р. для комерційного просування вказаної технології Чарльз Халл заснував в Каліфорнії (США) компанію 3D Systems Corporation. Згідно стандарту ASTM F2792-12а до лінійки варіантів стеріолітографії застосовується термін «Additive Manufacturing Technologies» або «Аддитивні технології» [1, 2, 22, 136].



Перший комерційний 3D – принтер SLA-1 компанії 3D Systems Corp., 1987 [136]

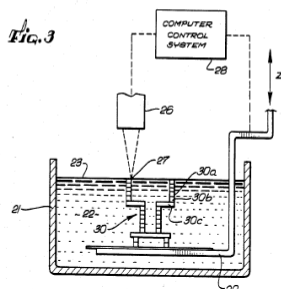
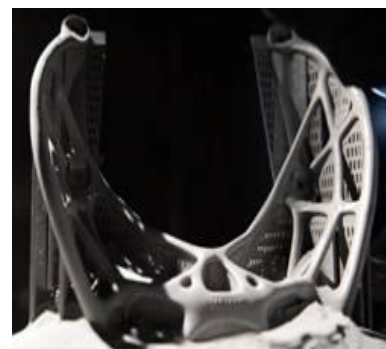


Схема до патенту US 4575330



Чарльз Хал. Фото від сайта <https://www.3dsystems.com>



Зразок продукції від Direct Metal Printing (DMP) компанії 3D Systems Corp., 2013 [136]

1985р. – Володимир Іванович Шаповалов і Володимир Юрійович Карпов, Дніпропетровський металургійний інститут (НМетАУ), Українська РСР, отримали Диплом на відкриття СРСР №313 «Явление образования подвижных водородонасыщенных зон при полиморфном превращении металлов: приоритет экспериментального обнаружения (10.02.80); приоритет теоретического объяснения (19.05.82)». Феномен зміни металевими зразками геометричної форми в результаті **термоциклювання в середовищі водню** автори назвали «**аномальна спонтанна деформація, АСД**». Наукові та практичні результати досліджень були викладені в дисертаціях на здобуття звання доктора технічних наук Шаповаловим В. І. «Взаимодействие водорода как легирующего элемента с железоуглеродистыми сплавами, железом и некоторыми его аналогами» (1979) та



Володимир Іванович Шаповалов [18]

Карповим В. Ю. «Влияние водорода на реологическое поведение полиморфных металлов» (1992). Одним з напрямків практичної реалізації вказаного відкриття є розробка **наповнених газом пористих матеріалів**, що отримали назву «ГАЗАР» або GASARS. При цьому сутність технологічного процесу полягає в розплавленні металевого сплаву в атмосфері водню під певним тиском. В процесі кристалізації надлишок водню ініціює створення пор розміром до 150 мікрон на фронті кристалізації при загальній пористості до 30%. Отримані пористі матеріали (вироби) можуть застосовуватись в автомобілебудуванні, авіаційній та космічній галузях. Винахідники також пропонують схему технології лиття металів в твердому стані виходячи з принципів АСД [203 – 206].



Володимир Юрійович Карпов. Фото від сайта <https://www.metaljournal.com.ua>

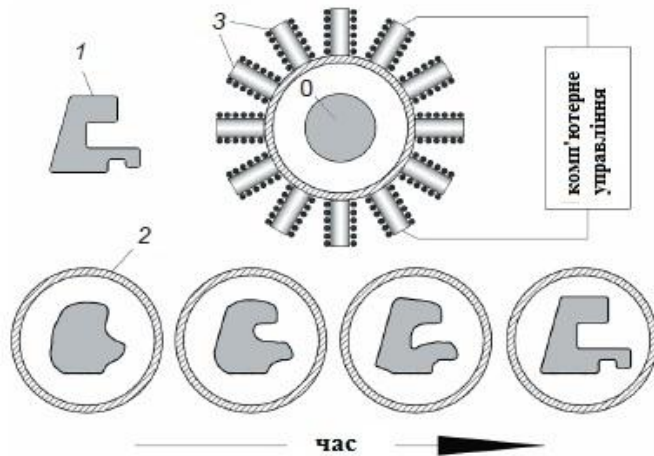
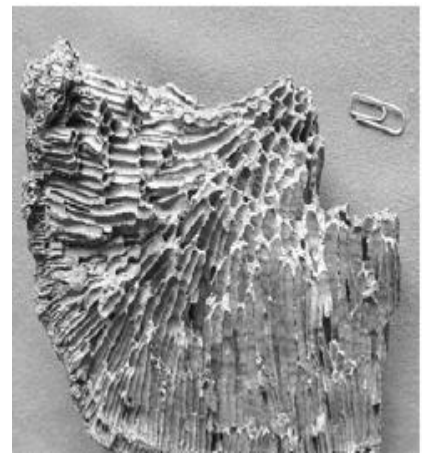
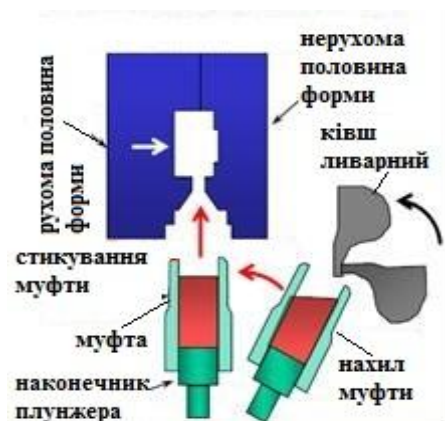


Схема лиття металів в твердому стані: 0 – початкова заготовка;
1 – кінцева форма виробу; 2 – герметична робоча камера;
3 – нагрівники, що керуються комп'ютером [204]

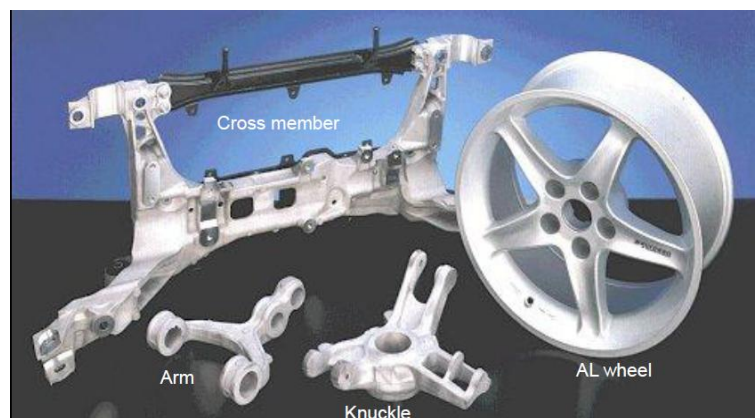


Злом зливка киплячої сталі системи Fe-O-газар [206]

1986р. – Компанія **Ube Machinery**, Японія, виготовила першу в світі машину вертикального лиття з кристалізацією під поршневим тиском «squeeze casting equipment» з поворотною камерою пресування (**Horizontal-die-clamping Vertical-shot Squeeze Casting machine, HVSC**). Машина призначена для виробництва вливок з алюмінієвих сплавів і має зусилля пресування 4000 т [1, 2, 142].



Принципова схема машини вертикального лиття з поворотною камерою пресування [142]



Зразки вливок, що витовлені з використанням машини вертикального лиття з поворотною камерою пресування [142]

1988р. – Група співробітників Науково-дослідного інституту спеціальних способів литва та працівників Одеського ливарного заводу «Центроліт» (Одеса, Радянський Союз, Україна) розробили спосіб виготовлення чавунних вливок по моделям, що газифікуються, в вакумні ливарні піщані форми – «Гамолів-процес». Технологія передбачала виробництво вливок масою до 2000 кг. В 1990 р. автори, а саме **Нетес Леонід Якович, Доровських Василь Матвійович, Василенко Сергій Андрійович, Танчук Анатолій Якович, Шевченко Альберт Федорович, Іванова Ліна Олександрівна, Распопін Іван Михайлович**, отримали авторське свідоцтво СРСР SU 1616758 A1 «Способ получения отливок из чугуна по газифицируемым моделям в вакуумируемые формы “гамолів-процесс» [78].

1988р. – Американська компанія **Metallics Systems Co.**, м. Клівленд (Cleveland), штат Огайо, виробник обладнання для переробки та обробки розплавлених кольорових металів, створює комбіновану технологію для обробки алюмінієвих сплавів з використанням флюсу та роторної дегазації. В 2005р. всі активи **Metallics Systems Co.** були куплені **Pyrotek, Inc.**, США [1, 2, 146].

1989р. - Imperial Metal Industries Limited або ІМІ, графство Йоркшир (Yorkshire), Велика Британія, починає експериментувати з **вісмутом** для заміни **свинцю** в **мідних сплавах** [1, 2].

1990р. - Fosco International Limited, м. Бірмінгем (Birmingham), Велика Британія, патентує **прямую систему заливання (direct-pour system)** ливарної форми розплавом (патент US 4928746 «Moulds for metal casting and sleeves containing filters for use therein»). Це дозволяє при виготовленні виливок обійтись без традиційної ливникової системи живлення. Технологія знайшла застосування в автомобілебудуванні: в 1995р. компанія CMI International, Inc., м. Саутфілд (Southfield), США, почала виготовляти за цією технологією верхній впускний колектор. Розробниками технології були: **David R. Butler**, Lichfield; **George Snow**, Worcester; **Philip Sandford**, Birmingham; **Max G. Neu**, Lichfield, всі з Англії; **Jean P. Villani**, Charleville Mezieres; **Alain Teysedre**, Charleville Mezieres; **Roland Lenoir**, Flize, всі з Франції [1, 2].

U.S. Patent **May 29, 1990** **Sheet 4 of 6** **4,928,746**

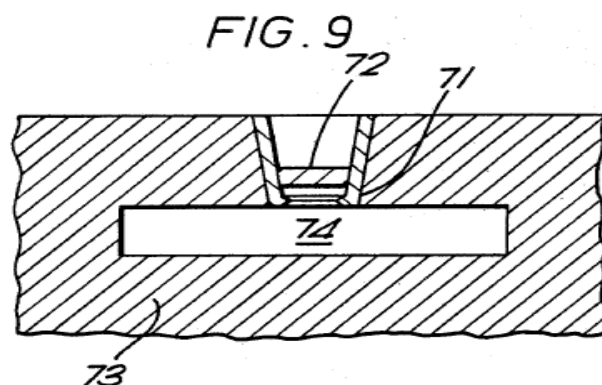


Схема до патенту US 4928746, де: 71 – циліндричний живильник, 72 – керамічний пінний фільтр, 73 – піщана ливарна форма, 74 – порожнина ливарної форми.

1990р. – Хеннінг Бац (Henning Baatz) і Дітер Рітцер (Dieter Rittscher), GNS Gesellschaft für Nuklearservice MBH, м. Ессен, ФРН отримали патент US 4894550 з пріоритетом від 1983р. на винахід «Shielded Radioactive-Waste Container» тобто на **захисний контейнер для радіоактивних відходів**, що виготовлявся з ливарного чавуну. Виріб отримав торговельну назву «CASTOR – Cast for Storage and Transport Of Radioactive material» і виготовляється з **високоміцного чавуну з кулястим графітом** в ливарному підрозділі компанії Siempelkamp GmbH, м. Крефельд, ФРН. В 1984р. згідно контракту з підприємством Радянського Союзу німецькою компанією було виготовлено і поставлено на Нововоронежську АЕС, Радянський Союз, контейнер «CASTOR» для транспортування та зберігання радіоактивних відходів. Корпус контейнера і кришку було відлито з чавуну марки GGG 40.3 (DIN 1693). Маса контейнера становила 100 т, а товщина стінки більше 200 мм [212-214].

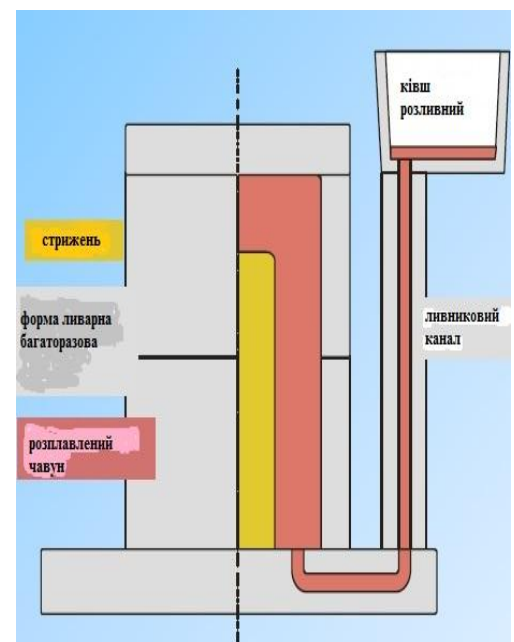
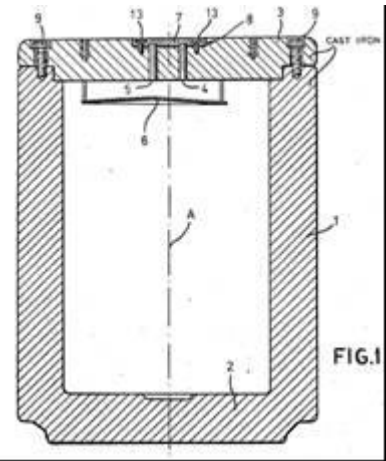


Схема ливарної технології виготовлення корпусу контейнера [212]



Контейнер CASTOR Type V/19 cask [213]



Малюнок «Контейнер» до патенту US 4894550

1990р. - Застосування точного лиття в піщані форми в комбінації з процесами **Cosworth** (форма з цирконового піску) і **Zeus** (форма з кварцевого піску) для алюмінієвих сплавів та **Loramendi Key Core** (система точної фіксації стрижнів при виготовленні блоків циліндрів) для чавуну, дозволяє поліпшити якість виливків для блоків двигунів при масовому виробництві їх великими автомобільними компаніями [1, 2, 147, 148].



Система точної фіксації стрижнів Loramendi Key Core [148]

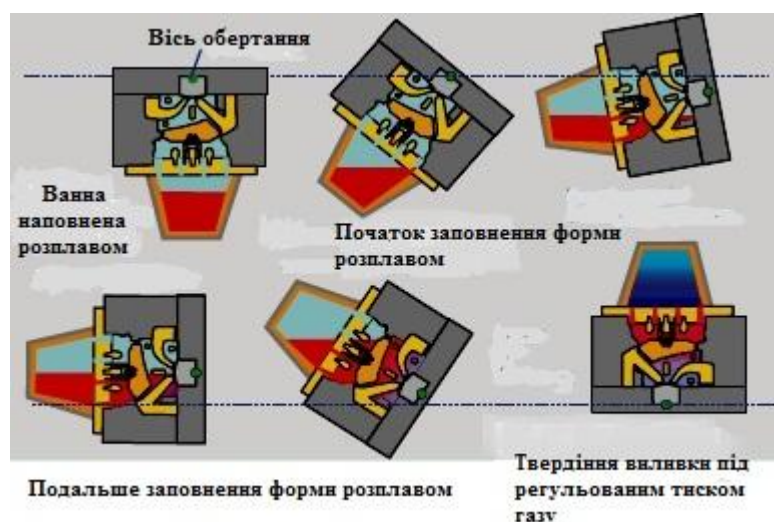
1991р. – Консорціум Lost Foam Casting Consortium, США, створює безконтактний вимірювальний прилад для **точного розмірного аналізу моделей**, що газифікуються, і піщаних стрижнів. Вісім років по тому, консорціум розробляє прилад для вимірювання газопроникності покриття моделей, що газифікуються. Прилад контролює потік металу і регулює якість виливки. Lost Foam Casting Consortium був створений в 1989р. під орудою American Foundry Society. Партнерами консорціуму являлись Університет штату Алабама в м. Бірмінгем, а також 26 промислових компаній, серед яких BMW AG, Caterpillar, Inc., General Motors [1, 2, 149].

1993р. - Вперше в США застосовано ливарний ківш-піч з плазмотроном постійного струму для підігріву і рафінування сталі (plasma ladle furnace – PLF або ladle metallurgy furnace - LMF) в Maynard Steel Casting Company, м. Мілуокі (Мілуокі), США. Розплавлена сталь, виплавлена в електродуговій печі, заливалась в спеціальний ківш-піч місткістю 4,5 т і оброблялась зверху плазмою, а знизу продувалась аргоном через пористу пробку в дні ківша. Технологія дозволяє мінімізувати вміст в сталі кисню, азоту, сірки і фосфору. Проект був реалізований за рахунок спільного фінансування Electric Power Research Institute (EPRI), Wisconsin Electric Power Company, і Maynard Steel Casting Company [1, 2, 150 – 152].



Схема ливарного ківша з плазмотроном [150]

1993р. – Проф. Фрідхельм Кан (Friedhelm Kahn), і Йоахім Кан (Joachim Kahn), громада Ерінгсгаузен (Ehringshausen), Німеччина, почали процес патентування нового способу виготовлення вилвок з алюмінієвих сплавів в кокіль, що обертається навколо горизонтальної осі. Нова технологія забезпечує при заливанні мінімальну турбулентність розплаву, оптимальний температурний режим та кристалізацію під дією тиску газу. Після отримання патенту Німеччини DE 4318252 «Verfahren und Vorrichtung zum Giessen von Bauteilen» (1994), винахідники отримали патент US 5626180 «Process and Device for Casting Components» (1997). Всеохоплюючий патент US 6715535 B2 «Method of and Device for Rotary Casting» колектив винахідників отримав у 2004р. На ливарному заводі компанії Hydro Aluminium Mandl & Berger GmbH, м. Лінц, Австрія технологія, що отримала торговельну марку **ROTACAST**, застосовується для виготовлення деталей автомобільного двигуна з алюмінієвих сплавів G-AlSi7Mg і G-AlSi8Cu3 [247].



Схематичне зображення ливарної технології ROTACAST® [247]

1994р. – Для виготовлення точних великогабаритних деталей методом лиття по моделям, що газифікуються, запатентовано Brunswick Corp, Лейк-Форест, штат Іллінойс, використання **синтетичного муллітового піску** з малим коефіцієнтом термічного розширення [1, 2].

1996р. - Литі гальмівні диски, виготовлені з **металевого матричного композиту** (MMC - Metal Matrix Composite системи AlSiMg-SiC), застосовуються вперше в виробництві спортивного автомобіля марки Lotus Elise від англійської компанії Lotus Cars, с. Хетел, Норфолк, Англія [1, 2, 18, 156].



Спортивний автомобіль Lotus Elise [18]

1996р. - General Motors Corporation, США, починає використовувати для виготовлення піщаних стрижнів ливарних форм при виробництві чавунних і алюмінієвих вливок **екологічно чисте в'язуюче GMBond** (товарна марка), що є водорозчинним біополімером [1, 2].



Ливарна піскострільна GMBond - стрижнева машина, створена та виготовлена FATA Aluminium, Турин, Італія [155]



GMBond - стрижень вилки «Кришка блоку циліндрів» масою 104 кг, що виготовляється з алюмінієвого сплаву [155]

1997р. – В результаті виконання програми по зменшенню використання свинцю в бронзах, консорціум, в який входили American Foundry Society (AFS) та Canadian Materials Technology Laboratory (CANMET), м. Оттава, Канада, **розробив та комерціалізував мідні ливарні та деформовані сплави з використанням вісмуту і селену замість свинцю**. Вони отримали назву EnviroBrass alloys та класифіковані як сплави C88000 – C89999. Ці сплави мають високі триботехнічні характеристики та герметичність [1, 2, 22, 157, 158].

1997р. - American Cast Iron Pipe Corporation, м. Бірмінгем, штат Алабама, США, будує принципово нову **електродугову піч постійного струму (Contiarc furnace)** потужністю 65 МВат для **безперервного виробництва ковкого чавуну**. В проєкті приймали участь Alabama Power Company, США, та SMS Demag, Німеччина. Конструкція печі має центральний електрод, верхнє завантаження шихти, дозволяє широкий діапазон компонентів шихти. Продуктивність печі складає 80 т/год [1, 2, 159, 160].

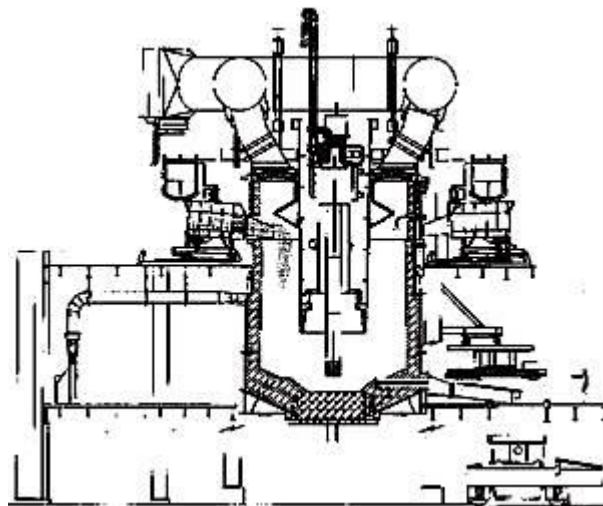
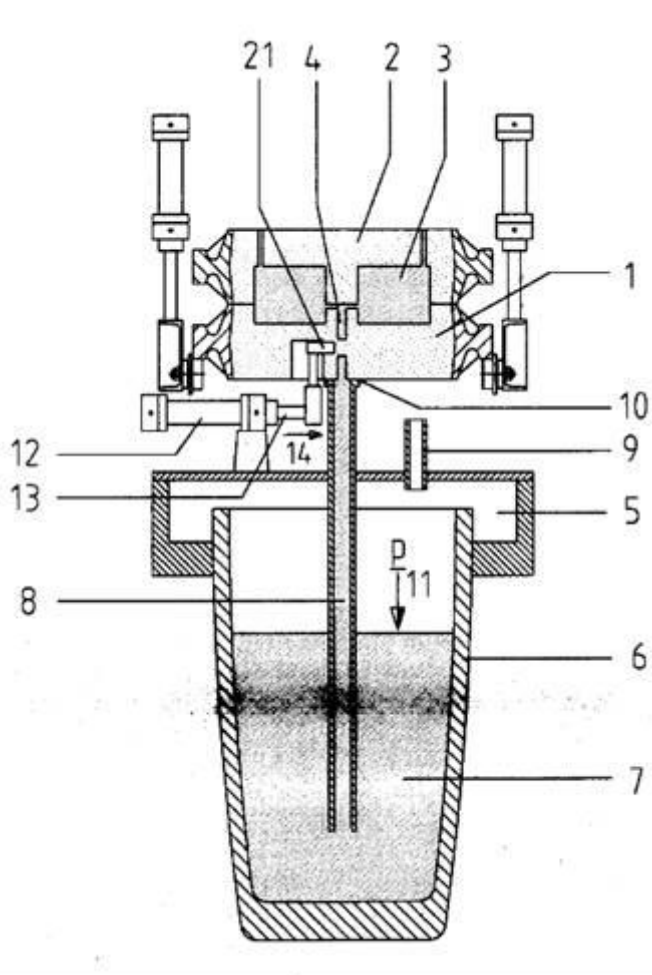


Схема Contiarc furnace [159]

1999р. – Дипломований інженер **Герберт Гролла** (Dipl.-Ing. Herbert Grolla), Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH, Німеччина отримав патент EP 0894557A1 «Verfahren zum Formgiessen und Giessform für ein solches Verfahren» з пріоритетом від 1997р. Винахід стосувався технології виготовлення виливок в піщаній формі з подачею розплавленого металу під низким тиском знизу-вверх на опоковій формувальній лінії. Для відсікання подачі порції металу через ливниковий канал було запропоновано відповідний пристрій, що унеможлиблював також просипання формувальної суміші в тигель печі. В компанії HWS ця технологія отримала назву **INJECTAFILL**. У випадку, коли надлив виливки знаходиться в нижньому положення і в нього подається метал, для забезпечення направленої кристалізації після заливання ливарну форму кантують на 180 град. Застосована система заливання ливарних форм отримала назву MPS (Multi Pouring System). Технологія та відповідне обладнання застосовується для виготовлення виливок з алюмінієвих сплавів, а також сірого та високоміцного чавунів [215, 216].



Малюнок до патенту EP0894557A1



Кантувальний пристрій для ливарних форм на лінії HWS [215]

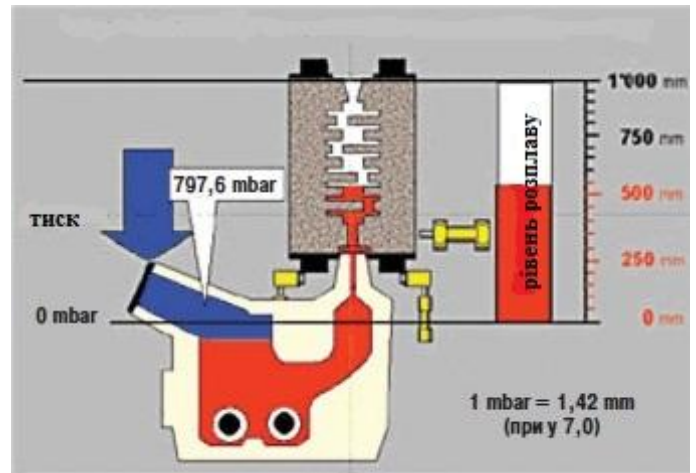


Схема заливання колінчатого валу в вертикальній ливарній формі на горизонтальній опорній формувальній лінії HWS [215]

1999р. – Група інженерів компанії Generis GmbH, м. Аугсбург, Німеччина, розробила прототип **3D-принтера для виготовлення ливарних піщаних форм і стрижнів**. Перша установка була продана компанії Bayerische Motoren Werke AG (BMW AG), м. Мюнхен, Німеччина у 2001 році. У подальшому Generis GmbH спеціалізувалась на розробці машин та процесів виготовлення виливок в піщані форми та інвестування в ливарство. Проте в 2003 році вона була розділена на компанію **ProMetal RCT** (виготовлення обладнання для виробництва ливарних піщаних форм) та компанію **Voxeljet** (інвестування в ливарство). В подальшому Extrude Hone Corporation і ProMetal RCT трансформувались в компанію **ExOne Company** (2005), що сформувала **світовий ринок друку піщаних ливарних форм і стрижнів** з десятками машинних установок.



Виливок «Робоче колесо насоса» діаметром 1270 мм і вагою 900 кг. Виготовлено з бронзи за технологією 3D Sand Mold Printing and Casting компанії ExOne. Призначено для ремонтних робіт і зроблено в одному екземплярі.

В 2010 році компанія ExOne випустила найбільший 3D-принтер у світі (модель S-Max), який був розроблений для виготовлення великих піщаних стрижнів і форм з використанням CAD –моделей, що виключає необхідність створення фізичних прототипів. В технологічному процесі використовується як фенольне, так і силікатне в'язуче, а також мікрохвильова техніка для спікання. Вказане обладнання та технології застосовуються в автомобілебудуванні, а також в аерокосмічній, машинобудівній та енергетичній галузях [248].

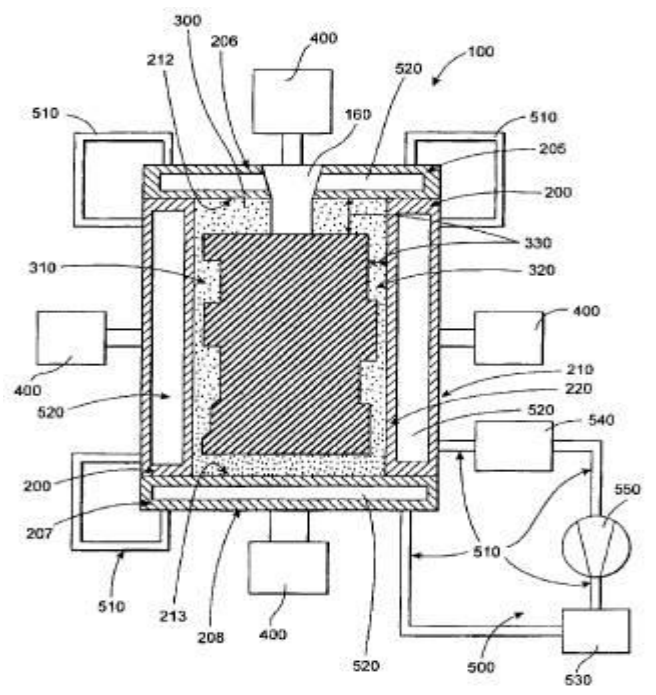


Загальний вигляд 3-D принтера моделі S-Max виробництва компанії ExOne, Німеччина [249]

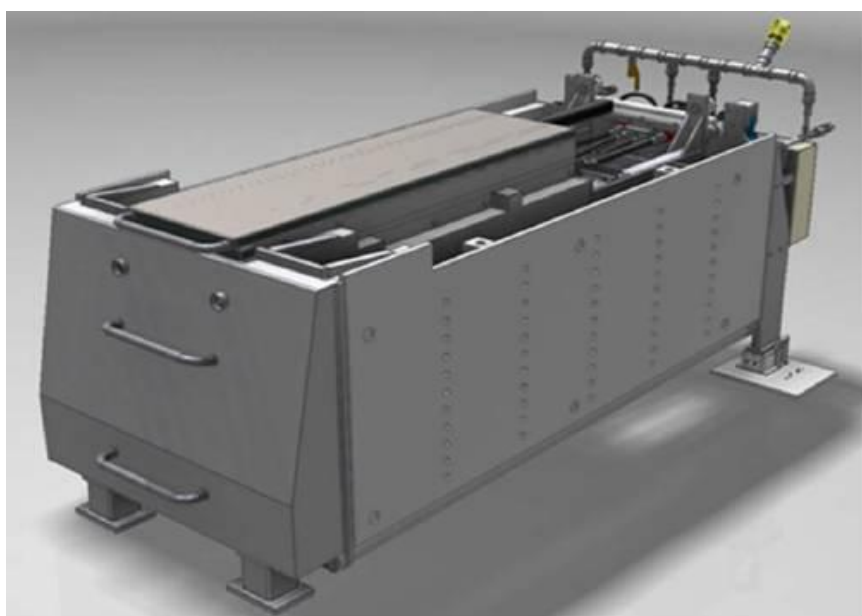
1999р. – На ливарному заводі Powertrain Production Skövde компанії Volvo Group у м. Скведі (Skövde), Швеція стала до ладу нова виробнича лінія потужністю 6000 т виливок на рік з використанням екологічно чистої технології **Future Process for Casting (FPC - process)**. Технологія виготовлення чавунних виливок передбачає використання комбінованої ливарної форми. Остання складається з **сталевого кокіля**, що охолоджується водою, і **піщаної форми**. Таке конструктивне рішення дозволяє як зменшити питомі витрати формувального піску з 0,5 до 0,15 кг на виливок, так і кількість шкідливих викидів в навколишнє середовище. Крім того, технологія забезпечує швидке і кероване охолодження чавунних виливок. У 2002р. співробітники компанії VOLVO Bengt-Ake Larsson, Bertil Sander, Roland Carlsson і Sven-Erik Dahlberg отримали патент US 6422295 «Method and Device for Chill Molding» на FPC-process [245, 246].



Виливок «Головка блоку циліндрів» виготовлена за технологією FPC – process [245]



Принципова схема до патенту US 6422295 «Method and Device for Chill Molding»



Загальний вигляд обладнання для виготовлення виливок згідно FPC-process [245]

2000р. – За ініціативою та фінансовою підтримкою **Сергія Івановича Чернишова** (1965-2015), директора страхової компанії «Лемма», при Харківському політехнічному інституті, Україна було засновано ЗАТ «Конструкторсько-технологічне бюро верифікаційного моделювання і підготовки виробництва». Таким чином Україна зробила перший крок в напрямку застосування прискореного **прототипування** в варіанті стеріолітографії. Застосування установки SLA 5000, що використовує сфокусовані пучки лазерів, дозволило компанії реалізувати проекти в авіаційній, електронній та легкій промисловостях України [223, 224].

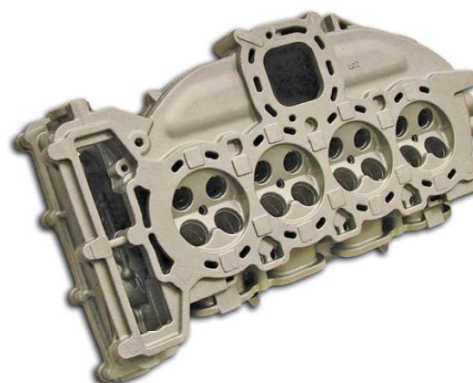


Сергій Іванович Чернишов [224]

2001р. – Компанія Mercury Marine монтує першу в Північній Америці **автоматичну ливарну лінію виготовлення алюмінієвих виливок з застосуванням технології лиття за моделями, що газифікуються, та використанням тиску при кристалізації** (pressurized lost foam casting) на своєму новому об'єкті Mercury Castings в м. Фон-дю-Лак (Fond du Lac), штат Вісконсін (Wisconsin), США [1, 2, 162, 163].



Автоматична ливарна лінія Pressurized Lost Foam Casting [162]



Виливок «Головка 4-х циліндрового двигуна», сплав А356, технологія лиття за моделями, що газифікуються, з пресуванням. Виробник Mercury Marine [163]

2003р. – Магнієвий підрозділ Американського ливарного товариства (Magnesium Division, American Foundry Society) завершує дослідницький проект і доводить, що виливки з **магнієвих сплавів** можуть бути виготовлені за **технологією лиття за моделям, що газифікуються** (Lost Foam Process), та за технологію **вакуумно-плівкового формування** (V-process) [1, 2].



Перша вилівка «Клапанна плита» з магнієвого сплаву AZ91E, що виготовлена за вакуумно-плівковою технологією в США [161]

2006р. – Українські науковці доктор техн. наук **Олег Йосипович Шинський** та канд. техн. наук **Володимир Степанович Дорошенко**, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАНУ подали заявки на винахід стосовно екологічно чистої технології виготовлення металевих виливок з застосування **заморожених ливарних моделей**. В наступному році винахідники отримали патент України на винахід № 80072 «Спосіб виготовлення заморожених моделей», а також патент України № 80073 «Спосіб виготовлення заморожених моделей виливків з порожниною». Тим самим було зроблено логічний крок в напрямку подальшого забезпечення екологічності ливарного виробництва України, що була започаткована в Інституті проблем лиття АН УРСР (сучасний ФТІМС) на початку 80-х років ХХ ст. У 1984р. науковці інституту, а саме Шинський О. Й., Московка В. І., Шевченко В. О., Валігура А. І., Князев Є. Ф., отримали авторське свідоцтво СРСР № 1121089 на винахід «Неразъемная замороженная модель для низкотемпературной формовки». Сучасна технологія ФТІМС базується на стандартному морозильному обладнанні, що забезпечує виготовлення заморожених ливарних моделей з водної композиції в металевих прес-формах з подальшим використанням різних методів формування. В інституті відпрацьовано технологію та спроектовано дослідно-промислову дільницю лиття за замороженими (крижаними) моделями [229, 230].



Олег Йосипович Шинський [323]



Шестерня: вилівка, заморожена модель і ливарна оболонкова форма (фото з архіву В. С. Дорошенка)

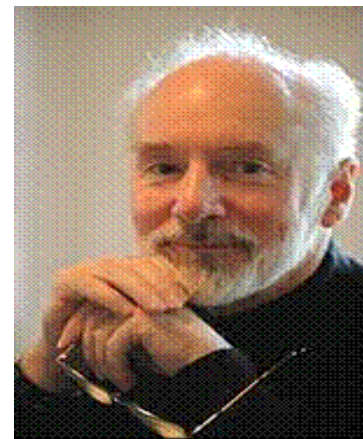


Володимир Степанович Дорошенко. Фото від В. С. Дорошенка

2008р. – **Джон Р. Грассі** (John R. Grassi, Alotech Ltd., США) і **Джон Кемпбелл** (John Campbell, Alotech Ltd., Велика Британія) оприлюднили інформацію стосовно принципово нової **технології виготовлення алюмінієвих виливок литтям в піщану форму з водяним охолодженням виливок** (Ablation Casting Process, АСР або HydroSolidification). Технологія передбачає виготовлення ливарної піщаної форми з використанням екологічно чистого водорозчинного в'язучого на основі силікату натрію. Через певний проміжок часу після заповнення ливарної форми рідким металом починається процес видалення ливарної форми струменями води температурою 65 °С. В результаті забезпечується швидкісна кристалізація виливки та мінімізація пористості, як в тонких так і в товстих стінках виливки. За рахунок подрібнення складових мікроструктури не модифікованих Al-Si сплавів (дендритів і евтектики) забезпечуються механічні властивості що перевищують досягнуті литтям під поршнеvim тиском (Squeeze Casting). Технологія АСР дозволяє виготовляти виливки з деформованих алюмінієвих сплавів, а також з магнієвих сплавів.



Джон Р. Грассі. Фото від сайту <https://www.linkedin.com>



Джон Кемпбелл. Фото від сайту <https://www.elsevier.com/books>

На свою розробку John R. Grassi та John Campbell отримали патенти: US 7147031 «Lost Pattern Mold removal Casting Method and Apparatus» від 2006р. з пріорітетом від 2003р., US 7165600 «Chemically Bonder Aggregate» від 2007р. з пріорітетом від 2003р. та інші [311, 312].



Процес руйнування ливарної форми за АС - процесом [311]



Виливка після руйнування ливарної форми за АС - процесом [311]



Виливка паливного баку з кронштейном для кріплення з сплаву А356 (Al-Mg) з товщиною стінки 2мм, заміна зварюваного виробу

Зразки виливок, виготовлених за Ablation Casting Process [311]



Виливка кронштейна з алюмінієвого сплаву В206 (Al-4,5Cu), товщина стінки 2,5 мм, без гарячих тріщин

2010р. – Ливарний завод BMW Landshut, м. Ландсгут, Німеччина став першим у світі **екологічно чистим ливарним виробництвом**. На підприємстві використовується технологія виготовлення виливок з легких сплавів під тиском і гравітаційного лиття з використанням піщаних стрижнів. Для виготовлення останніх застосовуються екологічно чисті неорганічні в'язучі, що базуються на водорозчинних лужних силікатах (наприклад, на водному та кремнієвому розчині). Це дозволило зменшити заводські викиди в атмосферу на 98%.



Ливарний піщаний стрижень на ливарному заводі BMW Landshut, Німеччина [251]

На підприємстві щороку виготовляється близько 1,8 млн. виливок з алюмінієвих і магнієвих сплавів, загальною вагою близько 45 тис. т. Асортимент виливок включає компоненти автомобільного двигуна, такі як головки циліндрів та картера, елементи конструкції та шасі, а також вузли для передньої і задньої вісей авто [250].

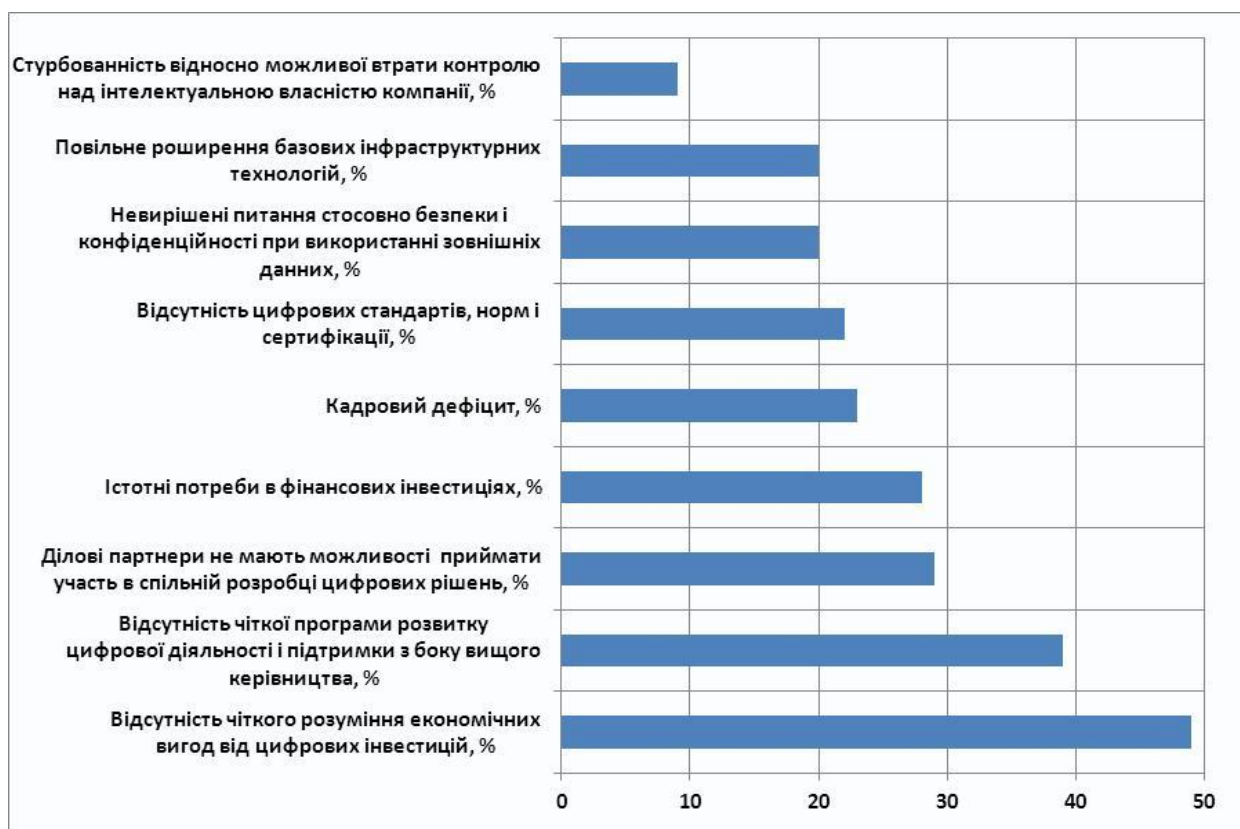


Кокільна установка на ливарному заводі BMW Landshut, Німеччина [251]

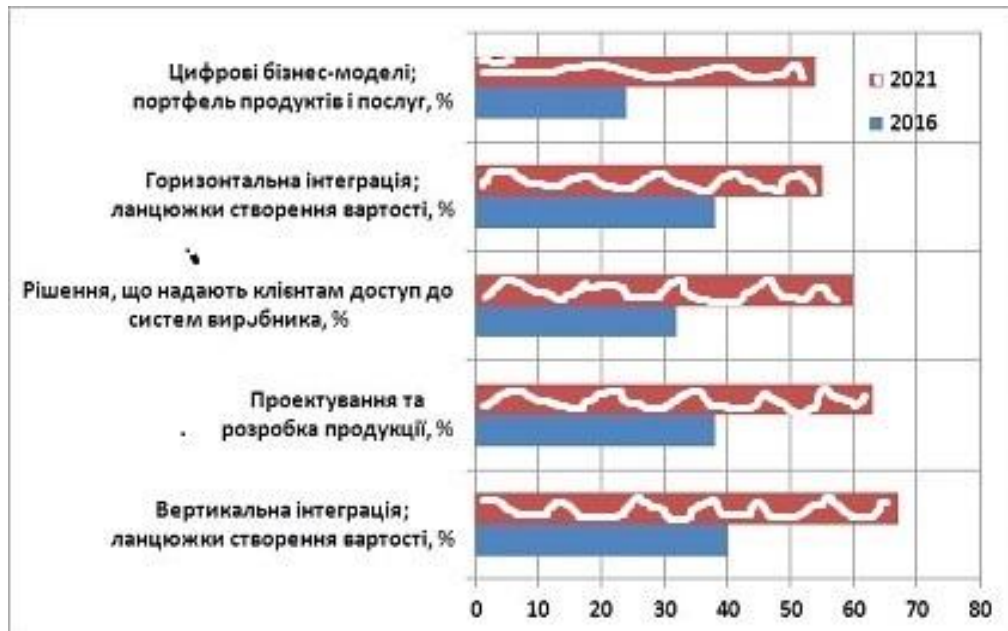
Розділ шостий. Четверта промислова революція (2011р. -...)

2011р. – На Ганноверській ярмарці, Німеччина, народився термін **Industry 4.0** (**Промисловість 4.0**), що призначався для термінологічного визначення процесу кардинального перетворення ланцюжка створення вартості в промисловості. Тим самим запускався процес **четвертої промислової революції**, в якій віртуальні та фізичні системи виробництва могли гнучко взаємодіяти між собою на глобальному рівні. Складовими наступного етапу розвитку світової промисловості являються: **великі дані та їх аналіз** (Big Data and Analytics), **автономні роботи** (Autonomous Robots), **моделювання** (Simulation), **горизонтальна та вертикальна системи інтеграції** (Horizontal and Vertical Integration), **промисловий інтернет речей** (The Industrial Internet of Things), **кібернетична безпека** (Cybersecurity), **хмарні технології** (The Cloud Technology), **аддитивне виробництво** (Additive Manufacturing) і **віртуальна реальність** (Augmented Reality) [225. 226].

2016р. – **PricewaterhouseCoopers** (міжнародна мережа компаній, що пропонує консалтингові послуги, з головним офісом в Лондоні, Велика Британія) провела глобальне дослідження стосовно створення цифрового підприємства в рамках «Промисловість 4.0» в **світовій металургійній галузі**. В ході підготовки матеріалу було опитано 157 керівників металургійних підприємств з 26 країн світу [227].



Оцінка респондентами впливу основних факторів, що гальмують впровадження цифрових технологій в металургійній компанії [227]



Оцінка респондентами поточного та перспективного рівня цифровізації і інтеграції металургійних компаній [227]

2016р. - Світові лідери «цифрового» ринку - Cisco, IBM, Intel, Oracle, Deloitte, SAP, Ericsson, MasterCard, Vodafone, Kyivstar, Lifecell, International Data Corporation, вітчизняні консультанти та експерти, підтримані Міністерством економічного розвитку та торгівлі України та ГО «ХайТек Офіс», розробили «**Цифровий порядок денний України 2020**», - документ, який визначає ключові принципи політики, першочергові сфери, ініціативи та проекти «цифровізації» України [228].

2016р. – На Міжнародній фаховій виставці лиття під тиском: техніка, процеси, продукти (**EUROGUSS 2016**), Нюрнберг, Німеччина Генеральним об'єднанням алюмінієвої промисловості Німеччини (Gesamtverband der Aluminiumindustrie, GDA) було відзначено **кращі виливки з алюмінієвих сплавів, виготовлені литтям під тиском. Перший приз** отримала компанія Hengst SE & Co. KG, м. Нордвальде (Nordwalde), Німеччина, за виливку «Частина модуля масляного охолодження двигуна». **Другий приз** – компанія Georg Fischer Druckguss GmbH, м. Херцогенбург (Herzogenburg), Австрія, за виливку «Корпус батареї автомобіля» і **третій приз** – компанія DGS Druckguss Systeme s.r.o., м. Ліберець (Liberec), Чехія, за виливку «Корпус коробки передач вантажівки» [253].



1-й приз виставки. Виливок «Частина модуля масляного охолодження двигуна», сплав Al Si9Cu3(Fe), розміри 254x220x303 мм, вага 3996 гр. [253]

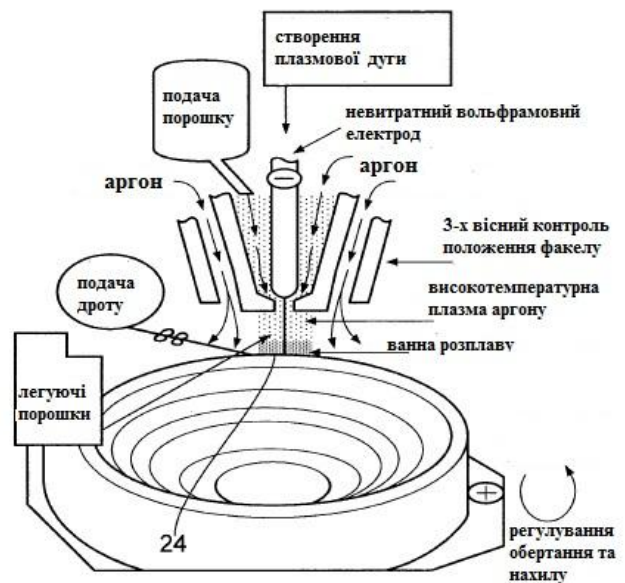


2-й приз виставки. Виливок «Корпус батареї автомобіля», сплав Al Si10MnMg, розміри 781x508x115 мм (верхня частина) і 774x581x177 мм (нижня частина), вага 6400 гр. (верхня частина) і 9140 гр. (нижня частина) [253]



3-й приз виставки. Виливок «Корпус коробки передач вантажівки», сплав AC-Al Si10Mg(Fe), розміри 250x170x115 мм, вага 1785 гр. [253]

2016р. – На Міжнародному авіашоу Фарнборо (Farnborough International Airshow) компанія **Norsk Titanium AS** вперше оприлюднила повномаштабний запатентований макет 3D принтера **MERKE IV™**, що використовував технологію швидкого плазменного осадження (Rapid Plasma Deposition™) для виготовлення деталей авіа-космічного призначення з титану та його сплавів. У цьому ж році компанія отримала патент США US 9346116 «Method and Device for manufacturing titanium objects». При цьому реалізується процес перетворення титанового дроту з допомогою плазмового розпилення та шарового нанесення у компактну деталь. Вказана технологія була застосована для серійного виробництва сертифікованих деталей для літака Boeing 787 Dreamliner. В результаті сумарні витрати зменшуються на 30% у порівнянні з традиційними технологіями (лиття, кування). Продуктивність однієї установки **MERKE IV™** може складати 10-20 т щорічно [294- 296].



Принципова схема до патенту US 9346116

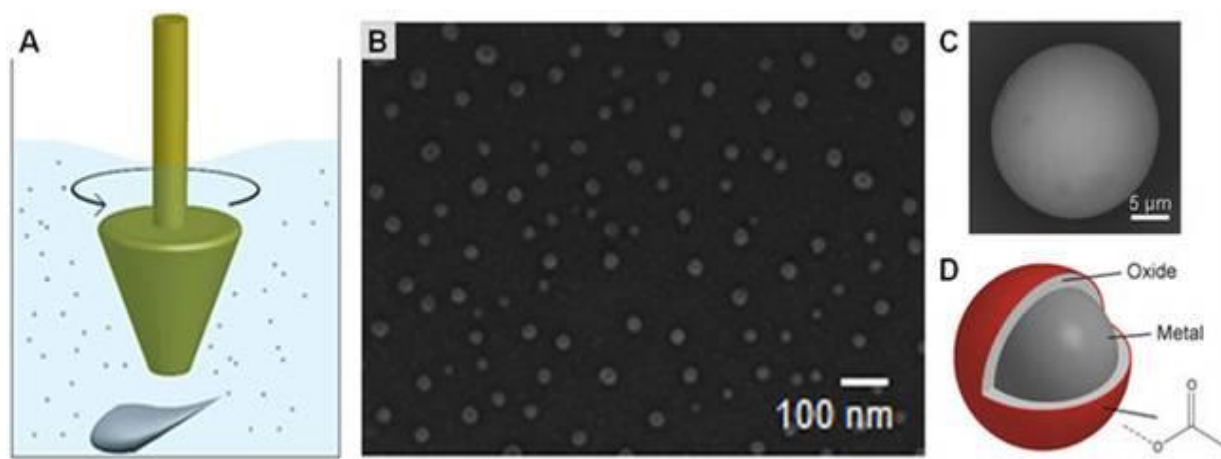


Деталь, що виготовлена з титану на 3D принтері MERKE IV™ [295]



3D принтер MERKE IV™ [295]

2017р. - **Мартін Туо** (Martin Thou), **Сімгей Цинар** (Simge Cinar), **Ян Д. Тейвіс** (Ian D. Tevis), Державний дослідницький університет штату Айова (Iowa State University Research), США отримали патент US 2017/0014958 «Stable Undercooled Metallic Particles for Engineering at ambient conditions». Тим самим науковці започаткували використання технології **SLICE** (**S**hearing **L**iquids **I**nto **C**omplex **P**articl**E**s) для виготовлення **закапсульованих наночасточок рідких металів** розміром 1...20 мкм. Наступним кроком дослідників стало створення композиційного матеріалу системи гумоподібний еластомер – металеві наночастки. Останні виготовлені з сплаву **Сімона Філда** (Simon Q. Field), що містить 51,0% індію, 32,5% вісмуту та 16,5% олова з температурою плавлення 62⁰С. Отриманий **принципово новий матеріал**, про що повідомляють автори в журналі Materials Horizons (2018), характеризується змінною жорсткістю в залежності від наявності в ньому певних напружень. При цьому визначено, що новий матеріал при скручуванні чи вигині здатний збільшувати свою жорсткість на 300%. Автори розробки прогнозують, що сферою застосування цього матеріалу будуть медицина і промисловість. Серед технологій, які можуть використовувати закапсульовані наночасточки рідких металів, науковці бачать і лиття під тиском [252].



А - принципова схема SLICE – технології; b - металеві наночастки під мікроскопом; c - зовнішній вигляд наночастки; d - будова наночастки [252]

2017р. – ТОВ «Смартпринт» (м. Київ, Україна), офіційний представник компанії Voxeljet AG, м. Фрідберг (Friedberg), Німеччина, почало надавати послуги для українських підприємств по виготовленню **3-D продукції** з поставкою з Німеччини. Серед них ливарні форми і стрижні для виробництва машинобудівних вливок (крильчатки насосів) з сталі. При цьому застосовується 3-D принтер моделі VX2000, що працює з кварцевим піском і фурановою смолою. Перспективними напрямками використання 3-D технологій є загальне машинобудування, арматуро- та насособудування і сільгосптехніка [Інформація ТОВ «Смартпринт»].



Ливарна стрижньова система виготовлена на 3-D принтері марки VX2000 компанії Voxeljet, Німеччина

Замість підсумків

Ось і закінчилась наша подорож крізь час. Крізь час металів. Як час вічний, так і метали – вічні. Навколо нас безліч машин, що виготовлені з використанням деформованих, литих, порошкових, композитних та нано металів. Всі ці машини мають певний термін життя, а потім їх замінюють більш досконалі. А що робити з старою технікою? Її потрібно розібрати, переробити і використати метали для виготовлення нових машин та приладів. Цикл повторюється... Ось таке безкінечне життя металу.

А хто бачив, як плавиться метал та заповнює ливарну форму, або бачив структуру металу через мікроскоп (космос металу), той все життя присвятить науковій, іноваційній або комерційній роботі з металами. Щастя вам!

Інформаційні джерела до першого розділу

1. An Encyclopaedia of the history of technology/edited by Ian McNeil. Routledge. London and New York. 1990. 1062 p.
2. Фирсов А. В. Немецкий конструктор Готтлиб Даймлер: к вопросу о его приоритете в создании бензинового двигателя внутреннего сгорания и автомобиля. Питання історії науки і техніки. 2013. №3. С. 29-35.
3. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
4. Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA). URL: <http://www.oica.net>
5. Richman Doug. Meta-trends in Advanced Automotive. Manufacturing Summit. April 24-25, 2017. 19 p. URL: www.cargroup.org
6. General Aviation Manufacturers Association (GAMA). 2017 Annual Report. 60 p. URL: gama.aero.
7. WikipediA. The Free Encyclopedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki>
8. Woidasky J., Klinke C., Jeanvre S. Materials Stock of the Civilian Aircraft Fleet. Recycling 2017, 2, 21; doi:10.3390/recycling2040021. URL: www.mdpi.com/journal/recycling
9. Julio C. O. Lopes. Material Selection for Aeronautical Structural Application. Ciencia & Tecnologia dos Materials, Vol. 20, n. ¾, 2008, P. 78-82. URL: www.scielo.mec.pt
10. Yoko Miyashita. Evolution of Mobile Handsets and the Impact of Smartphones. February 2012. 32 p. URL: www.icr.co.jp.
11. The Mobile Economy 2015. GSM Association. 82 p. URL: www.gsma.com
12. Resource Efficiency in the ICT Sector. Final Report, November 2016. Andreas Manhart; Markus Blepp; Corinna Fischer; Kathrin Graulich; Siddharth Prakash; Rasmus Priess; Tobias Schleicher; Maria Tur. Oeko-Institut e.V., Head Office Freiburg: P.O. Box 17 71, 79017 Freiburg, Germany; 86 p. URL: www.oeko.de
13. World Steel Association. URL: www.worldsteel.org
14. Global Steel Trade Monitor. August 2017. U. S. Department of Commerce. International Trade Administration. 15 p. URL: www.trade.gov
15. International Aluminium Institut (IAI). URL: <http://www.world-aluminium.org>
16. Aluminium Market Outlook – Fourth Quarter 2015. RBC Capital Markets. 24 p. URL: www.cqrda.ca
17. Patel A. The Global Aluminium Market Outlook. Quebec, May 2017. CRU Aluminium. Aluminium Valley In Business Trade Show 2017. 22 p.
18. International Copper Study Group. URL: www.icsg.org

19. The World Copper Factbook 2017. International Copper Study Group. 64 p. URL: www.icsg.org
20. Smale D. ICSG 2014/2015 Copper Supply and Demand Forecasts and Capacity Developments to 2017. International Copper Study Group. November 2014. URL: www.metalbulletin.com
21. Minerals Commodity Summaries 2018. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. 204 p. URL: <https://minerals.usgs.gov/>
22. USGS Mineral Resources Program. URL: <https://minerals.usgs.gov/>
23. Liping Li. Global Primary Magnesium Supply and Demand Balance 2016. Presented by CM Group. IMA Annual Conference May 22, 2017. Singapore. 6 p. URL: c.ymcdn.com.
24. M. Ashraf Imam. The 13th World Conference of Titanium (Ti-2015). JOM, Vol.68, № 9, 2016. P. 2492 - 2501. URL: link.springer.com
25. Bert Chapman. The Geopolitics of Rare Earth Elements: Emerging Challenge for U.S. National Security and Economics. Journal of Self-Governance and Management Economics, 6 (2)(2018): p. 50-91. URL: http://docs.lib.purdue.edu/lib_fsdocs.
26. Machacek E., Kelvig P. Road map for REE material supply autonomy in Europe (component of D1.2). 31.01.2017. 163 p. URL: www.eurare.eu.
27. Modern Casting. Census of Global Casting Production. URL: <http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=7814>

Інформаційні джерела до другого – шостого розділів

1. Michael J. Lessiter, Editor/Publisher Ezra L. Kotzin, American Foundry Society (retired) Timeline of Casting Technology. Engineered Casting Solutions, Spring 2002, P. 76-80.
2. Timeline of Casting Technology. Global Casting Trends. Foundry, 2007. May. P. 19-29. URL: [http:// www.foundrytradejournal.com/](http://www.foundrytradejournal.com/).
3. Хронология развития литейной технологии. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Кафедра металлургических и литейных технологий. URL: <http://www.foundry.spb.ru/html/сpec/chronology.shtml>.
4. Course: Metal Casting. URL: <http:// nptel.ac.in/courses/112107084>
5. 100 великих памятников. URL: <http://www.libros.am/book/read/id/175475/slug/100-velikikh-pamyatnikov>
6. Журнал «Мустанг». URL: <http://www.goldmustang.ru/magazine/history/3728.html>
7. Мир художественного литья. История технологий. Бех Н.И., Васильев В.А., Гини Э.Ч., Петриченко А.М. М., Металлург, Едиториал УРСС, 1997. 260 с.
8. Карман Уильям. История огнестрельного оружия. С древнейших времен до XX века: [пер. с англ. М. Г. Барышникова]. – М., Центрполиграф, 2007. 297с.
9. Агрикола Георгий. О горном деле и металлургии. В 12 книгах. Редакция С. В. Шухардина, перевод и примечания В. А. Гальминаса и А. И. Дробинского. Изд-во АН СССР, 1962. 597 с.
10. Металлургия и время : энциклопедия. В 4 т. Т. 2. Фундамент индустриальной цивилизации. Возрождение и Новое время / Ю.С. Карабасов, П.И. Черноусов, Н.А. Коротченко, О.В. Голубев. М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. 216 с.
11. Металлургия и время : энциклопедия. В 4 т. Т. 3. Фундамент индустриальной цивилизации. Возрождение и Новое время / Ю.С. Карабасов, П.И. Черноусов, Н.А. Коротченко, О.В. Голубев. М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. 216 с.
12. Сайт історії компанії Coalbrookdale. URL: <http://shropshirehistory.com/iron/coalbrookdale.htm>
13. Джеймс Ватт. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
14. Ductile Iron Pipe Research Association. URL: <http:// www.dipra.org>
15. Металлургия и время : энциклопедия. Т. 6. Металлургия и социум. Взаимное влияние и развитие / Ю.С. Карабасов, П.И. Черноусов, Н.А. Коротченко, О.В. Голубев. М. : Изд. Дом МИСиС, 2014. 224 с.
16. ASM Metals Handbook. Volume 15. Casting. ASM International. 9th Edition Metals Handbook. 1988, 1992. 2002 p.

17. Свойства элементов: Справ. изд./Под ред. Дрица М.Е. М.: Metallurgy, 1985. 672 с.
18. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. URL: <http://uk.wikipedia.org>.
19. Морачевский А.Г., Фирсова Е.Г. Профессор Павел Павлович Федотьев (к 150 - летию со дня рождения). Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского ГПУ, 2014. 2(195). С. 228-230.
20. Изобретения России. URL:<http://www.inventor.perm.ru>.
21. The Whitney Research Group . URL: <http://wiki.whitneygen.org>.
22. WikipediA. The Free Encycloperia. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/>.
23. Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.
24. Компания John Deere. URL: <http://www.deere.com>.
25. Fundamentals of Aluminium Metallurgy: Production, Processing and Applications. Roger Lumley. Elsevier, 2010. 864 p.
26. The Encyclopedia of the Industrial Revolution in World History. Kenneth E. Hendrickson. Vol. 3. 2014. 972 p.
27. Энциклопедия неорганических материалов. В двух томах. Главная редакция Украинской советской энциклопедии. 1977. Том 1 – 840 с., том 2 – 813 с.
28. American Iron, 1607-1900. Robert B. Gordon. JHU Press, 2001. 341 p.
29. Biographical memoir of Albert Sauveur by Reginald A. Daly. The Academy at the Autumn Meeting. 1940. p. 119-133.
30. Самые знаменитые изобретатели России / Автор-составитель С.В. Истомин. М.: Вече, 2000. 469с.
31. Белоусова А.Н. Выдающийся русский металлург. К 200-летию со дня рождения академика П. П. Аносова. Вестник Российской Академии наук. 2000, том 70, № 3. с. 227-242. URL: <http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/VRAN/ANOSOV.HTM>
32. Cupola Furnace: A Practical Treatise on the Construction and Management of Foundry Cupolas. By Erwad Kirk. Philadelphia: London.1899. URL: <http://ru.scribd.com>.
33. My Family Tree. URL:<http://www.beanweb.net/ft/bean/pafg74.htm>.
34. Perceval Moses Parsons (1819-1892). URL: http://www.gracesguide.co.uk/Perceval_Moses_Parsons.
35. Инженеры России. URL:<http://rus-eng.org/>.
36. Superalloys, Supercomposites and Superceramics. John K Tien. Elsevier, 2012. 755 p.

37. Wikipedia. Die freie Enzyklopadie. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/>
38. Flyer Crankcase. The First Aerospace Aluminum Alloy. URL: <http://www.owl.net.rice.edu/~msci301/Wright%20Flyer%20Crankcase.htm>.
39. Herman Doehler, Die Caster, Dead. The New York Times, 19 October 1964. URL: <http://www.nytimes.com/1964/10/19/>.
40. Vivek R. Gandhewaretal. Induction Furnace - A Review / International Journal of Engineering and Technology Vol.3 (4), 2011. P. 277-284.
41. Aluminium Alloys: Their Physical and Mechanical Properties, Том 1. Jürgen Hirsch, Birgit Skrotzki, G. Gottstein John Wiley & Sons, 2008. 2450 p.
42. Simpson Technologies Corporation. URL: <http://www.simpsongroup.com>.
43. Beitrag zur Arbeitsweise von Sandslingern. Waldemar Gesell. Springer-Verlag, 2013. 152 p.
44. Bentonite and Fuller's Earth Resources of the United States. John W. Hosterman and Sam H. Patterson. USGS, Washington. 1992. 50 p.
45. William R. Keefer. Memorial to Wilbur H. Knight (1921–1998). Geological Society of America Memorials, v. 31, December 2000.
46. James Barlow. Sam Knight – The Great Geologist Who Could Take Correction From A Neighborhood Kid. URL: <http://www.wyofile.com/> - October 4, 2010.
47. History of Induction Heating and Melting. Alfred Mühlbauer. Vulkan-Verlag GmbH, 2008. 202 p.
48. Компания Alcoa. URL: <http://www.alcoa.com>.
49. Aluminum Alloys-Contemporary Research and Applications: Contemporary Research and Applications. A. K. Vasudevan, Roger D. Doherty. Elsevier, 2012. 728 p.
50. B. Closset. Production and Electrolysis of Light Metals: Proceedings of the International Symposium on Production and Electrolysis of Light Metals, Halifax, August 20-24, 1989. Elsevier, 2013. 287 p.
51. Aladar Pacz, Developer of Nonsag Tungsten. URL: <http://home.frogn.net/~ejcov/pacz.html>.
52. Hundert Jahre Aluminiumindustrie in Deutschland (1886-1986): Die Geschichte einer dynamischen Branche. Manfred Knauer. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2014. 500 p.
53. Узлов К. І. Аналіз фундаментальних положень та сучасних уявлень про зсувано-дифузійну перекристалізацію аустиніту у залізо-вуглецевих сплавах. //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. Вып.18. Дніпропетровськ., 2008. С.186 -199.
54. Ulrich Recknagel. The Shell Moulding Process: A German Innovation. Gießerei-Praxis 5/2007. P. 182 – 184. URL: <http://www.ha-international.com>.

55. Lewensky, John A. Timeline of ductile iron history. Modern Casting. Oct 1, 1998. URL: <http://www.thefreelibrary.com>.
56. Foundry Convention. Journal Steel, 1940. May 13. P. 24-26.
57. DISA. URL: <http://www.disagroup.com/>.
58. Danmarks Tekniske Universitet. URL: <http://www.historie.dtu.dk/Historie>.
59. Машиностроение. Автоматическое управление машинами и системами машин. Радиотехника, электроника и электро связь. Институт истории естествознания и техники АН СССР. Серия «Очерки развития техники в СССР». [Отв. ред. Д. М. Беркович и др.]. М.: Наука, 1970. 443 с.
60. А. с. СССР № 71704, С22С 21/10. Сплав на алюминиевой основе. /А. А. Бочвар, К. И. Портной, З. А. Свицерская. Заяв. 21.02.1942; опубл. 01.01.1948.
61. Simpson Technologies Corporation. Corporate Profile – 2012. URL: <http://www.international-foundry-forum.org>.
62. Развитие литейного производства в Украинской ССР / Ващенко К. И., Петриченко А. М., Шульте Ю. А.; Под ред. Ефимова В. А.; АН УССР, Ин-т пробл. литья, Ин-т истории, Центр исслед. науч.-техн. потенциала и истории науки. Киев: Наук. Думка, 1988. 376 с.
63. Очерки истории техники в России [Коллектив авторов]. М.: Наука, 1978. 385 с.
64. Фотографії старого Львова. URL: <http://photo-lviv.in.ua/>.
65. Археологи нашли первую в Украине литейную мастерскую времен трипольской культуры. 04 августа 2016г. УНИАН. URL: <http://www.unian.net/science/1452773>.
66. Friedrich, B.; Krone, K.; Kräutlein, C. Melt-Treatment of Aluminium –Ways to a High Performance Metal, Conference: Aluminium 2004 - 5. Weltmesse & Kongress, At Essen/Germany, 22 p.
67. P. M. Geffroy, M. Lakehal, J. Goni, E. Beaunon, J.-M. Heintz, J.-F. Silvain. Thermal and Mechanical Behavior of Al-Si Alloy Cast Using Magnetic Molding and Lost Foam Processes. Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 37A, February 2006. P. 441- 447.
68. Рубцов Н. Н. История литейного производства в СССР. Ч I. Издание 2, доп. и пераб., Гос. Научно-техн. изд-во машиностроительной л-ры, М.: 1962. с. 288.
69. Смирнов А. П. Волжские болгары. М.: Государственный исторический музей. 1951. 275 с.
70. Gillispie C. C. Science and Polity in France: The End of the Old Regime. Princeton University Press. 2004. 601p.
71. Чернов Д. К. Избранные труды по металлургии и металловедению. Рипол Классик, 1983. 447 с.

72. Куликовских С. Н. Златоустовские стальные пушки. Ресурс – Военно-исторический журнал. URL: <http://history.milportal.ru/2011/06//>
73. Темник Ю. Основатель промышленности южного края. URL: <http://lib-lg.com>.
74. Bersham Ironworks. URL: <http://www.engineering-timelines.com>.
75. Metallurgia и время : энциклопедия. В 4 т. Т. 4. Русский вклад / Ю.С. Карабасов, П.И. Черноусов, Н.А. Коротченко, О.В. Голубев. М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. 232 с.
76. Гуляев Б. Б. Литейные процессы. М. –Л.: Машгиз, 1960. 416 с.
77. Устьянцев С. Технологическая наука танкпрома. Военно-промышленный курьер. URL: <http://vprk-news.ru/articles/18655>.
78. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. СПб.: НПО «Профессионал», 2007 . 405 с.
79. David E. Palmer. Stress Ratio Effects in Fatigue of Lost Foam Cast Aluminum Alloy 356. University of Wisconsin Milwaukee, May 2014. 172 p.
80. P. Jelínek, T. Elbel. Chvorinov’s rule and determination of coefficient of heat accumulation of moulds with non-quartz base sands. Archives of Foundry Engineering. Volume 10, Issue 4/2010. P. 77 - 82.
81. Paavo Tennila. Kuka oli Nikolai Chvorinov. Valimoviesti, 2005. 2. P. 24-25.
82. Merton Flemings. URL: <http://lemelson.mit.edu/resources/merton-flemings>.
83. Конашко И. Г., Андерсон В. А., Маношина Г. Д. Опыт освоения технологии точного литья по газифицируемым моделям на предприятиях СССР. Литейное производство, 1991. №1. С. 15-16.
84. Занимательно о железе / Н. А. Мезенин. - 3-е изд., перераб. и доп. М. : Metallurgia, 1985. 175 с.
85. Robert Hadfield. URL: <http://www.broomhillonline.org.uk>.
86. Dictionary of Metals. Harold M. Cobb. ASM International, 2012. 357p.
87. Albert Marsh, Inventor, Scientist. [From Pana News-Palladium, June 5, 1997]. URL: <http://www.toaster.org/marsh.html>.
88. Ken Cherney. Robert Crooks Stanley (1876-1951) – The Grandfather of the Nickel Industry. URL: <http://www.republicofmining.com/2009/02/16/>.
89. Robert Crooks Stanley (1876 - 1951). URL: <http://mininghalloffame.ca/>.
90. Marks of Industry. URL: <http://www.archivingindustry.com>.

91. Isaac Babbitt by Gary Ash. URL: <http://forums.aaca.org/topic/275920-isaac-babbitt-the-man-behind-the-bearing-metal/>.
92. Richard Shelton Kirby. Engineering in History. Courier Corporation. 1990. 530 p.
93. Man of Steel. The Chemical Engineer. URL: <http://www.thechemicalengineer.com>.
94. Dietrich Schultze, Hermann Utschick. DTA Then, Now and Tomorrow – an Analysis Technique Celebrates its Centennial. Translated from “100 Jahre DTA – Rückblick und Ausblick”, Chemie in Labor und Biotechnik, 50.Jahrgang, Heft 12/1999, Umschau Zeitschriftenverlag Breidenstein GmbH. URL: <http://www.sump4.com/ta/dta.pdf>.
95. Haynes International. URL: <http://www.haynesintl.com>.
96. Llewellyn D. T. Steels: Metallurgy and Applications. Elsevier, 1992. 314 p.
97. The History of Stainless Steel. Harold M. Cobb. ASM International, 2010. 359 p.
98. Stainless Steel: The Steel that does not rust – part 1. www.asminternational.org.
99. What is the Hatfield Memorial lecture? URL: <http://www.sheffield.ac.uk/materials/hatfield>.
100. Richard E. Chinn. Hardnesse, Bearings, and The Rockwells. Advanced Materials & Processes. 2009, October. P. 29-31. URL: <http://www.asminternational.org>.
101. Martin Oberg. Johan August Brinell. URL: <http://www.astm.org>.
102. Hardness Tests. URL: <http://www.feis.br>.
103. Проспект Steel Type 630, 17Cr-4Ni. URL: <http://www.outokumpu.com>.
104. Materials Handbook: A Concise Desktop Reference. François Cardarelli. Springer Science & Business Media. 2008. 1339 p.
105. Guillaume Justin Kroll. URL: <http://www.france-metallurgie.com>.
106. Encyclopedia Britannica. URL: <http://www.britannica.com/biography/>
107. Магнитодинамические насосы для жидких металлов / [В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др.; Отв. ред. В. А. Ефимов]; АН УССР, Ин-т пробл. литья. Киев: Наук. думка, 1989. 254 с.
108. Комітет з Державних премій України в галузі науки і техніки. URL: <http://www.kdpu-nt.gov.ua/>.
109. Борсук П.А., Лясс А. М. Жидкие самотвердеющие смеси. Москва: Машиностроение, 1979. 255 с.
110. 50 лет в Академии наук Украины: ИЛП, ИПЛ, ФТИМС. Киев: Редакция журнала «Процессы литья», 2008. 500 с.

111. Фізико-технічний інститут металів і сплавів НАНУ. URL: <http://www.ptima.kiev.ua/>.
112. Устьянцев С. В., Колмаков Д. Г. Боевые машины УралВагонМашзавода: Т-34. Издательский дом "Медиа-Принт", 2005. 228 с.
113. Трудовой подвиг литейщиков Уралмашзавода. Библиотечка литейщика. 2015, №6. URL: <http://www.foundrymag.ru>.
114. Свири́н М. Н., Танковая мощь СССР: первая полная энциклопедия / Михаил Сви́рин. Москва: Яуза Эксмо, 2009. 635 с.
115. Абрам Моисеевич Лясс. К 100-летию со дня рождения. Литейное производство, 2011, №2, С. 39-40.
116. Robert Brooks. Making Things Better (William Alan "Al" Hunter). Foundry Management & Technology. Foundrymag.com, September 2012.
117. Шехец В. П. Комплексно-механизованная поточная линия изготовления литейных стержней и форм из жидких самотвердеющих смесей на Киевском заводе «Большевик». Технология изготовления литейных стержней и форм из жидких самотвердеющих смесей (по материалам Всесоюзного семинара, г. Киев, 5-7 июля 1965г.). ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, М.: 1965. С. 74-76.
118. Foti Ross. A Look Back at the 20th century. Coldbox Coremaking. Modern Casting, April 1, 2000.
119. Quentin R. Skrabes. Aluminium in America: A History. McFarland. 2016. 252 p.
120. Richardson I. Guide to Nickel Aluminium Bronze for Engineers. Copper Development Association Publication, № 222, January 2016. 99 p.
121. Тимофеев Л.И. Как это было: опыт внедрения технологии вакуумно-плёночной формовки (ВПФ). Литьё Украины, 2012. №2, С. 2-4, №3, с. 17-22.
122. Илларионов И. Е., Кузнецов В. П. Вакуумно-пленочная формовка. История развития и внедрения в отечественную промышленность. Заготовительные производства в машиностроении. 2008. №10. С. 3-9.
123. Sinto Group. URL: <http://www.sinto.com>.
124. Flemings M. C. Semi-solid forming: the process and the path forward. Metallurgical Science and Technology. Vol. 18 (2), 2000. P. 2-3. URL: <http://www.gruppofrattura.it>.
125. Dr. David Spencer. URL: <http://www.nsf.gov> (National Science Foundation).
126. David B. Spencer. URL: <http://www.wte.com/> (wTe Corporation).
127. Mian Wajid Ali Shan. Investigation of semi-solid metal processing route. School of Mechanical & Manufacturing Engineering, Dublin City University, April 2006. 168 p. URL: <http://doras.dcu.ie>.

128. Alfred T. Spada. Hitchiner Manufacturing Co. – Turning the Casting World Upside Down. Modern Casting, July 1998. P. 39-43.
129. Hitchiner Manufacturing Co., Inc. URL: <http://www.hitchiner.com>.
130. William A. Krivsky. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. URL: <http://www.aimehq.org/programs/award/bio/william-krivsky-0>.
131. Partil B. V., Chan A. H., Choulet R. J. Chapter 12. Refining of Stainless Steels. The AISE Steel Foundation. Pittsburg. URL: <http://www.magnetomechanical.com>.
132. ESCO Corporation. URL: <http://www.escocorp.com>.
133. Timophy J. Mason. For Georgy I. Eskin – On the occasion of his 80th birthday. journal homepage. URL: <http://www.elsevier.com/locate/ultson>.
134. Aluminium Technologies. 06.10.2015. URL: <http://web.deu.edu.tr>.
135. Apex – Aston University Alumni Magazine. Autumn 2002. 32 p. Pecypc – asto.ac.uk.
136. Компанія 3D Systems Corporation. URL: <http://www.3dsystems.com>.
137. V-SMART THERMOTECH PVT LTD. URL: <http://www.vsmartindia.com/product>.
138. Енциклопедія сучасної України. URL: http://esu.com.ua/search_articles.php?id.
139. Höhere Experimentalphysik 1. Institut für Angewandte Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main. 10. Vorlesung, 27.01.2017.
140. Donald Mc. Donald, Leslie B. Hunt. A History of Platinum and its Allied Metals. 1982. 450 p.
141. Heselwood W. C., Manterfield D. A Review of the quick-immersion thermocouple method. Platinum Metals Rev., 1957, 1, (4), P. 110-118.
142. Компанія Ube Machinery. URL: <http://www.ubermachinery.co.jp>.
143. Karandikar P. G., Aghajanian M. K. Microwave Assisted (MASS) Processing of Metal-ceramic and Reaction-bonded composites. Ceramic Engineering and Science Proceedings. 2007. Vol. 27. №2. P. 435-446. URL: <http://www.mri.psu.edu>.
144. Campbell J. Hoyt memorial lecture “Stop Pouring, start Casting”. International Journal of Metalcasting/Summer 2012. P. 1-18. URL: <http://www.afsinc.org>.
145. Cosworth sand casting process. URL: <http://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/cosworth-sand-casting-process-3278/>.
146. Company Overview. URL: <https://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=1797308>.
147. Charles J. A., Crane F. A. A.. Selection and Use of Engineering Materials. Second edition, Butterworth-Heinemann Ltd, 1989. 348 p.
148. Loramendi S.Coop. URL: http://www.loramendi.com/company_key.html
149. Advanced Lost Foam Casting. Project Fact Sheet. URL: <http://seekpart.com>.

150. Clean Steel for Foundries. Popular mechanics, November 1993. p. 18. URL: http://Popularmechanics.Googleкниги_files/books.htm.
151. Philbin, Matthew L. Steel foundrymen aim for better castings through melt control. Modern Casting, Feb 1, 1995. URL: <https://www.thefreelibrary.com/Steel+foundrymen+aim+for+better+castings+through+melt+control.-a0166738>.
152. Industry Brief. Steel Foundries. Qualex Systems Incorporated, Pittsburgh, Pennsylvania; and the EPRI Foundry Office. SIC 3325. URL: <http://infohouse.p2ric.org>.
153. Прилуцький М.І. та інші. 80 років від дня народження В. О. Лютого. Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Матеріали і технології у машинобудування». НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», ІФФ, Київ, 2017. С. 16-18.
154. Косячков В. О. Історія литва у Київському політехнічному: Кафедрі ливарного виробництва НТУУ «КПІ» 90 років [Текст] / В. О. Косячков, В. А. Гнатуш, Р. В. Лютий, А. С. Кочешков. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. 84 с.
155. Cost Benefit Analysis for GMBond. Technikon # 1411-146, November 2005. 47 p. URL: <http://www.afsinc.org>.
156. Beffort O. Metal Matrix Composites (MMCs) from Space to Earth. EMPA. 2001. 26 p. URL: <http://www.ethz.ch>.
157. Lead-Free Copper-Base Alloys. American Foundry Society. URL: <http://www.afsinc.org/content.cfm?ItemNumber=6917>
158. Standard Designation for Cast Copper Alloys. 23 May 2017. URL: <http://www.copper.org>
159. ACIPCO'S 65-Megawatt Contiarc Furnace. State of Alabama Engineering Hall of Fame. URL: <http://aehof.eng.ua.edu/members/acipcos-65-megawatt-contiarc-furnace/>.
160. Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry. BCS, Incorporated. November 2005. 52 p. URL: <http://www.enerdy.gov>.
161. Sayavur I. Bakhtiyarov, Ruel A. Overfelt. First Magnesium V-process Casting. Magnesium Technology 2004. P. 187-192. URL: <http://www.researchgate.net>.
162. Сайт компанії Mercury Castings. URL: <https://www.mercalloy.com/mercury-castings/>.
163. Casting in Action. Engineered Casting Solutions, July/August 2006. P. 44-45. URL: <http://www.afsinc.org>.
164. Владимир Исаакович Фундатор (К 110-летию со дня рождения). Литейное производство, 2013, №9, с. 20.
165. Дибров И. А., Козлов А. В. Рафинирование и модифицирование литейных сплавов с использованием сетчатых фильтров. Литейное производство, 2000, №6, С. 24-26
166. Фундатор В. И., Леви Л. И., Серебряков В.В. и др. «Фирам-процесс» - метод тонкой очистки металлических расплавов в литниковых системах. Литейное производство, 1976, №11, С. 1-3

167. Ductile Iron News. Ductile Iron Society. Issue 1, 2001. 49 p. URL: [http:// www.ductile.org](http://www.ductile.org).
168. Pipe Economy. Catalog № 56, James B. Clow & Sons Inc., Illinois. 1955. 311p. URL: <http://www.canadapipe.com>.
169. Dimitri Sensaud de Lavaud, o primeiro voador do Brasil. 14 de fevereiro de 2014. URL: <http://blog.hangar33.com.br/dimitri-sensaud-de-lavaud-o-primeiro-voador-do-brasil/>
170. Бедель В. К. Литье под низким давлением / Инж. В. К. Бедель. - Москва : Машгиз, 1961. 228 с.
171. Anders Liljas. Background to the Nobel Prize to the Braggs. 2012. P. 6. URL: <http://www.xtal.iqfr.csic.es>
172. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932-2002. Юбилейный научно-технический сборник. Под общей редакцией чл.-кор. РАН Е. Н. Каблова. М., 2002. 424 с.
173. Академик Сергей Тимофеевич Кишкин. 100 лет со дня рождения. М., 2006. 44 с. URL: <http://viam.ru>.
174. Качанов Е. Б. Состояние и перспективы развития работ по жаропрочным сплавам для лопаток турбин. Технология легких сплавов, 2005. №1-4. С. 10-18. URL: <http://p5884.shared.hs.ru>.
175. Чернов Д. К. Избранные труды по металлургии и металловедению. Рипол Классик, 1983. 447 с.
176. Föll Helmut. Iron, Steel and Swords script. URL: <http://www.tf.uni-kiel.de>.
177. Вульф Б. К., Ромадин К. П. Авиационное материаловедение. 3-е изд. перераб. и доп. М., Машиностроение, 1967. 291 с.
178. Dirk M. Schibisch. Adolf Martens – Pionier der Werkstofftechnik und Schadensanalyse. Elektrowärme international, 2015, 3. P. 123-125. URL: <http://www.sms-elothem.com>
179. Георгий Вячеславович Курдюмов (К восьмидесятилетию со дня рождения). Успехи физических наук, 1982, том 136, вып. 4. URL: <http://ufn.ru>.
180. Свенчанский А. Д., Смелянский М. Я. Электрические промышленные печи. Ч. 2. Дуговые печи. М.: Энергия, 1970. 264 с.
181. Металлургические мини-заводы : [монография] / Смирнов А. Н. [и др. ; Донецкий нац. техн. ун-т]. - Донецк: Норд-пресс, 2005. 449 с.
182. William L. Roberts, Hot Rolling of Steel. New York: M. Dekker, 1983. 1024 p.
183. История развития электросталеплавильно производства. Составители Горева Л. П., Бикеев Р.А. НГТУ, 2014. 17 с.
184. Dorsey A. Lyon, Robert M. Keeney. Electric Furnaces for Making Iron and Steel. Department of the Interior Bureau of Mines. Bulletin 67. Washington, Government Printing Office. 1914. 142 p.

185. The Complete Technology Book on Hot Rolling of Steel. Niir Project Consultancy Services, 2010p. 656 p.
186. Альтгаузен А. П., Пережогин М. И. и Свенчанский А. Д. Современное состояние и пути развития электропечестроения в СССР. Электричество, 1970. №1. С. 1-8.
187. Національний гірничий інститут, кафедра систем електропостачання, історія. URL: <http://se.nmu.org.ua>.
188. Каптерев Н. А. Обуховский сталелитейный завод. — Товарищество Р. Голике и А. Вильборг, С.-Петербург, 1913. URL: http://ava.telenet.dn.ua/bookshelf/Kapterev_N_A%20-%20OSZ/ocherk.html
189. Кулиев А. М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. – 2-е изд., переработ. Л.: Химия, 1985. 312 с.
190. Григорий Семенович Петров (К 100-летию со дня рождения). Высокомолекулярные соединения, т. XXIX, 1987. №6. С. 1330-1332.
191. C. G. Robinson and W. E. Schwabe , Ultra- High Power Electric Steel Furnace Operation. Proceedings of Electric Furnace Conference, Buffalo, NY, 1964. P. 114 – 121.
192. Чернега Д.Ф., Коровко М. В. М. І. Мозговий – інженер-металург, випускник КПІ. Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. Матеріали конференції. 2009. С. 11-13.
193. Волкович В. А. Металлургия урана и технология его соединений: курс лекций в 3ч./В. А. Волкович, А. Л. Смирнов. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2014. ч.3. 140 с.
194. Жельнис М. В. Технологические основы получения чугуновых заготовок методом непрерывного литья с дифференцированным теплоотводом : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.16.04. Киев. 1989. 53 с.
195. Подуздигов А. Ф., Ковригин О. С. Воздушно-импульсная формовка. История развития и современное состояние. Литейное производство, 2000. №5. С. 36 -38.
196. Белобров Е. А. Из истории создания выдающихся литейных технологий. Импульсная формовка. Литье Украины, 2014, №2 (162). С. х-х.
197. Григорий Семенович Петров. 1886-1957 [Текст] / В. А. Волков, Л. С. Солодкин. - Москва: Наука, 1971. 115 с.
198. Тарский В. Л. История становления литейного машиностроения. Литейное производство, 2000. №6. С. 16-20.
199. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и технологии литейн. пр-ва" / [А. П. Трухов и др.]; под ред. А. П. Трухова. - М. : АCADEMIA, 2005 (ГУП Саратов. полигр. комб.). 528 с.
200. Kjellin, Fredrik Adolf (1872 - 1910). URL: <https://digitalmuseum.org/021036972558/kjellin-fredrik-adolf-1872-1910>
201. Vivek R. Gandhewar et al. Induction Furnace - A Review/ International Journal of Engineering and Technology Vol.3 (4), 2011. P. 277-284.

202. Kevin M. McHugh, Volker Uhlenwinkel and Nils Ellendt. Density of Spray-Formed Materials. U.S. Department of Energy. June 2008. 16 p. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu>
203. Шаповалов В. И. Литье в твердом состоянии, или История одного открытия. Сообщение 1. Металл и литье Украины, 2011. №11. С. 3-9.
204. Шаповалов В. И. Литье в твердом состоянии, или История одного открытия. Сообщение 2. Металл и литье Украины, 2011. №12. С. 3-11.
205. Карпов В.Ю. Металлы и водород. Metallurgical and Mining Industry. 25.04.2014. URL: <https://www.metaljournal.com.ua/metals-and-hydrogen/>
206. Шаповалов В. И. Газоармированные материалы (газары) – 30-летний путь проблем и прогресса. Сообщений 1. Металл и литье Украины, 2001. №3. С. 3-11.
207. Ушков С. С., Круглов Л. Г., Окунев Ю. К., Филин Ю. А. Производство массивных отливок из сплавов титана. Литейное производство, 2000. №7. С. 12-13, 55.
208. Горынин И.В. и др. Проблемы создания титановых сплавов для подводных лодок. В кн. Роль российской науки в создании отечественного подводного флота /под общ. ред. А. А. Саркисова :[сост. А. А. Саркисов] : РАН. М. : Наука, 2008. с. 300. URL: http://elibrary.biblioatom.ru/text/rol-nauki-v-sozdanii-podvodnogo-flota_2008/go,308/
209. Научно-производственный комплекс «Титановые сплавы». с. 14. URL: <http://www.crisp-prometey.ru>
210. Сергієнко О. С., Бялік Г. А. Вплив гарячого ізостатичного пресування на структуру та механічні властивості жароміцних нікелевих сплавів. Металл и литье Украины, 2011. №2. С. 5-7.
211. Avure Hot Isostatic Pressing Brochure. 12 p. URL: <http://www.hasmak.com.tr>.
212. Siempelkamp. Контейнеры из ВЧШГ для безопасного хранения и транспортировки РАО. Проспект. 2012. 23 с. URL: <http://www.atomeks.ru>.
213. CASTOR : A High-Tech Product. Made of Ductile Cast Iron. 4 p. URL: <http://www.siempelkamp.com>
214. Капилевич А.Н., Гейзер Ю.В., Александров Н.Н., Ковалевич Е.В., Куликов В.И. Перспективы изготовления контейнеров из высокопрочного чугуна для транспортировки и хранения отработанного ядерного топлива. Литейное производство, 2001. №3. С. 11-12.
215. Буданов Е. Н. Стратегический рынок отливок – подъем и обновление российского автопрома. Литейщик России, 2007. №9. С. 8-14.
216. Буданов Е. Н. HMS – это более 70% производимых в мире опочных формовочных линий и машин, «цехов под ключ». Литейное производство, 2001. №5. С. 36-38.
217. Грузман В. М. Теория и технология литья в замороженные формы : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.16.04 / Уральский гос. техн. ун-т. Екатеринбург, 1993. 37 с.
218. Глебов С. М. Разработка способа изготовления керамических форм и стержней замораживанием для литья ответственных деталей центробежных насосов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.04 . Москва: 2009. 68 с.

219. Грузман Вячеслав Моисеевич. Биография. URL: <http://энциклопедия-урала.рф/>.
220. Lichý ., Elbel T., Kroupová I. Special methods for manufacturing the castings. Technical University of Ostrava. Ostrava: 2014. 103 p.
221. Оке Вест. Превращение стальных гранул в золото. Литейное производство, 2001. №6. С. 36-37.
222. Vesterberg P., Beskow K., Lundström P-A. Technology for granulating ferroalloys – the GRANSHOT® process. URL: <http://www.uht.se>.
223. Витязев Ю. Б., Самусь А. В. Прототипирование – «ускоритель» подготовки производства. Оборудование и инструмент для профессионалов, 2006. №6. С. 40-42.
224. Чернышов Сергей Иванович. URL: <https://bp.ubr.ua/profile/chernyshov-sergei-ivanovich-2391>.
225. Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. «Эксмо», 2016. 138с.
226. Скицько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. Інвестиції: практика та досвід, 2016. №5. С. 33-40 . URL: <http://www.investplan.com.ua>.
227. Глобальное исследование «Промышленность 4.0» за 2016 год. «Промышленность 4.0»: создание цифрового предприятия. Основные результаты исследования по металлургической отрасли. PricewaterhouseCoopers. URL: <http://www.pwc.com/industry40>.
228. Проект «Цифрова адженда України - 2020» («Цифровий порядок денний» - 2020). Концептуальні засади (версія 1.0). Hitech office, грудень 2016. К.: 90 с. URL: <http://ucsi.org.ua>.
229. Дорошенко С. П. Многовариантность использования ледяных моделей при литье в песчаные формы. Металл и литье Украины, 2010. №12. С. 17-36.
230. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х., Иванов Ю. Н. Проект лаборатории литья по ледяным моделям. Материалы конференции «Литье Металлургия 2013», Харьков: С. 50-52. URL: <http://www.kpi.kharkov.ua>.
231. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы / К. Сузуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото; Под ред. Ц. Масумото Пер. с яп. Е.И. Поляка Под ред. [и с предисл.] И.Б. Кекало. М.: Металлургия, 1987. 328 с.
232. Pol Duwez (1907 – 1984) Interviewed by Harriet Lyle. April 1979. Archives California Institute of Technology Pasadena, California. 77 p. URL: <http://oralhistories.library.caltech.edu>.
233. Дистанційний центр хімічної освіти
URL: http://http://zno-sumy.at.ua/index/periodichna_sistema_elementiv_dovga_forma/0-57
234. Садовий М. І., Трифонова О. М., Сергієнко В. П. Сучасні погляди на періодичну систему елементів у методіці викладання фізики. Зб. Методологічні основи забезпечення професійної компетенції студентів. Частина IV. 2010. С. 224-226.
235. Pierre Blaise Emile Martin. Grace's Guide to British Industrial History. URL: http://www.gracesguide.co.uk/Pierre_Blaise_Emile_Martin Pierre Blaise Emile Martin (-1915).

236. Pierre-Emile Martin. URL: <http://www.metaljournal.com.ua/pierre-emile-martin/>.
237. James Moore Swank. History of the Manufacture of Iron in All Ages: And Particularly in the United States from Colonial Time to 1891. Cambridge University Press, 2011. 580 p.
238. Open hearth furnace of Pierre-Émile Martin in Sireuil. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Open_Hearth_Sireuil.jpg.
239. Мухин М.Ю. Авиапромышленность СССР в 1921-1941 годах / М.Ю. Мухин ; [отв. ред. А.К. Соколов] ; Ин-т рос. истории РАН. М.: Наука, 2006. 320 с.
240. Соболев Д.А. Экспериментальные самолёты России. 1912–1941 гг. М.: «Русское авиационное общество», 2015. 296 с.
241. Ребров В.И. Наши корни: очерки по истории Кольчугинского края: Кн. 2/ В.И. Ребров. - Кольчугино, 2001. 281 с.: URL: <http://libkolch.ru/malaya-rodina/elektronnaya-biblioteka-knig-o-kolchuginskom-krae/knigi-ob-istorii-goroda-i-rayona/>
242. Белов В. Д., Батышев А. И. 85 лет кафедре «Технология литейных процессов» НИТУ «МИСиС». М. НИТУ МИСиС», 2015. 134 с.
243. Каблов Е. Н., Петрова А. П. 120 лет со дня рождения И.И. Сидорина. ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2007. 40 с. URL: <http://viam.ru>
244. Саукке М. Б. Неизвестный Туполев. М.: Фонд содействия авиации «Русские витязи», 2006. 192 с.
245. VOLVO. A foundry with a vision. 32 p. URL: <http://www.gjuterihandboken.se>
246. Volvo Truck Corporation. INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL AWARD TO VOLVO'S FOUNDRY. Press release. Göteborg, Sweden, June 2002. 3 p. – URL: <http://www.waymaker.net>
247. Gosch R., Stika P. Das ROTACAST®-Gießverfahren – millionenfach für Aluminiumzylinderköpfe in der Serie bewährt. Gießerei-Rundschau, 52, 2005. 7/8. P. 170-173.
248. History of ExOne. URL: <http://www.exone.com/About-ExOne/History>.
249. ExOne GmbH. URL: <https://www.european-business.com/exone-gmbh/portrait/>
250. World's first emission-free foundry. BMW Group. 16.10.2009. URL: <https://www.press.bmwgroup.com/portugal/article/detail/T0059154PT/world-s-first-emission-free-foundry?language=pt>
251. BMW. Light Metal Foundry. URL: <https://www.bmwgroup-plants.com/landshut/en/products/light-metal-foundry.html>
252. Бурлака О. Новий розумний гумоподібний матеріал збільшує власну жорсткість від навантаження. 17.02.2018. URL: <https://scienceukraine.com/allnews/human-activity/tech/smart-robber-metal-composite/>
253. Rückblick auf die Euroguss 2016. Giesserei Rundschau, 63 (2016). Heft ½. S. 33-35.

254. Комплексный термический анализ: учебное пособие / В.И. Альмяшев [и др.] / Под ред. В.В. Гусарова. СПб.: Изд-во "Лема", 2017. 193 с.
255. Соловьев Ю.И., Звягинцев О.Е. Николай Семенович Курнаков : Жизнь и деятельность : [100 лет со дня рождения. 1860-1960] / Акад. наук СССР. Ин-т общей и неорганич. химии им. Н.С. Курнакова. Ин-т истории естествознания и техники. - Б. м. : Изд-во Акад. наук СССР, 1960. 207 с.
256. Morton D.O., Bryant M.D.B. 75 years of inoculation techniques. *British Foundryman*, 1979. P. 183-186. URL: <http://www.ceesvandevelde.eu/75yearsofinoculation.htm>.
257. Catholic Schools of South to Benefit by August Meehan Will. *The Bulletin of the Catholic Laymen's Association of Georgia*/ May 6, 1933.
258. Ювал Ной Харарі Людина розумна. Історія людства від минулого до майбутнього. Переклад з англ. Клуб сімейного дозвілля. Харків. 2016. 544 с.
259. Історія України: Неупереджений погляд: Факти. Міфи. Коментарі / В. В. Петровський, Л. О. Радченко, В. І. Семененко. Вид. 2-ге, випр. та доп. Х.: ВД «ШКОЛА», 2008. 603 с.
260. Iron Pagoda at Yuquan Temple in Dangyang of Hubei Province. URL: <http://www.china.org.cn/english/TR-e/43293.htm>
261. Білушак Т. М. Стан озброєності Високого замку у Львові за актовими джерелами. *Lviv Polytechnic National University Institutional Repository*. 2013. С. 24-29. URL: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/21405/1/6-24-29.pdf>
262. Волошенко В. Витоки художнього металу Львова (досвід міських металообробних цехів XIV – XVIII ст.). *ВІСНИК Львівської національної академії мистецтв*. Вип. 31. С. 161-173.
263. Литейный двор и мастерские Академии Художеств. Архитектурній сайт Санкт-Петербурга. URL: <http://www.citywalls.ru/house9894.html>
264. Barrie Trinder . Reynolds, Richardfree (1735–1816). 23 September 2004. URL: <http://www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-23433>
265. Баташев А. Н., Трофимов С. В. Баташевы. Большая российская энциклопедия. URL: http://bigenc.ru/domestic_history/text/1864398
266. Устроители передовой металлургии. Виртуальная Выкса. URL: <http://vyksa.ru/virteks/nizhn/bratbat.php>
267. Кривуц Ю. Н. Промышленная революция в Англии – сигнал и стимул к изменению идеологии внешней торговли. *Вісник Харківського Національного університету ім. В. Н. Каразіна*, № 1086, 2013. С. 21-27.
268. Gregory Clark. The British Industrial Revolution, 1760-1860. Spring 2005. 65 p. URL: <http://faculty.econ.ucdavis.edu/faculty/gclark/ecn110b/readings/ecn110b-chapter2-2005.pdf>
- 269 . Industrial Biography. URL: <http://public-library.uk/ebooks/48/93.pdf>

270. Alessandro Nuvolari, Valentina Tartari. The Quality of English Patents, 1617-1841: some new estimates using multiple indicators. 2015. P. 19. URL: <http://www.ceistorvergata.it/public/CEIS/file/seminari/2015/Nuvolari.pdf>
271. Centrifugal Casting. 60 p. URL: http://mimoza.marmara.edu.tr/%7Ealtan.turkeli/files/cpt-9-centrifugal_casting.pdf - Tube
272. HARRISON GILMER. BIRTH OF THE AMERICAN CRUCIBLE STEEL INDUSTRY. 1953. P. 17-36. URL: <https://journals.psu.edu/wph/article/download/2428/2261>
273. ALASTAIR A. JACKSON. The Development of Steel Framed Buildings in Britain 1880 – 1905. Construction History Vol. 14. 1998. P. 21-40. URL: <https://www.arct.cam.ac.uk/Downloads/chs/final-chs-vol.14/chs-vol.14-pp.21-to-40.pdf>
274. Лапаева Л. В. Возникновение и развитие металлургической промышленности в России (до 1917г.). Вестник ОГУ. 2005, 6. С. 52-62. http://vestnik.osu.ru/2005_6/10.pdf
275. Потребление железа в России : Экон.-стат. очерк со стат. и граф. табл. в тексте / Ип. Гливиц, горн. инж. - Санкт-Петербург, 1913 (Варшава : Науч. тип.). - VIII, 134 с.
276. Пыхалов И.В. Развитие черной металлургии в российской империи. Проблемы современной экономики, 2017. № 1 (61). С. 221-227. URL: <http://www.m-economy.ru/>
277. Рукосуев Е.Ю. Развитие черной металлургии Урала в 1880-1917 гг. Историчний архів, Випуск 12. 2014. С. 82 -88. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/76876/11-Rukosuev.pdf?sequence=1>
278. Николай Гаврилович Славянов (1854-1897). Самые знаменитые изобретатели России / Автор-составитель С.В. Истомина. М.: Вече, 2000. 469 с.
279. Кан Р.У. Становление материаловедения / Авториз. пер. с англ. Т.К. Лабутиной; под ред. проф., доктора физ.-мат. наук В.Н. Чувильдеева. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. 619 с.
280. The Preston of the Guinier-Preston Zones. Guinier. METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A. VOLUME 41A, AUGUST 2010. P.1873-1882.
281. Guillaume Kroll (1889-1973) et la Villa Leclerc. Ons Stad. 2011, Nr 98. P.72. URL: http://onsstad.vdl.lu/uploads/tx_newsflippingbook/ons_stad_98-2011_1-72.pdf
282. Ващенко К. И. Воспоминания. Сборник научных и методических трудов КПИ к 50-летию инженерно-физического факультета. Часть 1. Украинский дом экономических и научно-технических знаний, К. 1994. 131 с.
283. Keith D. Millis. The Invention of Ductile Iron... In Millis' Own Words. 8 p. URL: <http://www.rastgar.com/wheel-hubs/document/paper-1.pdf>
284. Жулин О.В. Перспективи і загрози соціально-економічного розвитку України в умовах Четвертої промислової революції / О.В.Жулин // Економіка та управління на транспорті. – К.: НТУ, 2017. Вип. 4. С. 97-108. <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2017-04/097-108.pdf>
285. Sturgis (1849, 1851, 1853). URL: <https://circuitousroot.com/artifice/letters/press/noncomptype/casters/index.html>

286. Алюминиевый вестник. Тема номера «Алюминиевые мосты». 2017, август, выпуск 7. 12 с. URL: <http://www.aluminas.ru/upload/documents/vestnik.AA.august2017.pdf>
287. Subodh K. Das and J. Gilbert Kaufman. ALUMINUM ALLOYS FOR BRIDGES AND BRIDGE DECKS. Aluminium Alloys for Transportation, Packing, Aerospace, and Other Applications. Edited by Subodh K. Das, Weimin Yin. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2007. P. 61-72. URL: http://www.phinix.net/services/Aluminum_Products_Processes/Aluminum_Alloys.pdf
288. Болтрик Ю.В. Товста Могила [Электронный ресурс]. URL: http://www.history.org.ua/?termin=Tovsta_Mohyla
289. Слово скорботи про Бориса Миколайовича Мозолецького. Археологія, 1993. № 4. С. 3-4.
290. Мозолецький Б. М. Скіфський степ. К., Наукова думка, 1983. 199 с.
291. Городецький В. І. Технологія виготовлення ювелірних прикрас «Художнє травлення» (спеціалізація художня обробка металу) : навчальний посібник / В. І. Городецький. – Івано-Франківськ, 2013. 180 с.
292. Scythian/Saka Art. Chapter IV
URL: http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/165132/8/08_chapter%204.pdf
293. Third Space Processing Symposium Skylab Results. April 30 – May 1 -1974. Alabama. 40 p.
294. Norsk Titanium Reveals Rapid Plasma Deposition™ at the 2016 Farnborough International Airshow. URL: <https://www.businesswire.com/news/home/20160701005132/en/Norsk-Titanium-Reveals-Rapid-Plasma-Deposition%E2%84%A2-2016>
295. Spirit, Norsk Titanium start qualification of 3D printed titanium parts for 787. URL: <https://www.3ders.org/articles/20180717-spirit-norsk-titanium-start-qualification-of-3d-printed-titanium-parts-for-787.html>
296. Norsk Titanium . Technology. Rapid Plasma Deposition™ is the platform technology that brings manufacturing into the twenty-first century. URL: <http://www.norsktitanium.com/technology>
297. 110 років від дня народження видатного фізика, академіка АН УРСР Віталія Івановича Данилова (10.04.1902–19.03.1954). URL: <http://nbuv.gov.ua/node/600>
298. На общих собраниях Академии наук Украинской ССР и ее отделения физико-математических и химических наук. Борзяк П. Успехи физических наук. 1951, декабрь. Т. XLV, вып. 4. С. 622 – 629. URL: <http://nfn.ru>
299. Метод Чохральського: история и развитие. Маянов Е. П., Гасанов А. А., Наумов А. В. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2016. Т. 19, № 1. С. 59—70.
300. Talik E., Oboz M. Czochralski Method for Crystal Growth of Reactive Intermetallics. ACTA PHYSICA POLONICA A. Vol. 124 (2013), No. 2, p. 340-343. URL: <http://przyrbwn.icm.edu>
301. Jan Czochralski: his life and work. URL: https://www.nauka.gov.pl/en/the-jan-czochralski-year_1/jan-czochralski-his-life-and-work,akcja.pdf.html

302. The Chochralski method (CZ). URL: <https://www2.fkf.mpg.de>
303. Fritzsche Hartmut. Zur Enthüllung der Gedenk-Tafel für Adolf Sieverts am 14. März 2013. URL: <https://www.chemgeo.uni-jena.de>
304. Walter Rosenhain 1875 – 1934. P. 352-359. URL: <http://www.rsbm.ruylalsocietypublishing.org>
305. National Physical Laboratory. Walter Rosenhain. URL: <http://www.npl.co.uk/people/walter-rosenhain>
306. 2218 Aluminium Forged Products Billet for Airplane Engine Cylinder Head. URL: <http://www.aluminumalloyplate.com>
307. London Metal Exchange: a history. Telegraph, 03 Dec. 2010. URL: <https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/industry/mining/8179224/London-Metal-Exchange-a-history.html>
308. Плазменно-индукционная установка ИСТП-016. URL: <http://www.ptima.kiev.ua/>
309. Брейтерман А.Д. Цветные металлы / Проф. А.Д.Брейтерман. - М.; Л.: гос. изд., 1925. - 60, [2] с. : табл., диагр. ; 28 см. - (Богатства СССР / Под ред. А.Ф.Арского ; Вып.5).
310. Julihn C. E. Summarized Data of Copper Production. The Common Metals Division, Economics Branch Bureau of Mines. U. S. Government Printing Office, Washington. 1928. P.40
311. Grassi, J., Campbell, J., Hartlieb, M., and Major, J., “Ablation Casting”, in Aluminum Alloys: Fabrication, Characterization, & Applications, Weimin Yin & Subodh K. Das, eds., (TMS, the Minerals, Metals, and Materials Society, 2008), pp. 73-77. URL: <https://www.researchgate.net/publication/250351372>
312. Grassi J., Campbell J., Hartlieb M. and Major F. The Ablation Casting Process. Materials Science Forum. Trans Tech Publications, Switzerland. 2009, pp 591-594. URL: www.scientific.net
313. O. Hardouin Duparc. Alfred Wilm et les debuts du Duralumin. La Revue de Metallurgie-CIT/Science et Genie des Materiaux, mai 2004. pp. 63-77.
314. Бочвар Андрей Анатольевич (1902—1984). Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». URL: http://www.biblioatom.ru/founders/bochvar_andrey_anatolevich/
315. Fathi Habashi. Wilhelm Justin Kroll (1889-1973). Laval University, June, 2018. p. 6. URL: https://works.bepress.com/fathi_habashi/338/
316. Marianne Lambert. AndreÂ Guinier (1911-2000). Acta Crystallographica Section A. Foundations of Crystallography. Acta Cryst. (2001). A57, p. 1-3.
317. Dimensionless Physical Quantities in Science and Engineering. Josef Kunes, Elsevier, 2012. p. 441.
318. Harry Dietert and his famous Harrymobile. Monday, August 16, 2010. URL: <https://joeherringjr.blogspot.com/2010/08/harry-dietert-and-his-famous.html#.XNMRjkh3cc>
319. Національна академія наук України. Видатні досягнення. 1918—2018. — К.: «Фенікс», 2018. — 320 с.

319. Иннокентий Александрович Онуфриев: (К 60- летию со дня рождения).Ж. Литейное производство, 1971, №11, с. 47.
320. Иван Васильевич Рыжков (16.06.1923 — 25.12.1982) — советский учёный-литейщик, лауреат Ленинской премии (1967). URL: <http://www.shukach.com/ru/node/44175>
321. Георгий Павлович Борисов (к 80-летию со дня рождения). Процессы литья. 2010. №3 (81), с. 78-80.
322. 50th Anniversary Celebration: 46th Sagamore Army Materials Research Conference on Advances and Needs in Multi-Spectral Transparent Materials Technology by James M. Sands and James W. McCauley. Army Research Laboratory. September 2008. P. 170.
323. 70 лет Шинскому Олегу Иосифовичу. Процессы литья. 2015. № 6 (114), с. 71-72.

Коротко про автора



Гнатуш Віталій Аполонович, народився 1 січня 1945р. в с. Бужанка, Лисянського р-ну, Черкаської обл. У 1963р. закінчив 117 середню школу ім. Лесі Українки в м. Києві. Отримав кваліфікацію «Інженер-металург» у Київському політехнічному інституті по кафедрі «Машини та технології ливарного виробництва» (1968р.). У подальшому працював на кафедрі ливарного виробництва НТУУ «КПІ» (27 років), у АТЗТ «Інтер-Контакт» (3 роки) та Інформаційно-аналітичному центрі «Держзовнішінформ» (10 років). Ступінь кандидата технічних наук отримав у 1981р. за роботу «Модифицирование редкоземельными металлами алюминиево-кремниевых сплавов». У доробку більше 170 наукових і аналітичних статей.

Реалізував у співавторстві три книжкових проекти: «**Справочник бизнесмена. Цветные металлы: алюминий, медь, титан**» (2007), «**Горно-металлургический комплекс Украины. Цифры, факты, комментарии. 2009**» (2016, електронна версія), «**Історія ливарства у Київському політехнічному інституті**» (2015). З 2009р. незалежний аналітик, пишу аналітичні статті стосовно товарних ринків, виконую маркетингові дослідження. Ваші побажання, пропозиції та коментарі стосовно книги «**Метали: полорож у часі**» очікую на електронну адресу: vgnatush@gmail.com.