

## ВІДГУК

офіційного опонента Шинського Олега Йосиповича на дисертаційну роботу *Крейцера Кирилла Олександровича «Технологічний процес одержання виливків із магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту» за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво*

### 1. Актуальність теми дисертації та відповідність роботи спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

Тенденції розвитку промисловості і машинобудування вимагають розвитку технології лиття легких сплавів. Дані сплави мають вирішальні значення для авіакосмічної, машинобудівної та автомобільної галузей.

У сучасній техніці найбільш актуальним є розвиток магнієвого виробництва. Магній – найбільш легкий конструкційний матеріал в промисловості, його густина всього  $\rho = 1800-1900 \text{ кг / м}^3$ . З цього випливає, що він в 6 разів легше сталі і в 1,5 рази легше алюмінію, що дозволяє знижувати масу виробів на 30%. При такій низькій густині магній має високу питому міцність, якою поступається тільки титану, питому вібраційну стійкість і жорсткість. Його питома ударна міцність в 200 разів вище ніж у дюралюмінію і в 300-500 разів вище ніж у титану. Крім високих характеристик цей метал дуже конкурентоспроможний в рамках ринкової економіки. Магнієві сплави застосовуються в багатьох галузях промисловості (корпусу електроінструментів), біоінженерії та ін. Вироби з магнієвих сплавів легко утилізуються, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу і безпечні при контакті з людиною.

Але магній має велику спорідненість з киснем і воднем та низьку корозійну стійкість, що призводить до загоряння при отриманні магнієвих сплавів.

Актуальність та економічна значимість роботи обумовлена зростаючою потребою у якісних легковагих виливках з магнієвих сплавів, обсяг виробництва яких у світі перевищив вже 400 тис. тонн /рік і щорічна потреба у литих виробах з цих сплавів зростає на 30 тис тонн. Розширення виробництва



виливків стримується недосконалістю існуючих методів захисту магнієвих сплавів від окислювання, як основного фактора одержання литих виробів з стабільною споживчою якістю. Незважаючи на велику кількість наукових робіт з удосконалення технології плавки і лиття під тиском магнієвих сплавів, цей науковий напрям має значну кількість проблемних питань прикладної науки. Для створення науково обґрунтованої і перспективної технології одержання виливків з магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту необхідно додатково виконати теоретичні та експериментальні дослідження по розробці адаптивної системи захисту від загоряння з визначенням оптимального складу суміші захисних газів та підвищенням динамічних характеристик вузлів машин лиття під тиском з гарячою камерою пресування.

Зв'язок роботи з науковими планами, темами. Актуальність роботи підтверджується тим, що її виконання пов'язано з тематичними планами Одеського національного політехнічного університету, виконанням держбюджетних науково-дослідних робіт за темами: №86-28 «Підвищення якості виливків із залізовуглецевих та кольорових сплавів за рахунок керування ливарними процесами» (№ ДР 0114U000637), НДР III-08-17-670 «Процеси формування структури та властивостей алюмінієвих, магнієвих і титанових сплавів при концентрованому нагріванні та перемішуванні розплавів у вакуумі» (№ ДР 0117U002601, 2017-2019) та госпдоговірної теми № 1737 – 28 «Аналіз та розробка методики експериментального дослідження фізичних параметрів поверхневого натягу рідких сплавів».

Мета і завдання дослідження. Дослідження та створення нових технологічних процесів одержання складних тонкостінних виливків з магнієвих сплавів з газовим захистом розплаву в плавильних та роздаткових агрегатах комплексу лиття під тиском.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Розробити методики та устаткування для досліджень впливу складу



захисної суміші на окиснюваність, механічні властивості, поверхневий натяг розплаву магнієвих сплавів безпосередньо у металоємних агрегатах з газовим захистом, визначити основні фактори впливу.

2. Встановити закономірності впливу безперервного газового захисту розплаву магнієвих сплавів на основі сірчистого ангідриду  $SO_2$  і співвідношення хлору  $Cl_2$  та водню  $H_2$  на корозійну стійкість виливків з магнієвого сплаву МЛ5 ГОСТ2856-79.

3. Встановити закономірності одержання магнієвих сплавів з використанням імпульсної подачі газової суміші для захисту магнієвого розплаву, провести регресивний аналіз одержаних результатів.

4. Визначити вплив імпульсної дії газової захисної суміші розплаву на механічні властивості виливків з магнієвих сплавів.

5. Обґрунтовано вибрати вихідні данні для створення автоматизованої системи контролю і регулювання при модернізації плавильних та роздаткових агрегатів при одержанні високоякісних виливків з магнієвих сплавів.

6. Створити нові технологічні процеси виробництва складних тонкостінних виливків з магнієвих сплавів, які мають газовий захист розплаву в плавильних та роздаткових агрегатах комплексу лиття під тиском.

7. Доопрацювати обладнання і автоматизовані системи управління комплексу лиття під тиском з безперервним та імпульсним процесом газового захисту розплаву для лиття магнієвих сплавів у вакуумовані прес-форми, а також розробити автоматизовані системи контролю та керування процесами та обладнанням.

8. Провести аналіз експлуатаційної надійності створених технологій, модернізованого обладнання та систем контролю і керування газовим захистом розплаву магнію в плавильних і роздаткових агрегатах комплексів лиття під тиском радіаторів з магнієвих сплавів.

9. Провести дослідно-промислову перевірку створених технологічних процесів і обладнання для їх реалізації з використанням нової конструкції радіатора з магнієвих сплавів взамін аналогів з алюмінієвих сплавів.



10. Розробити техніко-економічне обґрунтування щодо організації виробництва радіаторів з магнієвих сплавів взамін аналогів з алюмінієвих.

Згідно вищезазначеному, надана до розгляду дисертаційна робота є актуальною, а представлений матеріал наукових досліджень змістовно відповідає спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

2. Новизна наукових положень і результатів, отриманих особисто здобувачем і поданих на захист

Здобувачем одержано наступні важливі наукові результати:

2.1. Вперше розроблено методику та устаткування для досліджень поверхневого натягу рідких металів безпосередньо у металоємних агрегатах з газовим захистом розплаву магнію, визначено основні фактори впливу на поверхневий натяг, як хімічний склад і температура сплаву, склад і витрати захисної суміші, включаючи сірчистий ангідрид  $\text{SO}_2$  і гексофторид сірки  $\text{SF}_6$ , а також експериментальний сплав, в якості якого прийнято МЛ5 ГОСТ 2856-79 та його аналоги.

2.2. Вперше для розробки технологічного процесу лиття магнієвих сплавів з газовим захистом рідкого металу, дослідження впливу та оптимізації складу захисної газової суміші на окиснюваність, механічні властивості магнієвих сплавів при їх одержанні в металоємних плавильних агрегатах був створений стенд на базі машини лиття під тиском з гарячою камерою пресування мод. CP MGH 400 з системою автоматизованого керування складом, витратами захисної газової суміші.

2.3. Вперше встановлені закономірності впливу безперервного газового захисту розплаву магнієвих сплавів на основі сірчистого ангідриду  $\text{SO}_2$  і співвідношення хлору  $\text{Cl}_2$  та водню  $\text{H}_2$  на корозійну стійкість виливків з магнієвого сплаву МЛ5 ГОСТ2856-79 і при цьому визначено, що на зростання корозійної стійкості цих сплавів істотно впливає вміст  $\text{SO}_2$  (0,12-0,70 л/хв), значення його обернено пропорційно змінюється з 7 до  $12 \cdot 10^{-3}$  г/м<sup>2</sup>год, тобто в 1,7 рази; встановлені також оптимальні витрати  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  в суміші захисних газів, які знаходяться в межах 0,12-0,25 л/хв, 3,0-4,0  $10^3$  м<sup>3</sup>/кг та 0,002-0,004



м<sup>3</sup>/кг, а це дає змогу досягти мінімізації окиснюваності за критерієм масового коефіцієнту корозії виливків з магнієвого сплаву типу МЛ5 ГОСТ2856-79 до значень  $7-8 \cdot 10^{-3}$  г/м<sup>2</sup>год.

2.4. Вперше встановлені закономірності одержання магнієвих сплавів з використанням імпульсної подачі газової суміші для захисту магнієвого розплаву, де у якості факторів були обрані – температура  $T_1$  і поверхневий натяг сплаву  $\sigma$ , вміст сірчистого ангідриду SO<sub>2</sub> і гексофториду сірки SF<sub>6</sub>, а у якості відгуку – час існування захисної плівки (до загоряння), проведений аналітично-регресивний аналіз одержаних результатів і при цьому визначено, що зростання межі руйнування захисної плівки для магнієвих сплавів  $Y$  істотно впливає вміст SO<sub>2</sub> (0,2-0,8 %), тобто при зростанні вмісту SO<sub>2</sub> значення  $Y$  обернено пропорційно спадає з 420 до 140 с, тобто зменшується втричі, встановлено також оптимальні параметри названих основних факторів впливу на імпульсну обробку розплаву магнію, які знаходяться для значень вмісту SO<sub>2</sub> і SF<sub>6</sub>,%,  $T_1$  і  $\sigma$  в межах 660-700 і 520-550 дін/м,  $3,0-4,0 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/кг та 0,002-0,004 м<sup>3</sup>/кг, а це дає змогу досягти підвищення порогу існування плівки на поверхні магнієвого розплаву в межах 560-620 с. Водночас встановлено, що витрати складових захисної суміші, а саме SO<sub>2</sub> і SF<sub>6</sub>, при їх імпульсній подачі в 12 разів і 19 разів нижчі у порівнянні з технологією безперервної подачі цих захисних газів у атмосферу плавильного агрегату.

2.5. Досліджені закономірності впливу названих технологічних параметрів імпульсного захисту магнієвих сплавів у порівнянні з традиційним «флюсовим», за результатами аналітично-регресивного аналізу одержаних даних встановлено, що за значеннями коефіцієнту вагової корозійної стійкості,  $K_{\text{ваг}}$  та глибинним показником корозійної стійкості  $\Pi$ , під дією атмосфери навколишнього середовища вказані характеристики для сплаву МЛ5 ГОСТ2856-79, у одержанні якого використовується газовий захист становлять 0,008 г/м<sup>2</sup>год і 0,04 мм/рік, а за традиційним «флюсовим» методом аналогічні характеристики відповідають значенням 2,01 г/м<sup>2</sup>год і 10,3 мм/рік, тобто величина корозії в



останньому вища в 250 і 260 разів відповідно.

2.6. Вперше визначено вплив імпульсної дії газової захисної суміші розплаву на механічні властивості виливків з магнієвих сплавів, одержаних під високим тиском і при цьому встановлено, що за умов варіювання технологічних параметрами, як вмісту сірчистого ангідриду  $\text{SO}_2$  та поверхневого натягу і температури розплаву, значення міцності, відносного видовження та твердості МЛ5 може знаходитись в межах 140-285 МПа, 1,1-3,1, 80-100 НВ відповідно. Водночас слід відзначити, що величина міцності, пластичності перевищує аналогічні характеристики для виливків зі сплаву МЛ5, що визначені у ГОСТ 2856-79 для лиття під тиском у 1,5 та 3 рази відповідно.

2.7. Завдяки комплексному дослідженню впливу основних факторів створеної імпульсної технології, включаючи температуру  $T_1$  і поверхневий натяг сплаву  $\sigma$ , вміст сірчистого ангідриду  $\text{SO}_2$  і гексофториду сірки  $\text{SF}_6$ , а у якості відгуків – час існування захисної плівки (до загоряння) розплаву, корозійна стійкість і механічні властивості виливків з магнієвих сплавів, стало можливим розробити вихідні дані для послідуєчого створення автоматизованої системи контролю і регулювання, модернізувати плавильні та роздаткові агрегати для одержання високоякісних виливків з магнієвих сплавів, в першу чергу, за технологією лиття під тиском, включаючи у вакуумовані форми.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів і рекомендації, що сформульовані у роботі, забезпечуються науковим підходом до проведення експериментів і досліджень з використанням сучасних методик, математичних методів і комп'ютерних програм. Застосування сучасних методів дослідження та узгодження розрахункових даних з експериментальними гарантує достовірність наукових результатів, яка підтверджена успішною дослідно-промисловою перевіркою розроблених технологій. За науковим вмістом, достовірністю та обґрунтованістю основних положень робота Крейцера Кирила Олександровича на тему «Технологічний процес одержання виливків із магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту» повністю відповідає вимогам до кандидатських дисертацій.



#### 4. Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь використання

На основі досліджень закономірностей та особливостей впливу основних технологічних факторів на якість литих виробів з магнієвих сплавів створені нові технологічні процеси та обладнання.

4.1. Проведені дослідно-промислові перевірки створених технологічних процесів і обладнання для їх реалізації з використанням нової конструкції радіатору з магнієвих сплавів взамін аналогів з алюмінієвих сплавів, які є перспективною продукцією на внутрішньому та зовнішньому ринку споживання. Водночас проведені дослідження щодо стабільності, надійності, довговічності технологічних процесів та обладнання для їх реалізації, що дало змогу розробити техніко-економічне обґрунтування щодо організації виробництва радіаторів з магнієвих сплавів взамін аналогів з алюмінієвих сплавів у обсязі 1 000 000 шт./рік.

4.2. Для проведення дослідно-промислової перевірки щодо стабільності, надійності, довговічності технологічних процесів та обладнання комплексу лиття під тиском був обраний радіатор Р300МгЛ з магнієвого сплаву МЛ5 ГОСТ 2856-79 та Р300АЛ алюмінієвого сплаву АК12 ДСТУ 2839-94 що дало змогу встановити основні характеристики для цих конструкцій водночас, а саме: для радіатора Р300МгЛ: маса - 7,2 кг, номінальний тепловий потік - 800 Вт; питома маса 9кг/КВт, а для радіатора Р300АЛ: маса - 9,2 кг, номінальний тепловий потік - 730Вт; питома маса 12,6кг/КВт, тобто за умов організації виробництва радіаторів з заміною Р300АЛ на Р300МгЛ, маса останнього зменшується у 1,3 рази, а питома маса в 1,4 рази відповідно.

4.3. Порівняльний аналіз ефективності організації виробництва радіаторів з магнієвих сплавів взамін аналогів з алюмінієвих сплавів у обсязі 1 000 000 шт./рік показав, що при реалізації проекту виробництва литих радіаторів з магнієвих сплавів за рахунок зменшення витрат основних і допоміжних матеріалів, електроенергії, фонду заробітної плати, собівартості показники річного чистого прибутку становлять 82 000 000 грн. (3 280 000 USD) і термін окупності проекту 1 рік, проти аналогічних показників лиття продукції з



алюмінієвих сплавів у 52 500 000 грн. (2 100 000 USD) і 1,5 року відповідно. За розрахунком на одиницю продукції литих радіаторів з магнієвих сплавів типу МЛ5 ГОСТ2856-79 собівартість і чистий прибуток становитимуть 110 грн.(4,5 USD) і 85 грн.( 3,5 USD).

Результати роботи пройшли промислові випробування на підприємстві “BAMAX Poland Sp.zoo”, Польща (акт від 22.10.2015) та у Державному підприємстві «Інженерний центр литва під тиском», Україна (акт від 20.11.2017). Встановлено, що нова імпульсна система відповідає необхідному рівню надійності та підтверджено переваги створеного технологічного процесу виготовлення литих радіаторів з магнієвих сплавів.

Запропоновано також методики і моделі, які впроваджені в навчальний процес Одеського національного політехнічного університету при вивченні дисциплін «Теоретичні основи ливарного виробництва», «Моделювання та оптимізація технологічних систем» та «Спеціальні способи литва».

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і результати, що представлені в дисертації, пройшли апробацію на конференціях: V і XI-XIII, XV міжнародних науково-практичних конференціях «Литво 2010, 2015-2017, 2019», м. Запоріжжя; VI міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейной индустрии» Київ, 2010; науково-практичній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» 2013, Краматорськ; VI міжнародній науково-технічній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні», (м. Київ, 2014); Proceedings 5-th International conference «Economics and Management-Based on New Technologies» Emont 2015, Vrnjaska Banja, Serbia; VIII міжнародній науково-технічній конференції «Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві» м. Краматорськ, 2019.

Основні положення дисертаційної роботи викладені в 23 друкованих роботах, в тому числі: в 7 статтях в наукових фахових виданнях, 1 з яких – у закордонному виданні, 1 – у виданні, що входить до міжнародної



наукометричної бази Scopus, в 11 тезах доповідей на міжнародних науково - технічних і науково - практичних конференціях та 5 статтях в інших виданнях.

Дисертаційна робота складається з вступу, основної частини - п'яти розділів з висновками для кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел із 160 найменувань та 10 додатків. Загальна частина дисертації викладена на 223 сторінках, містить 43 рисунки і 29 таблиць. Загальний обсяг роботи - 168 сторінок.

Аналіз друкованих праць в фахових журналах та доповідей на вітчизняних і міжнародних конференціях дають підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в дисертаційній роботі Крейцера Кирила Олександровича, повністю висвітлено в наукових працях.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації й достатньо повно відбиває основні наукові результати, отримані здобувачем.

#### Рекомендації щодо використання результатів дослідження.

Результати досліджень наданих у дисертації Крейцера Кирилла Олександровича щодо створення та вдосконалення технологій виробництва литих виробів з магнієвих сплавів з використанням модернізованих плавильних агрегатів і машин лиття під тиском, а також досвід дисертанта практичного використання своїх розробок у виробництві доцільно використати при створенні типових модулів одержання литих виробів з магнієвих сплавів у серійному виробництві на вітчизняних ливарних заводах, в першу чергу, для забезпечення ремонту військової техніки ЗСУ.

Результати досліджень щодо створення технології та досвід практичного використання виробництва литих виробів з магнієвих сплавів можуть бути рекомендовані для використання науковими працівниками спеціалізованих кафедр і наукових установ, інженерно-технічними спеціалістами підприємств, які займаються виробництвом виливків з магнієвих сплавів, а також в навчальному процесі під час вивчення дисциплін: «Теорія ливарних процесів», «Теоретичні основи формування виливків», «Технологія спеціальних способів лиття».



За матеріалами дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження

1. Дисертант не обґрунтував вибір у якості дослідницького сплаву саме магнієвого сплаву МЛ5 ГОСТ 2856-79.
2. В роботі не обґрунтовано вибір, вміст, витратні характеристики у якості захисних газів (сірчистого ангідриду  $SO_2$  і гексофториду сірки  $SF_6$ ), для захисту рідких магнієвих сплавів у плавильних і роздаткових агрегатах, а також межі їх варіювання при експериментах.
3. Автором дисертації розроблена і реалізована оригінальна методика та прилад для визначення поверхневого натягу магнієвих сплавів у рідкому стані (розділ 2, стор. 58), але не встановлені ні відносні, ні абсолютні похибки та не встановлений довірчий інтервал щодо одержаних даних поверхневого натягу магнієвих сплавів, що не дає змогу використовувати одержані результати як фізичні характеристики для інших наукових досліджень щодо поведінки рідких магнієвих сплавів, а може використовуватись, як об'єктивний технологічний показник в обсязі даної роботи, або інших дослідженнях в межах заданих параметрів експериментів, визначених в даній дисертації
4. Висновки автора щодо впливу температури розплаву магнієвого сплаву, поверхневого натягу на пластичність (відносне видовження при розтягу) магнієвого сплаву МЛ5, не зовсім коректні, тому що межі одержаних максимальних значень відносного видовження для даного сплаву не перевищують 1% і цілковито відповідають контрольним значенням, які встановлені для сплаву МЛ5 в ГОСТ 2856-79.
5. Дисертант недостатньо обґрунтовано визначив вибір розробленого ним імпульсного методу подачі захисних сумішей газів у простір над рідким магнієвим сплавом замість безперервного під час його плавлення та збереження у плавильному агрегаті і у подальшому не навів порівняльних даних щодо технологічних та економічних переваг методу імпульсної подачі захисних газів у порівнянні з безперервною, що вже використовується у практиці підготовки магнієвих сплавів взамін «флюсового» захисту розплаву.



6. В розділі 3.3 (стор. 89) наведено схему щодо механізму утворення та руйнації захисної плівки чи прошарку на поверхні магнієвого сплаву при безперервній та імпульсній подачі захисних газів в простір плавильного агрегату, але опис цього механізму носить декларативний характер, тому що дисертант не формалізував основний фактор впливу, яким є утворення поверхневого захисного прошарку. що не дало змогу, принаймні розрахунковим шляхом, визначити критичну товщину захисного прошарку  $i$ , відповідно, напруження, при яких відбувається його руйнування.

7. Дисертант не визначився з поняттям «узагальнений показник якості,  $Y$ » тим більше з розмірністю у секундах (табл. 3.7, стор. 97).

8. В тексті дисертації є описки. Слова російського походження, так, на титульній сторінці дисертації замість «імпульсної» наведене «импульсної», у формулах 4.1 та 4.2 (стор. 119) відсутня розмірність, у третьому абзаці тексту на стор. 109 двічі підряд повторюється слово «відповідно».

Наведені зауваження не мають принципового значення для загальної позитивної оцінки розглянутої дисертаційної роботи.

Дисертація відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації МОН України.

#### Загальні висновки

Дисертаційна робота Крейцера Кирилла Олександровича «Технологічний процес одержання виливків із магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту» за своїм змістом та напрямом досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 – Ливарне виробництво.

В дисертації Крейцера Кирилла Олександровича на тему «Технологічний процес одержання виливків із магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту» вирішено актуальну та важливу науково-технічну проблему створення технології одержання виливків з магнієвих сплавів для серійного та масового виробництва для потреб авіаційної галузі, автомобілебудування, теплових приладів та загального машинобудування на основі робленого дисертантом нового імпульсного методу газового захисту



розплаву магнієвих сплавів в плавильних і роздаткових агрегатах, модернізації машин під тиском з вакуумуванням прес-форм та автоматизованої системи контролю та управління технологічними параметрами одержання виливків з магнієвих сплавів під тиском. Весь технологічний цикл та модернізоване обладнання пройшли апробацію при виробництві теплових радіаторів з магнієвого сплаву МЛ5 ГОСТ2856-79 взамін алюмінієвого сплаву АК12 ДСТУ2839-94, що дало змогу дисертанту доказово і об'єктивно встановити технічні та економічні переваги створеної ним технології одержання виливків із магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту поверхні розплаву магнієвих сплавів з прогнозованим ефектом 82 млн. грн/рік на 1 млн. литих секцій радіаторів.

Вважаю, що дисертаційна робота «Технологічний процес одержання виливків із магнієвих сплавів литтям під тиском на основі імпульсної системи захисту» за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам п. 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Крейцер Кирилл Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – ливарне виробництво.

Офіційний опонент  
д.т.н. проф., завідувач  
відділу фізико-хімії ливарних процесів  
Фізико-технологічного інституту  
металів та сплавів НАН України

Шинський О. Й.

Підпис д. т. н, проф. Шинського О.Й. засвідчую:

*Вчений секретар  
ІТІМС НАН України*



*В. П. Каленко*