



## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Заклінського Сергія Олександровича  
«Удосконалення методу критичних отворів для генерації газових сумішей  
у процесах фізико-технічної обробки»,  
що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.03.07 – процеси фізико-технічної обробки

### **1. Актуальність обраної теми дисертації.**

У сучасному виробництві та технологічних процесах широко використовуються газові суміші з різноманітним складом. Це стосується таких галузей, як метрологічне забезпечення виробничих процесів, зварювальні роботи, вакуумно-плазмові технології, лазерні технології, термоімпульсна обробка, де вимоги до точності та стабільності складу газових сумішей надзвичайно високі.

Складність досягнення зазначених високих вимог зумовлено не лише багатокомпонентністю суміші, але й необхідністю досягнення її гомогенності та гарантованого співвідношення газових компонентів у суміші з похибкою менше відсотка. Це особливо критично в контексті технологічних процесів, де навіть невеликі відхилення складу суміші від заданого можуть впливати на якість та результативність обробки матеріалів чи протікання виробничого циклу.

У контексті нових матеріалів виникає необхідність розробки інноваційних стратегій для поліпшення якості зварювальних швів. Зважаючи на різноманіття хімічних властивостей газів, величини їх концентрації можуть виявити значний вплив на процес зварювання. Наприклад, при використанні методу зварювання MAG (електродугове зварювання в активному захисному газі) кількість бризок суттєво залежить від концентрації компонентів у застосованій газовій суміші. Наприклад, при 10 % CO<sub>2</sub> в газовій суміші Ar-CO<sub>2</sub> в процесі зварювання конструкційної сталі SM490A (аналог 17ГС) утворюються бризки загальною масою 0,3 г за хвилину, а при збільшенні вмісту CO<sub>2</sub> до 30 % – 0,5 г/хв.

В іонно-плазмових технологіях важливим є вибір оптимального складу газової суміші, оскільки це визначально впливає на досягнення бажаного результату й оптимізацію ефективності процесу. Концентрація різних газів у складі суміші істотно впливає на параметри іонно-плазмової обробки. Зокрема, при іонно-плазмовому нанесенні покриттів кількість азоту в камері визначає його кількість в отриманому шарі.

Для прецизійної термоімпульсної обробки навіть мінімальні зміни в усередненому питомому тепловому потоці, які зумовлені похибками в компонентному складі суміші, впливають на точність радіуса заокруглення крайок оброблюваної деталі.

Однією з основних переваг використання методу отворів із критичним перерізом є його здатність створювати складні багатоконпонентні газові суміші, подібні до двокомпонентних, за допомогою відповідної кількості отворів. Цей метод відкриває можливість для виробництва великих обсягів газових сумішей. У такому методі витрати можуть різнитися в значному діапазоні, від декількох мілілітрів до десятків літрів на хвилину, що робить його надзвичайно гнучким та ефективним в індустріальних застосуваннях.

Метод отворів із критичним перерізом виступає як один з найбільш точних серед динамічних засобів формування газових сумішей. Цей метод не лише забезпечує найвищу продуктивність у генерації сумішей у широкому діапазоні концентрацій, але й виявляє невеликі відхилення в співвідношенні компонентів. У його базовому варіанті похибка дозування компонентів становить – 0,5 %. Водночас перспективні процеси фізико-технічної обробки потребують застосування газових сумішей з похибкою дозування компонентів – до 0,1 %. Тому підвищення точності методів генерації газових сумішей є актуальним завданням.

У зв'язку з вищезазначеним, розробка високоефективних газозмішуючих систем, які забезпечують не лише високу точність вмісту кожного компонента в складній газовій суміші, але й стабільність її складу у виробничих умовах, у сучасному світі є необхідною передумовою для забезпечення високих стандартів

якості.

## **2. Наукове та практичне значення отриманих результатів:**

– *удосконалено* динамічний метод отворів із критичним перерізом для генерації багатокомпонентних газових сумішей, що використовуються в процесах фізико-технічної обробки та полягає в подачі компонентів з посудин, що передбачають регулювання об'єму згідно з виконанням умови забезпечення рівності температур газів у посудинах під час їхнього перетікання, що дозволяє забезпечити похибку дозування компонентів паливної суміші на рівні до 0,1 % за масою;

– *уперше* розроблено математичну модель для визначення об'ємів та початкового тиску в посудинах з компонентами газової суміші для удосконаленого методу отворів із критичним перерізом, що дозволяє забезпечувати задане масове співвідношення компонентів у робочій посудині із сумішшю без використання додаткового регулювання;

– *уперше* запропоновано метод швидкісного визначення об'єму посудини довільної форми, що включає заповнення вимірюваної посудини газом та його дренажу при надкритичному витіканні із сопла, для якого попередньо визначено коефіцієнт витрати, з багаторазовим вимірюванням тиску в посудині, яке проводять у діапазоні від 0,5 до 1 секунди;

– *розроблено* систему генерації багатокомпонентної газової суміші для процесів фізико-технічної обробки на базі вдосконаленого методу отворів із критичним перерізом, у якому компоненти суміші подають із попередньо наповнених до початкового тиску проміжних посудин, що передбачають регулювання об'єму. Ця система дає змогу отримувати газові суміші з відхиленням складу на рівні до 0,1 % за масою;

– *розроблено* методику визначення характеристик системи генерації багатокомпонентної газової суміші, яка дозволяє отримати необхідні параметри для формулювання закону керування виконавчими елементами, що забезпечує необхідну точність дозування компонентів;

– запропоновано спосіб визначення об'єму посудини довільної форми, що може бути застосований для широкого кола задач, у яких використовується наповнення вимірюваних посудин газом з тиском, що забезпечує надкритичне витікання газу в атмосферу.

Результати роботи впроваджено на ТОВ «Науково-виробниче підприємство Пластар», ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» та використано в навчальному процесі кафедри технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», про що отримані відповідні акти. На запропонований спосіб генерації газової суміші отримано патент на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу.

Дисертаційна робота виконана здобувачем на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» за планами науково дослідних робіт в рамках держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України: «Розробка автоматизованого комплексу для прецизійного термоімпульсного оброблення детонуючими газовими сумішами» (№ ДР 0117U002500); «Розробка технологій та технічних рішень для автоматизованих промислових установок прецизійної обробки деталей агрегатів ГТД детонуючими газовими сумішами» (№ ДР 0119U100943); «Розробка програмного та технічного забезпечення цифрових близнюків процесів обробки деталей літальних апаратів детонуючими газовими сумішами» (№ ДР 0102U109601).

**3. Обґрунтованість та достовірність наукових результатів** підтверджується застосуванням сучасних методів дослідження: класичними моделями дослідженнями течії багатокомпонентних газів, експериментальними дослідженнями системи на стенді генерації газових сумішей у лабораторних умовах з використанням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури. Дослідження виконувались з використанням сертифікованих пакетів числового моделювання та сучасної контрольно-вимірювальної апаратури. Фактичні форми і розміри отворів

у соплах визначалося з використанням інструментального мікроскопа із цифровою шкалою БМІ-1Ц. Для тарування датчиків тиску використовувався вантажопоршневий манометр класу точності 0,05.

#### **4. Загальна характеристика роботи**

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 184 сторінки, з яких основного тексту 141 сторінка, у тому числі: 73 рисунки, 13 таблиць, список використаних джерел із 97 найменувань на 14 сторінках, додатки на 10 сторінках.

*У вступі* обґрунтовано актуальність теми й наведено загальну характеристику роботи, показано наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів дослідження.

*У першому розділі* проведено оглядовий аналіз використання багатокомпонентних газових сумішей у сучасних технологіях фізико-технічної обробки та вплив концентрації компонентів суміші на властивості оброблюваних матеріалів та стабільність технологічних режимів обробки. Проаналізовані сучасні промислові методи генерації газових сумішей та визначено, що вони неповною мірою відповідають потребам перспективних процесів фізико-технічної обробки і потребують удосконалення як з точки зору точності дозування компонентів, так і з точки зору їх продуктивності. Для вирішення цих проблем у розділі сформульовано мету й завдання дослідження

*У другому розділі* розроблено вдосконалений динамічний метод отворів із критичним перерізом для приготування газових сумішей через упровадження в лінії подачі газів проміжних посудин. Розроблено аналітичну модель сумішоутворення для термоімпульсного оброблення із застосуванням удосконаленого методу для формування двокомпонентної суміші. Розроблено числові моделі складових частин удосконаленої системи генерації газових сумішей

*У третьому розділі* розроблено методики визначення характеристик процесу витікання газів з проміжних ємностей та натікання газів у камеру, проведені експериментальні дослідження та проаналізовано отримані дані.

У четвертому розділі розроблено прецизійний генератор газових сумішей на основі запропонованих технічних рішень, у якому компоненти суміші подають з попередньо наповнених до початкового тиску проміжних посудин, що передбачають регулювання об'єму.

#### **5. Зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Автор у роботі зазначає про швидке налаштування системи сумішоутворення при переході на інші компоненти газової суміші, проте, не зрозуміло, яким чином у розробленому прецизійному генераторі суміші відбуваються такі налаштування.

2. Запропонований спосіб генерації газової суміші передбачає одночасну подачу у газовий тракт як палива, так і окиснювача. При цьому не пояснюється як забезпечуються вимоги безпечної експлуатації розробленого генератора.

3. За результатами моделювання процесу швидкісного вимірювання об'єму посудини автор роботи отримав похибку 0,0625 %, після чого очікує похибку визначення об'єму близьку до розрахункової з відхиленням до 0,1 %. В той же час, у акті впровадження результатів від ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» показано, що при використанні цього методу отримали похибку у 0,125 %.

4. Автором запропоновано спосіб швидкісного вимірювання об'єму посудин довільної форми з використанням вимірювань тиску у них при витіканні через сопла з надкритичним перерізом. При цьому вказується на можливість застосування даного методу для вимірювання об'єму посудин з деформованими стінками, але не наводиться даних про спосіб урахування таких деформацій.

#### **6. Загальний висновок по дисертації.**

За актуальністю теми, ступенем наукової новизни, практичної значимості та відповідністю вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук згідно з «Порядком присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. дисертаційна робота Заклінського С. О. за темою «Удосконалення методу

критичних отворів для генерації газових сумішей у процесах фізико-технічної обробки» є завершеним розв'язанням наукового завдання, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.07 – процеси фізико-технічної обробки.

Офіційний опонент,

заступник директора підприємства

з наукової роботи – начальник комплексу

експериментально-випробувального

державного підприємства «Запорізьке

машинобудівне конструкторське бюро

«Прогрес» імені академіка О. Г. Івченка

кандидат технічних наук



Юрій ТОРБА