

ВІДГУК

офіційного опонента Голеуса Віктора Івановича на дисертаційну роботу Яїцького Сергія Миколайовича «Низькоемісійні флоат-скла зі зміцненими магнетронними покриттями», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Актуальність теми дисертації. Однією з найважливіших науково-технічних задач сьогодення є розробка і впровадження енергозберігаючих матеріалів в будівельну індустрію. До таких матеріалів відноситься віконне низькоемісійне флоат-скло, яке здатне до поглинання сонячної теплової радіації та зниження пропускання світла у видимій частині спектру. Використання вказаного скла сприяє зниженню втрат тепла крізь вікна, підвищенню температури у внутрішніх приміщеннях будівель та захисту їх від руйнівної дії ультрафіолетових променів. Особливе місце серед низькоемісійного скла займає загартоване безпечне скло, яке знаходить все більш широке використання у будівництві та забезпечує безпечні умови експлуатації багатоповерхових громадських будівель.

Передовий досвід виробників віконного скла показує, що ефективним засобом зниження випромінювальної здатності (емісії) скла є нанесення на його поверхню спеціальних «твердих» (К-скло, Low-E) або «м'яких» (І-скло, Double Low-E) світло- і теплозахисних покриттів. Серед вказаних покриттів найбільш енергоефективним є скло з «м'яким» покриттям (тобто І-скло), яке наносять магнетронним вакуумним напиленням. Проте недоліком цих покриттів є низька їх міцність, яка недостатня для здійснення процесу гартування скла.

У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи Яїцького С.М. є актуальною, так як вона спрямована на розробку складу та оптимального технологічного режиму виробництва флоат-скла зі зміцненими м'якими магнетронними покриттями, а також впровадженням їх на вітчизняному підприємстві ТОВ «Лисичанський скляний завод».

Актуальність теми та вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона виконувалась за науково-дослідною тематикою кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" в межах держбюджетних НДР МОН України: «Розроблення наукових основ ефективного використання енергоносіїв і техногенних ресурсів в технологіях композиційних, керамічних та скломатеріалів для сучасних технічних об'єктів» (ДР № 0120U001009) та «Розробка складів композиційних високоміцних склокристалічних матеріалів для елементів бронезахисту» (ДР №0115U000538), де здобувач був виконавцем окремих етапів.

Наукова новизна і практичне значення отриманих результатів досліджень. Основний науковий результат дисертаційної роботи полягає у тому, що для одержання високоякісного флоат-скла здобувач на основі статистичного аналізу експериментальних досліджень обґрунтував можливість сумісного використання різних за хімічним та гранулометричним складом, а також формою зерен кварцових пісків Новоселівського та Старовірівського родовищ. При цьому встановлено оптимальне їх співвідношення в піщаній суміші, гранулометричний склад якої характеризується максимальним вмістом основної фракції (0,16-0,4 мм), а хімічний склад - мінімально можливим вмістом ферум(III) оксиду.

Дослідженням температурно-часових умов служби вогнетривкої кладки продуктивної частини скловарної печі встановлено значне її роз'їдання розплавом скла, величина якого збільшується з підвищенням температури від 1400 до 1560 °С та обумовлена в залежності від терміну експлуатації печі зростанням кількості скловидної фази в бакорових вогнетривах.

Розроблено спосіб зміцнення м'яких магнетронних покриттів у виробництві низько емісійного І-скла, який полягає у коригуванні складу та властивостей його адгезійного, діелектричного та функціонального шарів шляхом їх легування, регулювання потужності роботи магнетронів та використання відповідних робочих газів для формування заданих сполук в покритті. При цьому запропоновано замінити в адгезійному шарі покриття SnO₂ на нітрид кремнію та нітрид кремнію легований алюмінієм, а в затемнюючому шарі - Cr на більш тонкий шар NiCr.

На основі встановлених наукових положень розроблена технологія виробництва загартованого низько емісійного І-скла, яка впроваджена на ТОВ «Лисичанський скляний завод» і дозволила підвищити вихід годної продукції до 94 % при одночасному забезпеченні заданих її спектральних характеристик та механічної міцності.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Наукові результати, одержані здобувачем, положення і висновки, сформульовані в дисертації, достатньо *обґрунтовані та достовірні*. Вони базуються на аналізі літературних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних взаємодоповнюючих методів досліджень, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, їх відтворюваністю, взаємною узгодженістю й відповідністю відомим з літератури даним. Отримані наукові результати перевірені шляхом чисельних експериментальних випробувань, виконаних здобувачем у виробничих умовах. Висновки дисертації і рекомендації є виваженими, ґрунтуються на отриманих особисто здобувачем результатах і відбивають новизну, практичну значимість роботи та сформульовані в ній результати дослідження.

Наукові та практичні результати здобувача підтверджені виробничими випробуваннями та впровадженням у виробництво.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях та оцінка змісту автореферату. Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи опубліковано у 21 науковій праці, у тому числі у 8 статтях: 7 у наукових фахових виданнях України (одну з яких включено до міжнародної наукометричної бази Scopus), 1 – у закордонних виданнях, та у 13 тезах доповідей на міжнародних конференціях.

Автореферат є стислим викладом основних наукових положень роботи, послідовність викладення в ньому матеріалу відповідає змісту дисертації.

Аналіз та оцінка змісту дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Яїцького С.М. складається з анотації двома мовами, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 160 сторінок, з них основного тексту 128 сторінок. Робота містить 24 рисунки; 32 таблиці; список використаних джерел, що включає 146 найменувань на 15 сторінках; 6 додатків на 12 сторінках.

У вступі обґрунтовано науково-технічну актуальність роботи, сформульовано мету та завдання, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячено аналізу науково-технічної інформації щодо сучасного стану технологій флоат-скла, зокрема І-скла із енергозберігаючими покриттями. Розглянуто особливості сировини для виробництва флоат-скла, вогнетривкі матеріали для футерівки скловарних печей та перспективні шляхи оптимізації параметрів скловарного процесу. Визначено доцільність створення нового типу І-скла із зміцненими покриттями та сформульовано задачі для досягнення цієї мети.

У другому розділі обґрунтовано вибір напрямків, задач і методики дослідження процесів формування та властивостей стекол. Відмічено, що виготовлення І-скла високої якості можливе за наступних умов: в якості основи для нанесення низько емісійного багатшарового покриття необхідно використовувати тільки високоякісне листове флоат-скла, необхідно забезпечити сталий процес варки бездефектної скломаси за умови використання стійкої вогнетривкої футерівки скловарної печі, необхідна розробка складу та технологічних режимів нанесення зміцнених м'яких багатшарових магнетронних покриттів з певними експлуатаційними характеристиками й можливістю їх гартування.

Наведено характеристику методів дослідження, матеріалів, обладнання та сформульовано робочу гіпотезу. Для варки флоат-скла була обрана регенеративна ванна скловарна піч безперервної дії з поперечним напрямком подум'я. Нанесення низько емісійних покриттів на скло здійснювалось за допомогою магнетронної установки GC-254 Н. Вимірювання оптичних характеристик скла, визначення фазового складу фрагментів вогнетривкої футерівки, механічного стирання покриттів, гранулометричного та хімічного складу сировини, оптичних властивостей скла та покриттів здійснено з

використанням сучасних методик та сертифікованих приладів і програмного забезпечення.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу характеристик кварцового піску на фізико-хімічні властивості флоат-скла. Встановлено його оптимальний гранулометричний склад для прискорення процесу варіння. Аналіз роботи цеху флоат-скла показав, що основною причиною низької якості скла є високий вміст Fe_2O_3 в скломасі (0,068 %), вказане перешкоджало її прогріванню по всій глибині ванни і як наслідок недостатнього ступеню її гомогенізації. Показано, що це пов'язано з використанням 100 % Новоселівського піску з вмістом ферум (III) оксиду до 0,050 %. Проведена заміна у шихті незбагаченого (природного) Новоселівського піску ПК-050-П з зернами гострокутної форми, вмістом основної фракції лише 62,19 % та 0,031–0,058 % Fe_2O_3 на збагачений Старовірівський пісок ПК-040-3 з округлими зернами, більш стабільним гранулометричним складом, вмістом основної фракції до 99,09 % та всього 0,024 % Fe_2O_3 забезпечило збільшення вмісту в піщаній суміші основної фракції до 89,43 % та зменшення кількості Fe_2O_3 до 0,028 %. Зазначене у підсумку сприяло значному зменшенню ймовірності появи дефекту скломаси типу «мошка», зниженню оптичних спотворень скла та, що особливо важливо, підвищенню коефіцієнта світлопропускання до 88–90 %.

Четвертий розділ містить результати досліджень та аналізу стану вогнетривких матеріалів кладки скловарної ванної печі і особливості їх руйнування після 1,5 та 5,5 років експлуатації при виробництві листового скла флоат-способом на ТОВ «Лисичанський скляний завод». Виявлено лінійну температурну залежність глибини роз'їдання розплавом флоат-скла бакорової футерівки в продуктивній частині басейну. На думку дисертанта це обумовлено зростанням кількості склофазы навіть в таких стійких й відповідальних вогнетривках, як бакор 41, та утворенням потужного граничного реакційного шару завтовшки приблизно 20–30 мм внаслідок агресивного впливу летких компонентів шихти і розплаву. Результатом цієї частини роботи стало обґрунтування рекомендацій щодо подовження терміну безперервної роботи скловарної печі та вибору вогнетривків для неї.

У п'ятому розділі подано основні технологічні параметри одержання низько емісійного флоат-скла та результати їх дослідно-промислових випробувань. Для якісного виробництва флоат-скла були розроблені оптимальні режими скловарної печі.

Розроблено принципи зміцнення м'яких магнетронних покриттів для одержання низько емісійних Double Low-E стекол та їх склад, які полягають у заміні адгезійних оксидних шарів (SnO_2) на нітридні (Si_3N_4 ; Al (SiAl)), й коригуванні технологічних параметрів нанесення багатшарових покриттів. Вказані технологічні параметри є наступними: потужність магнетронів повинна бути в межах від 5 до 60 кВт, швидкість руху рольгангу 0,5–2,5 м/хв., в якості робочих газів застосовуються O_2 , N_2 та Ar.

Важливим результатом цієї частини роботи є те, що розроблені покриття за експертною оцінкою закордонної фірми «Rosenheim» мають

технічні характеристики практично ідентичні продукції провідних світових компаній Pilkington і Guardian при значно меншій їх вартості.

У шостому розділі наведено результати виконаних робіт щодо впровадження та економічної ефективності розроблених низько емісійного І-скла і технології його виготовлення на ТОВ «Лисичанський скляний завод». Це дозволило підвищити вихід годної продукції до 94 % при одночасному забезпеченні її спектральних характеристик та значної механічної міцності.

В заключній частині наведено основні висновки дисертаційної роботи. Висновки до розділів та загальні висновки за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи. Список використаних джерел складається з 146 найменувань, є досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Результати використання та апробації створених методик підтверджено відповідними документами.

Зміст дисертаційної роботи Яїцького С.М. повністю відповідає темі дисертації, поставленій меті і задачам, що в ній вирішуються, а також паспорту спеціальності 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів, за якою її подано до захисту. В цілому структура, стиль і повнота викладення матеріалу, оформлення дисертації, наведений ілюстративний матеріал, повнота бібліографії справляють добре враження.

При ознайомленні з дисертацією виникли наступні запитання та зауваження.

1. Підрозділ 2.1, який присвячений формулюванню робочої гіпотези та вибору напрямків дисертаційного дослідження, відповідно до його змісту логічно було б вилучити з розділу 2 (Матеріали та методики досліджень) та об'єднати з підрозділом 1.6 (Висновки, вибір основних напрямків та постановка завдань).
2. Третій розділ дисертації, який присвячений виробництву флоат-скла на основі вітчизняної сировини надмірно перевантажений детальним описом методик хімічного аналізу кварцового піску. Їх необхідно було б описати більш стисло в другому розділі, який власне і називається «Матеріали та методики досліджень».
3. У висновках з літературного огляду автор вірно робить висновок про те, що якість флоат-скла можна суттєво підвищити за рахунок використання кварцового піску з малим вмістом ферум (III) оксиду. Вказує, що зменшити вміст вказаного оксиду у піску можна за рахунок його збагачення. Проте у своїй роботі, як основний спосіб зменшення вмісту у склі ферум (III) оксиду, автор пропонує не збагачення піску а використовувати суміш пісків з різним вмістом ферум (III) оксиду. Питання: чим це обумовлено?
4. В табл.3.3 подано порівняння гранулометричного складу пісків Старовірівського та Новоселівського родовищ, в якій склад партії №2

Старовірівського піску повністю співпадає зі складом піщаної суміші з відношенням 3 до 1, що є малоюмовірним.

5. Подані на стор. 67-68 результати кореляційного аналізу між гранулометричним складом дослідних пісків та вмістом в них ферум(III) оксиду є достатньо переконливими. Проте виникає сумнів щодо адекватності запропонованих математичних моделей, за якими пропонується розраховувати вміст ферум(III) оксиду в кожній фракції піску. Для підтвердження адекватності цих моделей необхідно було б виконати перевірку їх на відповідність експериментальним даним.
6. На стор. 69-74 автор зробив спробу встановити кореляційний зв'язок між продуктивністю скловарної печі, якістю виробленого скла та температурою дна печі. Виконані розрахунки дозволили зроби автору вірний висновок про відсутність цього зв'язку. Проте дисертант при цьому не звернув увагу на те, що максимальні значення продуктивності скловарної печі та процент виходу якісного скла спостерігається при температурі дна печі 1025-1030°C. В зв'язку з цим запитання до дисертанта: чим це обумовлено?
7. У висновках до четвертого розділу зазначається про необхідність використання у виробництві флоат-скла більш якісних вогнетривів з незначним вмістом склофази. При цьому бажано було б вказати конкретну технічну характеристику цих вогнетривів і хто їх виробляє.
8. П'ятий розділ дисертації надмірно перевантажений детальним описом розрахункових методик оцінки оптичних характеристик низькоемісійного флоат-скла, яке виробляється на ТОВ «Лисичанський скляний завод». У висновках до цього розділу зазначається про можливість зміцнення м'яких магнетронних покриттів заміною в них оксидних прошарків на нітридні. При цьому було б також бажано вказати чим це обумовлено, а також як залежить міцність магнетронних покриттів від їх товщини, кількості прошарків та інших факторів.
9. Зміст підрозділу 5.2 не відповідає в повній мірі його назві.

Вказані зауваження не є такими, що можуть принципово змінити суть основних наукових та практичних досягнень автора дисертаційної роботи.

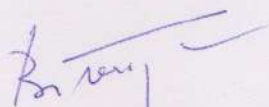
Висновок. Дисертація Яїцького Сергія Миколайовича є завершеною кваліфікаційною науково-дослідною роботою, в якій викладено нові експериментальні та теоретичні результати й фізико-технічні закономірності, що дозволяють у сукупності розв'язати актуальну науково-прикладну задачу розробки складу та технологічних параметрів режиму одержання І-скла зі зміцненими м'якими магнетронними покриттями та його гартування

Вважаю, що дисертаційна робота **Яїцького Сергія Миколайовича** «Низькоемісійні флоат-стекла зі зміцненими магнетронними покриттями» за науковим рівнем, новизною, практичною значимістю, достовірністю результатів в повній мірі відповідає вимогам п.п. 9,11,12 «Порядку

присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а здобувач – Яїцький Сергій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук (05.17.11), професор, завідувач кафедри хімічних технологій кераміки, скла та будівельних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро)

23 березня 2021 р.



Віктор ГОЛЕУС

Підпис Віктора ГОЛЕУСА
Вчений секретар ДВНЗ УДХТУ



Лариса РУДНІСВА