

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Колесника Євгена Валерійовича

"Науково-технологічні засади інженерії поверхні при формуванні електрокристалізованих покриттів на основі сплавів заліза різних компонентних груп", яку подано до спеціалізованої вченої ради Д 26.207.03 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство».

Актуальність теми дисертації.

Розвиток сучасного матеріалознавства неможливий без створення наукових основ для розробки нових матеріалів, зокрема нових електрокристалізованих залізних покриттів з використанням екологічно безпечних електролітів. Даний процес забезпечує не тільки відновлення розмірів, але і приводить до поверхневого зміцнення різного типу деталей, які покриваються. Особливо це актуально для виробів, які виготовлені з низько- та середньовуглецевих сталей та мають відносно невисоку твердість.

Таким чином, дослідження, які присвячені впливу різних схем легування на морфологію та зміцнення поверхневого шару виробів, а також впливу різних хімічних елементів на фізико-механічні та експлуатаційні властивості покриттів являється актуальним.

Актуальність теми дисертаційної роботи Колесника Є.В. підтверджується ще тим, що вона виконана у відповідності до плану науково-дослідних робіт ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» в рамках держбюджетних тем: ДР № 0111U008609 (2011-2015 р.р.); ДР № 0106U006277 (2006-2010 р.р.); ДР № 0108U001163 (2008-2011 р.р.); ДР № 0111U000110 (2011-2013 р.р.).

Ступінь обґрунтованості, повнота викладення та наукова новизна отриманих результатів.

Обґрунтованість та достовірність отриманих автором результатів досліджень і висновків дисертації базується на використанні в роботі фундаментальних положень матеріалознавства, фізичної і неорганічної хімії та підтверджується комплексними фізико-хімічними дослідженнями з використанням апробованих експериментальних методів, а саме: рентгенівських фазового та структурного аналізів, растрової електронної, просвічувальної електронної та оптичної мікроскопії, профілометрії та профілографії поверхні, та інш. Достовірність результатів підтверджується також апробацією роботи та публікаціями експериментальних даних.

Дисертація присвячена дослідженню впливу добавок сульфатів хрому, нікелю, олова, цинку та марганцю у стандартний сульфатний електроліт залізнення на морфологію, фазовий склад, кристалографічну текстуру та механічні властивості електроосаджених покриттів на пластинах низьковуглецевої сталі 08кп.

Вперше показано, що присутність нікелю у складі електроліту різко змінює орієнтацію осаджених кристалів α -твердого розчину на основі заліза з $\langle 211 \rangle$, характерної для осадження чистого заліза та заліза з хромом, на $\langle 111 \rangle$. При сумісному легуванні хромом та нікелем відбувається формування текстури, характерної для нікельвмісних покриттів. Встановлено, що при концентрації нікелю в електроліті до 5 г/л, в покритті формуються передусім голчасті кристали α -твердого розчину на основі заліза. Але при концентрації нікелю 10 г/л і вище, в структурі покриття переважають сфероліти з аксіальною текстурою $\langle 111 \rangle$. При наявності в електроліті залізного сульфату цинку, в покритті утворюються дві інтерметалідні фази: стабільна Fe_3Zn_{10} та метастабільна $Fe_{75}Zn_{25}$. Причому фаза $Fe_{75}Zn_{25}$ в електрокристалізованих покриттях виявлена вперше. Наявність фази $Fe_{75}Zn_{25}$ з ОЦК решіткою корегує з формуванням специфічної морфології електрокристалізованих сплавів Fe-Zn з аномально високою шорсткістю. Розроблено новий метод автоматичного визначення розмірів структурних складових в електрокристалізованих матеріалах за допомогою комп'ютерної обробки електронно-мікроскопічних зображень.

Запропоновано склад електроліту для одержання покриття на основі системи Fe-Cr-Ni з підвищеною мікротвердістю та зносостійкістю.

Наукові положення та висновки, що містяться в дисертації, опираються на великий експериментальний матеріал та його аналіз, добре узгоджуються з літературними даними..

Практичне значення результатів, одержаних здобувачем.

Результат роботи впроваджено у виробничий процес ПАТ «Дрогобицький завод автомобільних кранів» для відновлення розмірів та поверхневого зміцнення зношених сталевих валів різного призначення. Запропоновано практичне застосування сплавів системи Fe-Zn в якості підшару перед нанесенням полімерних покриттів. Обрано оптимальну концентрацію цинку в електроліті для забезпечення максимальної міцності адгезійного з'єднання з покриттям полі-м,п-феніленізофталамідом – 670 кН/м, при цьому досягнуто рівень когезійного руйнування полімерного покриття при відшаруванні.

Запропоновано новий метод визначення рівня залишкових макронапружень у покриттях з використанням модельного зразка.

Також результати роботи можна використовувати як довідковий матеріал з матеріалознавства та неорганічної хімії, а окремі – в учбових процесах з цих дисциплін.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в друкованих працях.

Матеріали дисертаційної роботи складаються з вступу, семи розділів, висновків, списку використаної літератури з 308 найменувань і викладені на 370 сторінках, містять 196 рисунків, 17 таблиць. Результати та основні висновки досить повно представлені в публікаціях автора, оприлюднені на конференціях як в Україні, так і за її межами, широко відомі фахівцям в області матеріалознавства та фізичної і неорганічної хімії. Перелік

публікацій автора за темою дисертації складає 46 найменувань, 26 статей у вітчизняних та зарубіжних фахових виданнях, серед яких 6 статей, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus і 2 публікації – в інших закордонних виданнях.

Ідентичність змісту автореферату та основних положень дисертації.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту результатів та висновків дисертаційної роботи. Він характеризує ступінь новизни та практичної цінності досліджень, проведених здобувачем, і показує особистий вклад дисертанта у вирішення задач, які було поставлено в роботі.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.

Дисертаційна робота Колесника Є.В. за змістом, об'ємом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство», за якою представлена до захисту.

Недоліки відносно змісту та результатів роботи.

До недоліків відповідно змісту та результатів роботи слід віднести наступне:

1. В літературному огляді не наведені дані з діаграми стану потрібної системи Fe-Cr-Ni. Хоча в роботі досліджувалися сплави цієї системи, а її діаграма стану (як стабільна, так і метастабільна) неодноразово досліджувалася. Див.

1) Chuang Y.-Y., Chang Y.A. A Thermodynamic Analysis and Calculation of the Fe-Ni-Cr Phase Diagram // Metallurgical Transactions A. – 1987. – V. 18. – P. 733-745.

2) Lukas H.L., Agraval P. Cr-Fe-Ni Ternary Phase Diagram Evaluation // MSI Eureka Evaluation Report. – 2007. – ID. 10.10022.1.8 http://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_010022_01

3) Franke P., Seifert H.J. The influence of magnetic and chemical ordering on the phase diagram of Cr-Fe-Ni // CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry. – 2011. – V. 35. – P. 148-154.

4) Xiong W. Thermodynamic and Kinetic Investigation of the Fe-Cr-Ni System Driven by Engineering Applications. Doctoral Thesis. Department of Materials Science and Engineering, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden 2012. – 63 p.

5) Hillert M., Qui C. A Reassessment of the Cr-Fe-Ni System // Metallurgical Transactions A. – 1990. – V. 21. – P. 1673-1680.

6) Kundrat D.M., Elliot J.M. Phase Relationships in the Fe-Cr-Ni System at Solidification Temperatures // Metallurgical Transactions A. – 1988. – V. 19. – P. 899-908.

7) Raghavan V. Cr-Fe-Ni (Chromium-Iron-Nickel) // Journal of Phase Equilibria. – 2003. – V. 24, No. 3. – P. 261-264.

8) Rivlin V.G., Raynor G.V. Critical evaluation of constitution of chromium-iron-nickel system // International Metals Reviews. – 1980. – No 1. – P. 21-40.

9) Cao S. Determination of the Fe-Cr-Ni and Fe-Cr-Mo Phase Diagrams at Intermediate Temperatures using a Novel Dual-Anneal Diffusion-Multiple

Approach. Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University. Graduate Program in Materials Science and Engineering, The Ohio State University, 2013. – 176 p.

10) Specht E.D., Rack P.D., Rar A. et al. Metastable phase evolution and grain growth in annealed nanocrystalline Cr–Fe–Ni films // *Thin Solid Films*. – 2005. – V. 493. – P. 307-312.

11) Tomiska J., Vrestal J. Computation of phase equilibria in the Fe–Ni–Cr system based upon mass spectrometric investigations // *Thermochimica Acta*. – 1988. – V. 314. – P. 155-167.

12) Wróbel J.S., Nguyen-Manh D., Lavrentiev M.Yu. et al. Phase stability of ternary fcc and bcc Fe–Cr–Ni alloys // *Physical Review B*. – 2015. – 024108.

2. Корозійна стійкість в роботі вимірювалася через визначення площі враженої поверхні на макрознімках (підрозділ 2.6.8). Але результати корозії не завжди легко оцінити візуально, оскільки можливі відшарування продуктів корозії, занадто тонкий шар продуктів корозії, і тому що корозія розвивається не лише по поверхні матеріалу, а також в глибині зразка. Тому для більш детального вивчення корозійної стійкості треба було після попереднього видалення продуктів корозії додатково виміряти втрату маси на одиницю площі.

3. Слабким місцем роботи є статистична обробка експериментальних даних.

На жодному рисунку та у жодній таблиці не вказані довірчі інтервали. А без цього неможливо порівнювати наведені дані. Так, бажано вказати довірчі інтервали на рис. 3.14, 3.22, 3.35, 3.42-3.44, 3.46, 4.48-4.51, 3.53, 3.55, 3.56, 4.14, 5.6, 6.20-6.22, 7.5, 7.6, 7.8 та у табл. 3.1, 3.2, 4.3, 4.4, 4.5 (тут довірчі інтервали треба було розрахувати з похибок вимірювання експериментальних величин, які входять до формули розрахунку критерію в'язкості руйнування, та з властивостей дисперсії), 6.1.

Довірчий інтервал також треба було навести на стор. 216 у 9 рядку знизу біля значення мікротвердості 4,85 ГПа, на стор. 237 у 7 рядку біля значень макронапружень 170 та 175 МПа.

Автор не наводить регресійні рівняння для нелінійних залежностей. Без регресійного аналізу та без розрахунку середньоквадратичних відхилень коефіцієнтів відповідних рівнянь, що вказують на доцільність обробки точок саме таким рівнянням, не коректно казати про форму кривої та порівнювати форми різних кривих.

4. Не коректно зображені графіки розподілу елементів у поперечних перетинах покриттів (рис. 3.25, 3.26, 4.17, 6.19).

Так, на рис. 3.25 концентрація заліза $\geq 100\%$ на глибині від 1,2 до 2,6 мкм, від 4,3 до 5,4 мкм, від 7,3 до 8,5 мкм, від 10,5 до 11,5 мкм, від 13,7 до 15 мкм, від 16,7 до 17,9 мкм, від 19,5 до 21,2 мкм, від 22,6 до 24 мкм, від 25,7 до 27,2 мкм, від 28,6 до 30 мкм. Концентрація хрому $\leq 0\%$ на глибині більше 28,6 мкм.

На рис. 3.26 концентрація заліза ≥ 100 % на глибині від 25,7 до 27,2. Концентрація нікелю ≤ 0 % на глибині від 24,3 до 27,5 мкм, від 28 до 29,8 мкм та більше 32,9 мкм.

На рис. 4.17 концентрація заліза ≥ 100 % на глибині від 30,2 до 32,0 мкм та від 33,7 до 35,8 мкм. Концентрація хрому ≤ 0 % на глибині від 23,2 до 23,8 мкм, від 28,0 до 28,8 мкм, від 31,7 до 33,5 мкм та більше 35,8 мкм.

На рис. 6.19 вміст заліза ≥ 100 % на глибині від 21,2 до 22,5 мкм, від 25,1 до 25,6 мкм, від 27,2 до 28,9 мкм, від 30,2 до 31,6 мкм. Концентрація цинку ≤ 0 % на глибині від 29,1 до 29,7 мкм.

5. В окремих місцях дисертації текст не узгоджується з рисунками та таблицями.

На стор. 59 у 6 рядку та на стор. 61 у 8, 11 та 15 рядках згадується η -фаза у системі Fe-Zn, яка нібито «присутня на рівноважній діаграмі стану» (стор. 61, 8 рядок). Але на діаграмі стану системи Fe-Zn на стор. 52 така фаза відсутня.

На стор. 148 у 2 абзаці написано: «Проте, при концентрації формальдегіду 1 г/л проявляється зрівнююча здатність цієї домішки – смуг прокатки практично вже не видно на електронно-мікроскопічному зображенні поверхні покриттів (рис. 3.17)». Але на рис. 3.17 показана «морфологія електроосадженого заліза (10 мкм), осадженого з хлоридного електроліту з домішкою формальдегіду (0,5 г/л)», а не 1 г/л. А смуги прокатки на рис. 3.17 досить помітні.

На стор. 162 у 3-4 абзацах написано:

«Нарешті, введення в електроліт залізнення хрому у найбільшій з досліджених у даній роботі концентрацій легуючих елементів (40 г/л) призводить до найбільш вагомих змін в морфології електрокристалізованих покриттів...

Зміни морфології можна пояснити збільшенням вмісту хрому в твердому розчині в електрокристалізованих сплавах, який у порівнянні з попередньою дослідженою концентрацією електроліту відрізняється майже у два рази (див. рис. 3.22)».

Але з рис. 3.22 видно, що при концентрації хрому в електроліті 40 г/л його вміст у електрокристалізованому сплаві складає 2 мас. %, а при попередній концентрації у електроліті 20 г/л, його вміст у сплаві дорівнює 1,3 %. $2 / 1,3 = 1,5$, а не 2.

6. Помічено неточності у формулюванні окремих проміжних висновків.

На стор. 202-203 у 4 висновку до розділу 3 написано: «Встановлено, що залежності показників механічних (мікротвердість) та магнітних (магнітний опір) властивостей покриттів із електрокристалізованих сплавів Fe-Cr та Fe-Ni від концентрації відповідних легуючих елементів в сульфатному електроліті та загального вмісту кожного з них у сплаві мають суттєво нелінійний характер (з максимумом при концентрації в електроліті близько 20 г/л), який практично аналогічний із характером залежності періоду кристалічної решітки цих сплавів від концентрації легуючих елементів в електроліті. Залежність мікротвердості від періоду кристалічної решітки близька до лінійної, що дозволяє зробити висновок про переважний вплив

зміни кристалічної решітки електрокристалізованих сплавів на їх механічні та магнітні властивості». Але в роботі показано тільки що залежність мікротвердості сплаву Fe-Cr від періоду кристалічної решітки лінійна (рис. 3.54), а стосовно сплаву Fe-Ni таких даних в дисертації немає.

На стор. 271 у 4 висновку до розділу 5 написано: «Формування інтерметалідів при спільному електроосажденні з залізом з сульфатного електроліту є спільною відмінною рисою олова та цинку у порівнянні з розглянутими вище хромом, нікелем та марганцем, що утворюють із залізом тільки тверді розчини заміщення». Але у розділі 5 не було даних про електроосадження цинку. Можливо, цей висновок треба перенести з розділу 5 до загальних висновків.

На стор. 301-302 у висновку 4 до розділу 6 написано: «у складі матриці покриттів Fe-Zn, електроосаджених з електролітів з концентрацією цинку 5 та 10 г/л, переважає η -фаза з середнім вмістом заліза 14,7 та 6,3 % (мас.) відповідно...» Але елементний склад η -фази в роботі не встановлено, а лише елементний склад самої матриці покриттів (стор. 288-289), яка багатофазова (рис. 6.10-6.12). Нижче на стор. 302 у цьому ж висновку написано: «Середній вміст заліза в η -фазі однофазних покриттів, електроосаджених з електроліту з концентрацією цинку 40 г/л становить 0,2 %». Але як видно з рис. 6.14 на стор. 287, сплав Fe-Zn, електрокристалізований з електроліту з концентрацією цинку 40 г/л, не є однофазним, і крім фази η містить також фази α і $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$.

7. У дисертації не наведені або наведені не у тому місці деякі важливі експериментальні дані, які необхідні для розуміння дисертації.

На стор. 217 у 2-3 абзацах написано:

«Певний інтерес становить також контроль рівномірності товщини покриття по поверхні зразків. З цією метою електронно-мікроскопічному дослідженню піддавались травлені поперечні шліфи покриттів. Одержані результати показали цілком задовільний рівень цього параметру електрокристалізованого сплаву Fe-Cr-Ni (рис. 4.15).

Додатковим результатом даного етапу досліджень стала можливість спостерігати більш дрібнокристалічну мікроструктуру сплаву у порівнянні з електрокристалізованим залізом без легування (рис. 4.16) на поперечному шліфі, який готувався традиційним способом, в той час як інші зразки (тобто зразки поверхні покриттів) досліджувалися методом растрової електронної мікроскопії без приготування шліфів через малу товщину покриттів і необхідність дослідити форми росту кристалів».

Пояснення, чому не робили поперечні шліфи інших зразків, незадовільне. На рис. 4.15 та 4.16 показані мікрофотографії поперечних шліфів покриттів товщиною 15 мкм. В інших зразках товщина покриття була такою ж або більшою. Можна було навіть той самий зразок спочатку дослідити методом растрової електронної мікроскопії без приготування шліфа, а потім з нього зробити шліф. Хоча для статистичного аналізу результатів треба було досліджувати багато зразків, одержаних ідентичним способом. Тому має

бути достатньо зразків як для растрової електронної мікроскопії, так і для виготовлення шліфів.

На стор. 226 у передостанньому абзаці написано: «Аналіз макроструктури одержаних зразків електрокристалізованого сплаву Fe-Cr-Ni показав, що найбільш прийнятна за однорідністю і компактністю осадів поверхня покриттів формується при 10 А/дм²...». В цьому місці треба навести експериментальні дані, що використовувалися для одержання цього висновку (рис. 4.27) або перенести це твердження нижче в кінець підрозділу 4.2 після наведених відповідних даних. Інакше твердження виглядає голослівним.

На стор. 259 після речення «Фазовий аналіз не виявив наявності міді або будь-яких її сполук у складі покриттів» (4 абзац) треба вказати концентрацію міді у твердому розчині на основі заліза.

На стор. 260-262 написано:

«Зумовлене наявністю міді пригнічення формування аксіального орієнтування кристалів <211>, характерного для електрокристалізованого заліза, звичайно одержуваного за даних умов електролізу, можна пояснити наступним чином.

Загальновідомо, що при зануренні заліза (або сталі) у розчини солей міді відбувається контактне виділення останньої на поверхні заліза. Причиною цього є співвідношення електродних потенціалів цих двох металів (див. табл. 1.2). Очевидно, що в даному випадку при електроосажденні заліза з електроліту, що додатково містить мідь, також відбуваються процеси контактного виділення міді на сталевому катоді. На початкових стадіях електролізу, коли ще не сформований початковий компактний шар залізного покриття, вплив контактного виділення міді, очевидно, є найбільш вираженим. У певному сенсі, завдяки наявності міді, дещо змінюється тип підкладки, на яку відбувається електроосадження, тобто електрокристалізація заліза відбувається вже не на суто сталевій підкладці, а на підкладці, покритій певним шаром міді, якщо і не компактною і суцільною, то принаймні, у вигляді окремих зародків. Така зміна характеру підкладки, вірогідно, і приводить до формування нетекстурованих покриттів через втрату впливу кристалічної будови сталеві основи на початкові шари осадів заліза, що формуються на катоді.

Інший механізм впливу міді на факт формування нетекстурованих покриттів, може полягати у наступному. Характер і швидкість нуклеації при електроосажденні покриттів значною мірою визначається перенапруженням катода, тобто величиною відхилення потенціалу катода при електрокристалізації від його стандартного значення. Залежно від умов електролізу перенапруження може змінюватися в широкому інтервалі від 10⁻³ до 2 В. Для металів з об'ємноцентрованою кубічною решіткою відома послідовність зміни переважних орієнтувань кристалів у покриттях із зростанням перенапруження катода: <110>, <211>, <310>, <111>. Відомо також, що залізо, відноситься до групи металів, для яких характерне порівняно високе перенапруження катода при електроосажденні (більше 0,1

В), в той час як мідь належить до групи металів, які осаджуються з меншим перенапруженням (десятки мВ).

Таким чином, при введенні міді в електроліт залізнення, ймовірно, відбувається зменшення перенапруження катода і характерне для одержуваного за даних умов електролізу електрокристалізованого заліза (без легування) орієнтування $\langle 211 \rangle$ пригнічується, при цьому більш вірогідним стає формування попереднього орієнтування зазначеної послідовності $\langle 110 \rangle$, яке формується зазвичай в металах при низьких перенапруженнях катода, і взагалі зникнення переважних орієнтувань кристалів. Тобто, ймовірною причиною зникнення орієнтування кристалів $\langle 211 \rangle$ електрокристалізованого заліза є зменшення перенапруження катода при введенні іонів міді в електроліт залізнення.

Вірогідно, при електроосаженні заліза мають місце обидва запропонованих механізми впливу міді на особливості формування кристалографічної текстури покриттів, причому, очевидно, вплив контактного виділення міді переважає на початковому етапі процесу електролізу».

Ці припущення треба було підтвердити розрахунковими та експериментальними методами: 1) розрахувати вільну енергію електроосадження міді з відповідного електроліту, 2) дослідити осад на підкладці на початкових стадіях електролізу та 3) виміряти перенапруження катода. Без таких підтверджень припущення є голослівними.

В розділі 6.2 треба навести дані з елементного складу покриттів Fe-Zn, осаджених з хлоридного електроліту.

8. На стор. 221-222 написано: «Структура сплаву Fe-Cr-Ni за рівнем дисперсності займає проміжне положення, що також добре узгоджується із відповідними даними щодо морфології поверхневого шару. Деякі більші структурні складові мають сплави Fe-Cr, проте демонструють аналогічний характер мікроструктури, без принципових розбіжностей (рис. 4.19)». Нема пояснення, чому, з одного боку, мікроструктура поперечного перерізу покриття Fe-Cr-Ni має аналогічний характер зі сплавом Fe-Cr, а з іншого боку, текстура сплаву Fe-Cr-Ni подібна до такої сплаву Fe-Ni (стор. 209), а також структура поверхонь сплавів Fe-Cr-Ni та Fe-Ni подібна (обидва сплави містять сфероліти, ст. 212); тоді як текстура та структура поверхні сплаву Fe-Cr істотно відрізняється. Чому неподібні за текстурою та структурою поверхні сплави стають подібними за мікроструктурою поперечних перерізів?

9. Немає сенсу наводити мікрофотографії та дифрактограми сплавів Cr-Ni та Fe-Ni, осаджених з електроліту, у якому був сульфат марганцю (рис. 5.9-5.11), а також наводити текст на стор. 254-257, що описує ці рисунки, оскільки встановлено, що марганець у цих сплавах відсутній (стор. 257). Очевидно, що ці мікрофотографії та дифрактограми будуть аналогічними одержаним без марганцю в електроліті.

Загальні висновки.

Зазначені зауваження загалом не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи Колесника Є.В. В цілому вона за своїм рівнем, об'ємом та оформленням повністю відповідає вимогам до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: є закінченою науковою працею, яка виконана на актуальну тему, включає новизну методичних та науково-технічних рішень, які витікають з достовірних експериментальних даних, містить нові обґрунтовані результати, які в сукупності є суттєвими для розвитку матеріалознавства.

На основі вище сказаного вважаю, що дисертаційна робота Колесника Євгена Валерійовича «Науково-технологічні засади інженерії поверхні при формуванні електрокристалізованих покриттів на основі сплавів заліза різних компонентних груп» за обсягом експериментальних даних та теоретичних узагальнень повністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затверджених постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (із змінами) щодо докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство».

Заст. директора з наукової роботи
Фізико-технологічного інституту металів
та сплавів НАН України,
доктор технічних наук, старш. наук. співр.



А.М. Верховлюк