

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Романюк Світлани Павлівни «Експериментальні та технологічні основи формування структури і властивостей при зміцненні нанопокриттями інструмента», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 — «Матеріалознавство»

На експертизу представлено дисертаційну роботу обсягом 374 сторінки тексту, автореферат і копії 63 наукових праць, з яких: 19 статей опубліковано у спеціалізованих наукових виданнях України; 11 статей опубліковано у закордонних виданнях; 15 статей включено до наукометричної бази Scopus та Web of Science; 21 стаття опублікована в галузевих виданнях, з яких 1 колективна монографія; отримано 12 патентів України. Також наводяться 7 додатків на 52 сторінках.

Об'єктами дослідження є процес зміцнення та відновлення різальних інструментів, що використовуються у харчовій промисловості.

Предметом дослідження є експериментальні, теоретичні та технологічні основи формування структури і властивостей при зміцненні нанопокриттями різального інструменту для підвищення його експлуатаційної стійкості.

Дисертаційна робота Романюк Світлани Павлівни виконувалась у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка МОН України протягом 2014-2020 років згідно наукових програм, тем і планів: «Розробка і використання нових технологічних прийомів зміцнення наноструктурними покриттями в машинобудуванні» (ДР 0120U102792); «Нові технологічні процеси відновлення деталей наплавленням з використанням модифікування вторинною сировиною» (ДР 0120U002209); «Теоретичне та експериментальне обґрунтування нових технологій виробництва та відновлення деталей з використанням зміцнення модифікуванням» (ДР 0116U005802); «Отримання і застосування дистанційної шихти для підвищення експлуатаційної стійкості деталей» (ДР 0117U004157).

1. Актуальність наукового дослідження

Надійність роботи переробного обладнання харчової промисловості, а також його ресурс значною мірою залежить від стійкості ріжучого інструмента.

Такий інструмент в процесі його використання зазнає відчутного механічного зносу. Відбувається пошкоджувальність поверхневого робочого шару інструменту і його руйнування. Пошкодженості інструменту сприяє напружений характер його роботи, а також міжкристалітна і точкова корозія.

Перспективним напрямом підвищення експлуатаційних характеристик інструменту є застосування науково обґрунтованих технологій. Для підвищення властивостей інструменту доцільно використовувати відповідні конструкційні матеріали, оптимізувати параметри процесу нанесення шарів зміцнення, а також зменшити вихідну дефектність основного металу інструменту і його покриття.

Таким чином вирішення проблеми підвищення ефективності використання різального інструменту в харчовій промисловості є економічно доцільним і надається актуальним.

2. Зміст та обсяг дисертації та автореферату

Дисертація складається: зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, що включає 377 найменувань і додатків.

У **першому розділі** наведено аналіз сучасного стану проблеми стосовно експериментальних і технологічних основ формування структури і властивостей при зміцненні нанопокриттями інструмента, що використовується в харчовій промисловості.

Проаналізували можливість використання карбідів, нітридів і оксидів, як складових, що зміцнюють структурно-фазовий стан покриттів. Розглянули особливості використання TiN і ZrN. Прийшли до висновку, що підвищити властивості захисних покриттів надається можливим шляхом створення багатошарових наноструктурних покриттів. Такі покриття мають різний рівень твердості і зменшений напружений стан, що сприяє підвищенню зносостійкості. Таким чином усуваються недоліки, пов'язані з особливостями структуроутворення іонно-плазмових покриттів. Розглянули вплив відомих технологічних чинників на формування структурно-фазового стану покриттів, а також на наявність в таких покриттях дефектів (тріщин, пор та інш.). Загалом огляд літератури стосовно наведеної проблеми створення зміцнювальних покриттів дозволив сформулювати напрями для її вирішення.

У **другому розділі** обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів, наведені умови отримання зміцнених покриттів, описані методи і методики дослідження, а також відповідне обладнання для нанесення покриттів. Також надається методологія, що передбачає особливості напряму проведення досліджень за відомою діаграмою Ісікави.

Визначення механічних властивостей та вивчення структурного стану запропонованих покриттів проводили на різних стадіях напрацювання різального інструменту. Механічні і фізичні властивості наноструктурних покриттів (нанотвердість, модуль пружності, пластичність, опір пластичному деформуванню та інш.) визначали шляхом використання сучасного обладнання та відповідних методів. Наприклад, приладу «Nanoindentor G200» і методу CSM з автоматичним записом діаграми індентування.

Для вивчення структурного стану різних ділянок різального інструменту використовували неруйнівний метод магнітного контролю, а також методи металографічного, мікрорентгеноспектрального і рентгенофлуоресцентного аналізів оптичної та електронної мікроскопії.

Третій розділ присвячено дослідженню процесів деградації стосовно використання різальних інструментів, а також розробці напрямів підвищення якості і зносостійкості різального інструменту, який використовується в харчовій промисловості. Інструмент для різання металізованої плівки, яка використовується для загортання цукерок, вперше передбачав вивчення структурних змін основного металу і розробку відповідного покриття. Таке вивчення змін і розробка покриття проводилось стосовно надійної роботи інструменту. Враховували, що циклічні навантаження при експлуатації супроводжуються втомним характером руйнування і корозійною пошкоджуваністю робочої поверхні інструменту. На металографічних зображеннях, шляхом використання спеціальної комп'ютерної програми і оптико-математичного методу виявляли зміни фазового складу та деградацію структури за мінливістю комірних характеристик карбідних фаз. Таке виявлення було пов'язане з процесами, що проходять в процесі роботи різального інструменту. Використовуючи чисельний метод розв'язання задач з вирішенням диференційних рівнянь на цифрових зображеннях структури, як сітки пікселів, досліджували структурні зміни. Виявили, що на робочій поверхні, під дією напружень, розпадаються окремі складові структури, а

частка карбідних фаз зменшується з 14,4% до 8,15%.

Якісні характеристики інструменту досліджували шляхом визначення фізико-механічних властивостей і структурного стану. З використанням методу наноіндентування виявляли нанотвердість, модуль пружності, межу плинності, модуль зсуву і коефіцієнт опору пластичній деформації. Контроль якості пакувального інструменту здійснювали використанням неруйнівного магнітного методу, згідно коерцитивної сили. При утворенні тріщин спостерігали підвищення коерцитивної сили майже на 20%, а її зниження менше аналогічних показників вихідного стану. Наведене відповідає стадії, що є перехідною до початку процесу руйнування і свідчить про деградацію робочого шару інструменту і недоцільність його подальшого використання.

Четвертий розділ присвячено визначенню особливостей застосування нанопокриттів для підвищення робочої надійності різального інструменту, який використовується у харчовому виробництві. Вивчали вплив зміцнення різального інструменту на його структурний стан і властивості стосовно використання інструменту в кондитерському виробництві. Розглянули особливості структуроутворення стосовно двох технологічних процесів отримання зміцненого покриття (TiN) шляхом іонного бомбардування і з використанням ВЧ-розряду. Встановили, що нанесення покриття методом КІБ зумовлює перегрів тонкостінного інструменту, що унеможливує його подальше використання. Використання відносного циклічного очищення запропонованого інструменту дозволило запобігти перегріву, а нанесення підшару із чистого титану забезпечило наявність адгезії з основним металом інструменту. Встановили, що середнє значення нанотвердості робочої поверхні, зміцненої покриттям в 6,56 разів, є вищою в порівнянні з вихідним металом інструменту. Опір пластичному деформуванню робочої поверхні інструменту збільшився в 99 разів. Для підвищення експлуатаційних характеристик пакувального інструменту зі сталі X12, який використовується в умовах тертя, зношування та корозійного впливу, запропонували композиційне покриття ZrO_2/ZrN .

Виявили, що зменшення середнього розміру зерен з 20 до 15 нм у шарі покриття ZrN , яке осаджували шляхом використання ВЧ-розряду, з застосуванням криволінійного фільтру, призводить до зміни параметру ґратки від $a = 0,4577$ нм і значного підвищення нанотвердості. Таким чином

отриманий структурний стан і властивості запропонованих покриттів зумовили підвищити надійність роботи різального інструменту і його ресурс.

П'ятий розділ присвячено дослідженню особливостей структуроутворення запропонованих покриттів. Виявили, що застосування ВЧ-розряду сприяє зменшенню вихідної структурної неоднорідності покриття і забезпечує більш високий рівень її стабільності в умовах експлуатації інструменту. Шляхом вивчення особливостей структуроутворення і неоднорідності розподілу компонентів у багатошаровому наноструктурному покритті ZrO_2/ZrN встановили, що при його нанесенні іонно-плазмовим методом зберігається відповідна крапельна фаза. Виявили, що крапельна фаза, яка переважно формується у покритті ZrN , має вигляд колоподібних і розплющених включень. Виявили структурний стан в місцях контакту шарів з компонентами O_2 і N_2 , а також в самих шарах і в перехідному шарі, що свідчить про високий рівень зв'язку покриття з основним металом. Неоднорідність нанопокриттів також оцінювали за анізотропією розподілу компонентів за спеціально розробленою програмою. Така програма урахувала мінливість структуроутворення на металографічних зображеннях. Структурну неоднорідність багатошарового наноструктурного покриття ZrO_2/ZrN також оцінювали шляхом використання 16 умовних кольорів зображення за відповідною часткою різних кількостей пікселів.

У **шостому розділі** наводяться результати промислових іспитів, що виконувались стосовно теоретичного обґрунтування запропонованих наноструктурних покриттів. Виявили пошкоджуваність різального інструменту в процесі його безпосередньої роботи в умовах виробництва. Отримані результати враховували при уточненні структурного стану і властивостей інструменту, що зумовило підвищення його експлуатаційних характеристик.

Стосовно тонкостінного різального інструменту зі сталі 65Г, зміцненого покриттям TiN , встановили вплив напружень на його надійність і ресурс. Запропонували метод (на рівні винаходу) оцінки рівня напружень, що утворюються в тонкостінному різальному інструменті з нанопокриттям, а також неоднорідності властивостей по всій поверхні дискового виробу. Така оцінка надала змогу коригувати технологічні параметри процесу нанесення покриття, що істотно вплинуло на його вихідну якість і подальшу надійність в роботі.

Шляхом використання запропонованого кореляційно-регресивного аналізу виявили складові структури, які найбільш суттєво впливають на стійкість зміцненого інструменту при його напрацюванні. Дослідження структури і властивостей тонкостінного інструменту дозволило виявити особливості зміни його стійкості відповідно 10-210 змін умов його експлуатації. Виявлення таких змін дозволило скоригувати стан вихідної структури, що дозволило підвищити її стійкість при роботі інструменту. Зміцнювали інструмент при відповідних показниках коерцитивної сили. Шляхом випробувань на тертя та зношування зміцненого пакувального інструменту встановили, що максимальну зносостійкість поверхні забезпечує покриття ZrN, що має відповідно високий рівень мікротвердості і в 2 рази зменшений коефіцієнт тертя в порівнянні з вихідним станом зі сталі X12. Після випробувань на тертя та зношування стосовно покриття ZrO₂/ZrN вивчали структурний стан і його зміни, а також визначали зміни властивостей інструменту. Відповідно зношування поверхневого шару пакувального інструменту понад 5 мм спочатку робили його відновлення наплавленням з модифікуванням нанесеного шару немагнітною складовою детонаційної шихти, що містила дрібнодисперсні і нанорозмірні алмази, а також модифікуючі домішки. Таким чином після наплавлення за запропонованою технологією наносили зміцнювальне цирконієве покриття, що забезпечило отримання необхідних властивостей і підвищення зносостійкості інструменту.

Впровадження тонкостінного дискового різального інструменту зі сталі 65Г і пакувального інструменту із високо-вуглецевої високолегованої сталі X12 забезпечило отримання на підприємствах харчової промисловості значного економічного ефекту.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на аналізі сучасних загально визначених літературних джерел в області отримання зміцнених покриттів різального інструменту. Обґрунтування отриманих теоретичних і практичних результатів дисертаційної роботи також базується на коректному використанні як відомих, так і запропонованих методів і методик, а також сучасного обладнання стосовно дослідження

структурно-фазового стану і визначення механічних та фізичних властивостей інструменту.

Достовірність отриманих результатів додатково підтверджується тим, що методики для отримання зміцнених покриттів різального інструменту повною мірою узгоджуються з загально визначеними методологічними засадами і концепціями в галузі наукових положень, а також практики металознавства. Зокрема підвищення механічних і фізичних властивостей різального інструменту шляхом нанесення зміцнювальних покриттів. Наведені автором результати практичного використання запропонованого різального інструменту підтверджують достовірність наукового обґрунтування стосовно підвищення фізичних і механічних властивостей різального інструменту. Отримані результати, пов'язані зі зміцненням різального інструменту, можуть використовуватися при його виготовленні.

4. Новизна наукових положень, висновків, рекомендацій

В дисертаційній роботі отримано ряд наукових результатів, які у сукупності є значущими для проблеми підвищення експлуатаційних характеристик різального інструменту для харчової промисловості.

На основі аналізу результатів дисертаційних досліджень С.П. Романюк доцільно визначити наступні результати, що мають наукову новизну: в роботі виконано комплекс фундаментальних і прикладних досліджень стосовно підвищення механічних і фізичних властивостей різального інструменту для харчової промисловості. Отримані результати можуть бути кваліфіковані як теоретичне узагальнення та рішення важливої науково-прикладної проблеми, що має вагоме значення для харчової промисловості:

- вперше для підвищення якості робочої поверхні та зниження втомної пошкоджуваності в процесі тривалої експлуатації тонкостінного різального інструменту запропонували циклічне нанесення нітридного наноструктурного шару іонно-плазмовим методом з використанням ВЧ-розряду, що запобігає його перегріву;

- вивчено особливості деградації структури і пошкоджуваності різального інструменту зі сталі X12, а також особливості руйнування робочого шару;

- обґрунтовано створення багатошарового наноструктурного покриття ZrO_2/ZrN , в якому шари з нітриду цирконію забезпечують зменшення

зносостійкості, а керамічні шари збільшують захист від корозійного впливу;

- шляхом обробки металографічних зображень за допомогою комп'ютерної програми Thixomet Pro, а також спеціально розробленого оптико-математичного методу, виявили структурно-фазові зміни, які відбуваються в процесі напрацювання ріжучого інструменту. Встановили особливості руйнування під дією напружень окремих структурних складових.

5. Практична значимість одержаних результатів

1. Запропонували удосконалену технологію зміцнення тонкостінного різального інструменту покриттям TiN для подрібнення горіхів, що дозволило суттєво збільшити його стійкість у порівнянні з дисковими ножами зі сталі 65Г.
2. Для оцінки якості покриттів запропонували методи неруйнівного контролю ріжучих інструментів для виявлення напружень і початку деградації металу інструменту.
3. Впровадили технологію виробництва інструменту з багат шаровим наноструктурним покриттям ZrO_2/ZrN , яка забезпечила значне підвищення його якості.
4. Запропоновані розробки зміцненого ріжучого інструменту для харчової промисловості захищені 12 патентами України і використовуються на підприємстві ПАТ «Кондитерська фабрика «Харків'янка». Результати досліджень дисертаційної роботи використовуються в лекційних курсах дисциплін «Нанотехнології та методологія наукових досліджень», «Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів» для бакалаврів і магістрів, які навчаються за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових виробництв»; «Інженерія переробних і харчових виробництв» за спеціальністю «Харчові технології».

6. Повнота вкладених отриманих результатів у наукових виданнях

Основні результати і наукові положення, висновки та рекомендації, що наведені в дисертації, повністю висвітлені в 63 наукових роботах, в тому числі в 19 статтях у спеціалізованих наукових виданнях України. 11 статей опубліковано у закордонних виданнях (з них 15 включено до міжнародних

наукометричних баз Scopus s Web of Science). 21 стаття опублікована в галузевих виданнях України, а також закордонних виданнях. За матеріалами дисертації отримано 12 патентів України на винаходи. Матеріали дисертаційної роботи докладалися на ряді Міжнародних конференцій.

7. Рекомендації по використанню результатів дисертації

Отримані та запропоновані автором результати доцільно використовувати для отримання різального інструменту, який характеризується підвищеними якісними характеристиками в харчовій промисловості. Отримані результати також доцільно використовувати в матеріалах дисципліни «Матеріалознавство».

8. Оформлення дисертації та автореферату

Зміст автореферату повною мірою відповідає змісту дисертації. Автореферат містить основні положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертації, а також всю іншу, необхідну для оцінки дисертації, інформацію. Дисертаційна робота і автореферат викладені логічно, послідовно та коректно. Оформлення автореферату повністю відповідає вимогам пунктів 11, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання» стосовно докторських дисертацій.

9. Зауваження щодо змісту та оформлення роботи

Слід відмітити наступні зауваження щодо змісту та оформлення розглянутої дисертаційної роботи:

- в постановочній частині дисертації для більшого усвідомлення її матеріалу слідувало б в більш концентрованому вигляді сформулювати допущення і обмеження, які використовували при виконанні роботи;
- слідувало б виявити як наявність карбідів пов'язана з пошкоджуваністю робочої поверхні зміцненого ріжучого інструменту;
- було б доцільним визначити когерентність структур окремих шарів в багат шаровому покритті ріжучого інструменту. Наприклад на дискових ножах зі сталі 65Г;
- слід було б в більшій мірі проаналізувати дифузійні процеси, які відбуваються при нанесенні зміцнювальних покриттів на робочій

- поверхні ріжучого інструменту;
- у тексті дисертації зустрічаються граматичні помилки;
- при дослідженні структурного стану було б доцільним в більшій мірі використовувати індекси площин і напрямів.

10. Висновок про відповідність дисертації паспорту спеціальності і встановленим вимогам

Зазначені зауваження можна вважати такими, що не знижують цінності роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку. Дисертаційна робота Романюк Світлани Павлівни є завершеним науковим дослідженням, що містить нові науково-обґрунтовані теоретичні та практичні результати в галузі матеріалознавства.

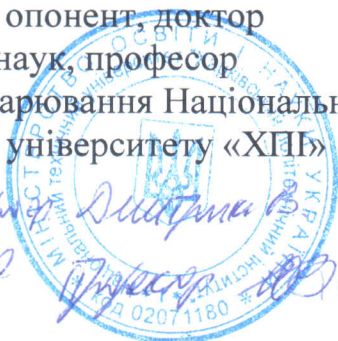
Дисертаційна робота оформлена у відповідності до вимог ДСТУ.

В цілому вважаю, що дисертаційна робота Романюк Світлани Павлівни «Експериментальні та технологічні основи формування структури і властивостей при зміцненні нанопокриттями інструмента» відповідає необхідним кваліфікаційним вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року.

Все вищенаведене дає підстави вважати, що дисертаційну роботу виконано на високому науковому рівні, а її автор Романюк Світлана Павлівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство.

Офіційний опонент, доктор
технічних наук, професор
кафедри зварювання Національного
технічного університету «ХПІ»

Дієприм
Золотий



Віталій ДМИТРИК

10.3.2016