НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. Г.В. КАРПЕНКА

Багатофункціональні покриття на конструкційних матеріалах

Автори:
1. КУХАР Іван Степанович – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту імені Г.В.Карпенка НАН України
2. СТУПНИЦЬКИЙ Тарас Романович – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту імені Г.В.Карпенка НАН України
3. ЛАВРИСЬ Сергій Мирославович – молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту імені Г.В.Карпенка НАН України

ЦИКЛ РОБІТ НА ЗДОБУТТЯ ПРЕМІЇ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ
ДЛЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ 2020 РОКУ

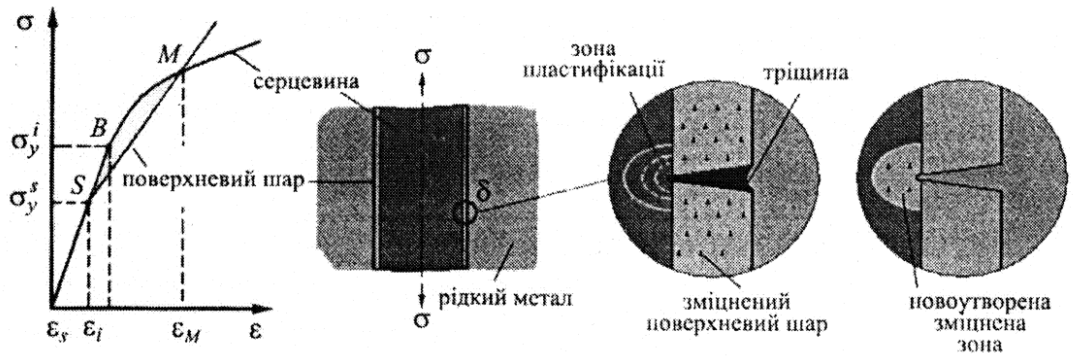
Метою дослідження є оцінювання негативного впливу експлуатаційних середовищ на механічні характеристики конструкційних матеріалів та розроблення нових методів інженерії поверхні для підвищення їх роботоздатності та довговічності.

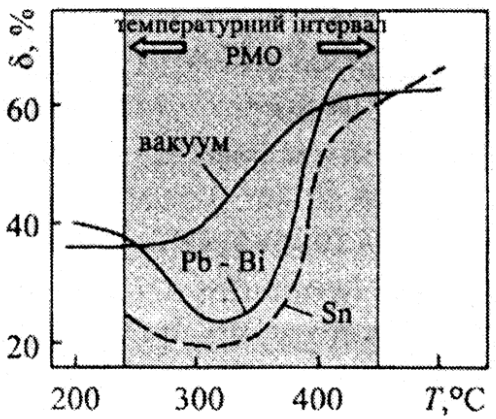
Досягнення мети передбачає:

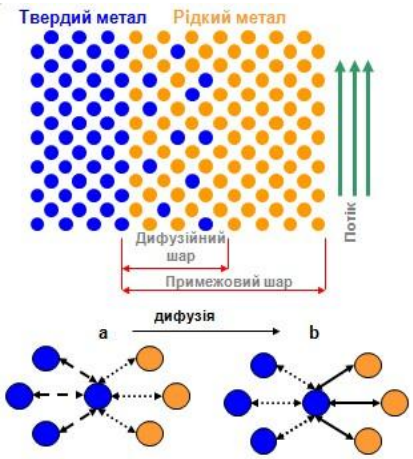
- дослідження негативного впливу експлуатаційних середовищ на механічні, корозійні, трибологічні властивості конструкційних матеріалів;
- розроблення нових методів інженерії поверхні конструкційних матеріалів для формування багатофункціональних покриттів із покращеними властивостями при взаємодії з експлуатаційними середовищами.

Дослідження стосуються розв’язання важливого науково-практичного завдання: підвищення зносо- та корозійної тривкості конструкційних матеріалів для забезпечення їх надійності і довговічності у виробах авіабудування, машинобудування, енергетичного машинобудування шляхом розробки нових методів та підходів до інженерії поверхні при формуванні багатофункціональних покриттів.

Фізико-хімічні процеси взаємодії розплавів тяжких легкоплавких металів зі сталями







Схематичне зображення реалізації рідкометалевого окрихчення

a – руйнування зв'язків між атомами твердого металу і утворення зв'язків з атомами рідкого металу; *b* – дифузія розчинених атомів в об'єм рідкого металу під дією градієнту хімічного потенціалу.

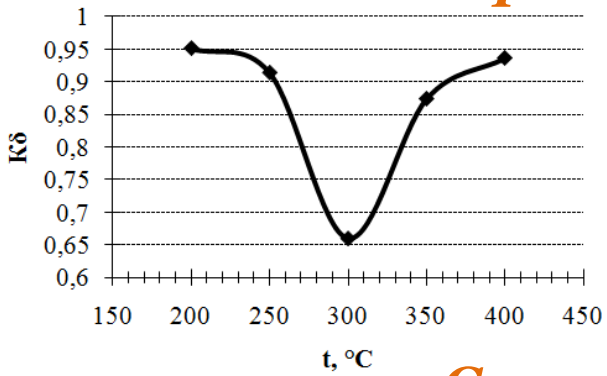
Коефіцієнт впливу середовища

$$K_\delta = \frac{\delta_{сер.}}{\delta_{вак.}},$$

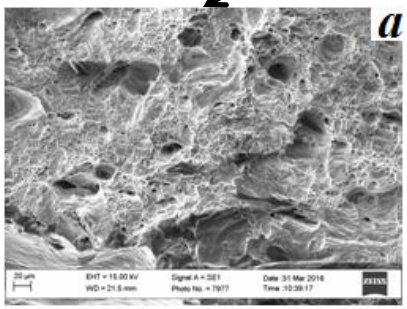
де $\delta_{сер}$ – пластичність у середовищі, $\delta_{вак}$ – пластичність у вакуумі

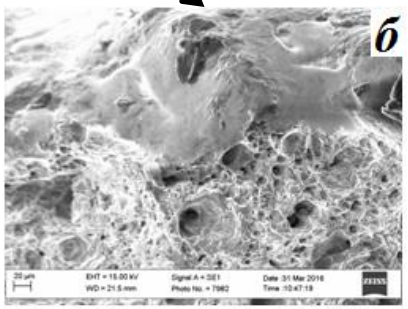
а – вакуум, ***б*** - свинець

Армко-залізо

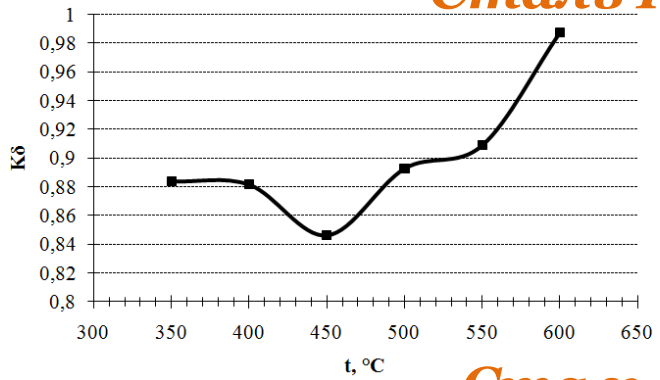


Поверхня

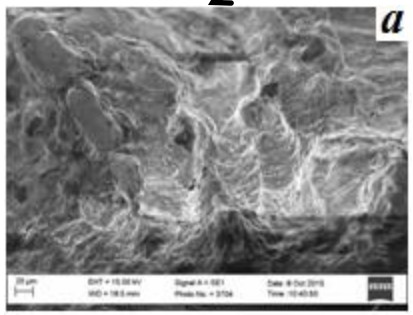


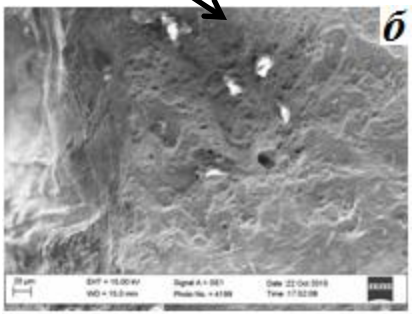


Сталь Fe-11Cr

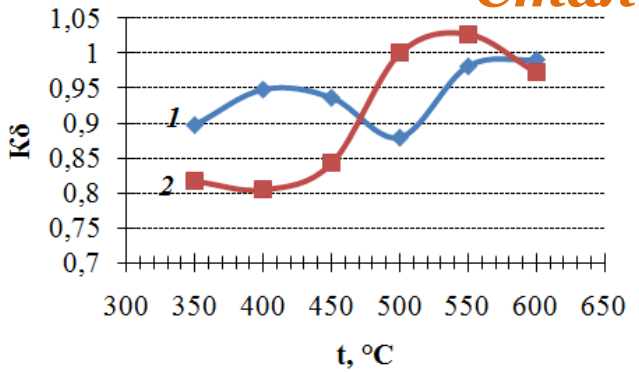


Поверхня

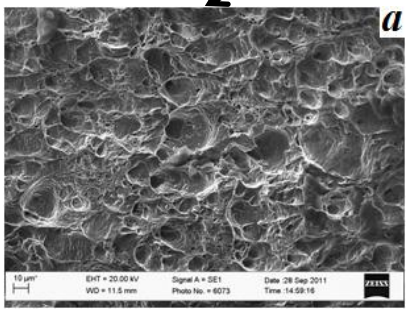


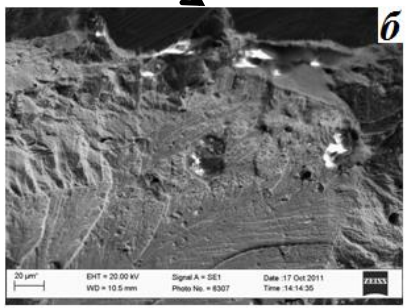


Сталь 20Х13

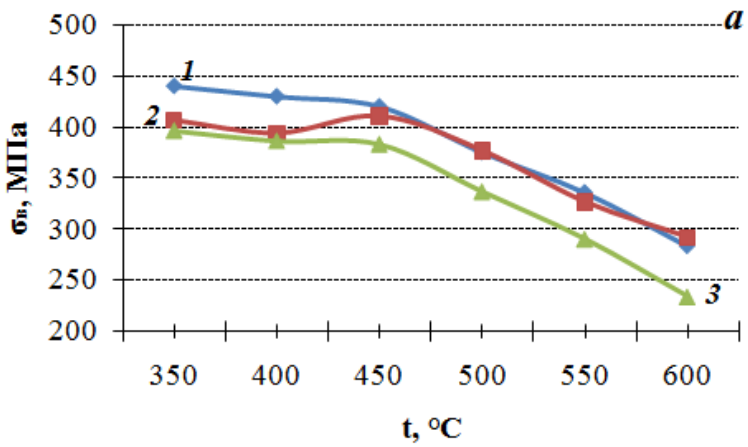


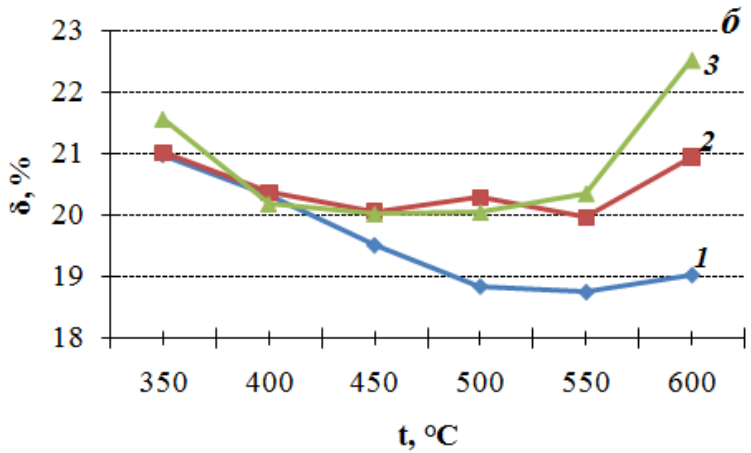
Поверхня



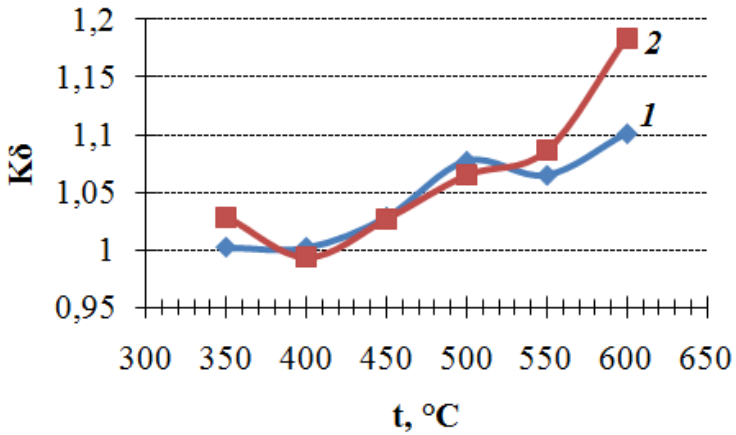


Сталь аустенітного класу

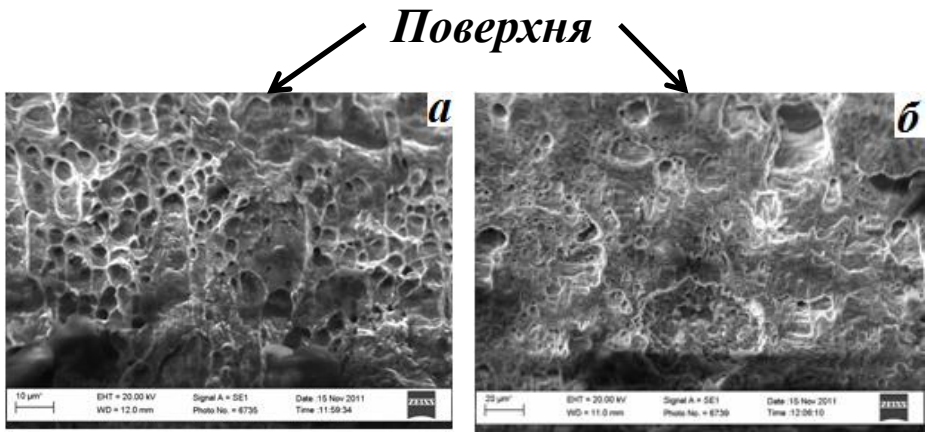




Температурна залежність **границі міцності** (***а***) та **пластичності** (***б***) сталі Х18Н10Т:
1 – вакуум, ***2*** – свинець, ***3*** – евтектика (Pb-Bi)



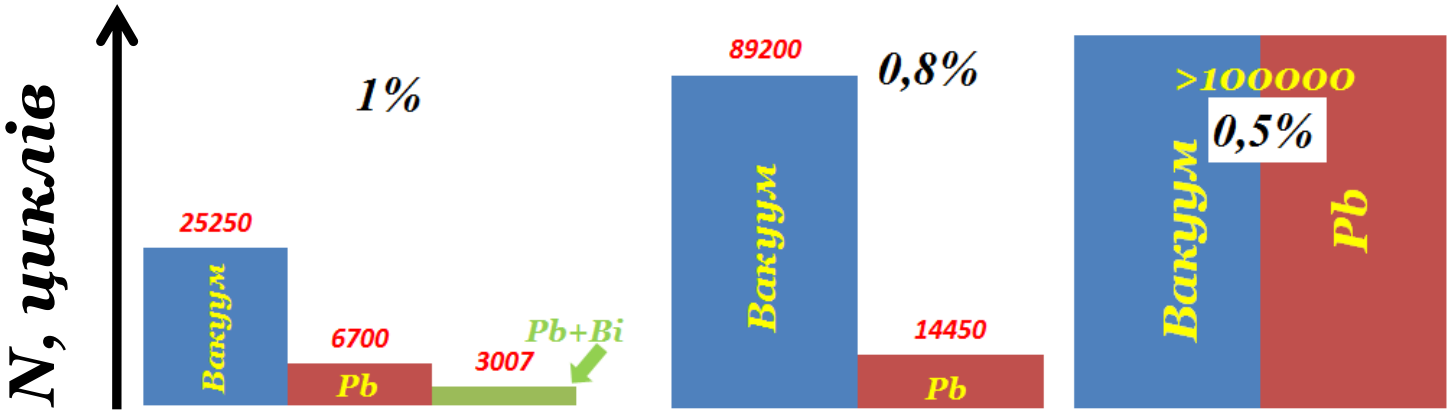
Коефіцієнту впливу середовища K_δ:
1 - свинець, ***2*** - евтектика (Pb-Bi)



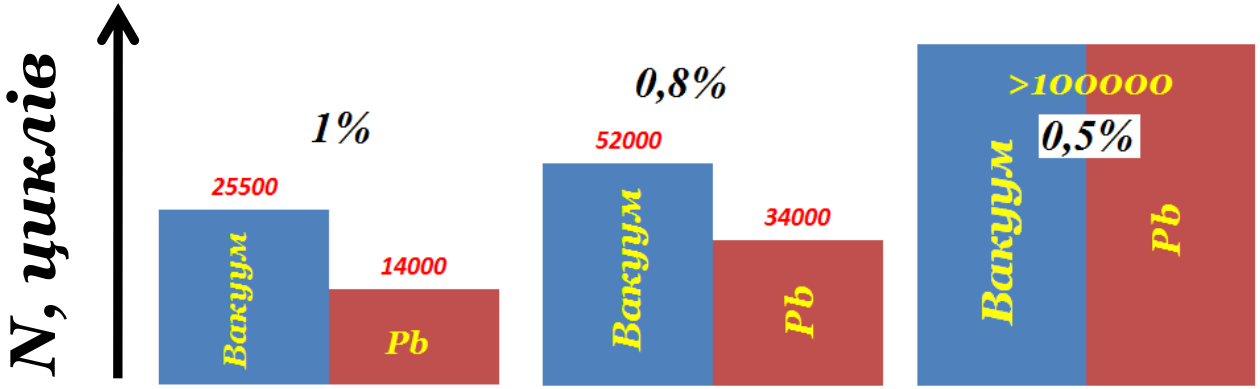
Поверхні зламів сталі Х18Н10Т
за температури 400°С
у вакуумі (***а***) та у свинці (***б***)

Вплив структури сталей на рідкометалеве окрихчення за циклічного навантаження

Сталь аустенітного класу

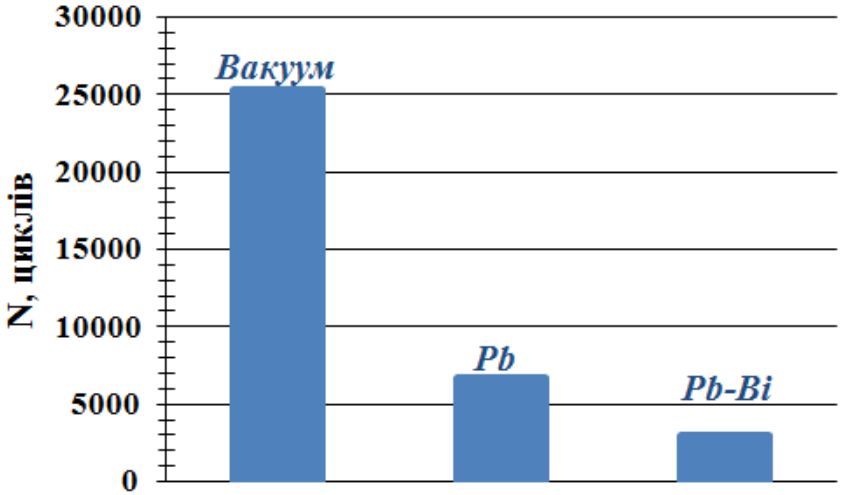


Втомна довговічність сталі Х18Н10Т при температурі 350°С за різних амплітуд деформації

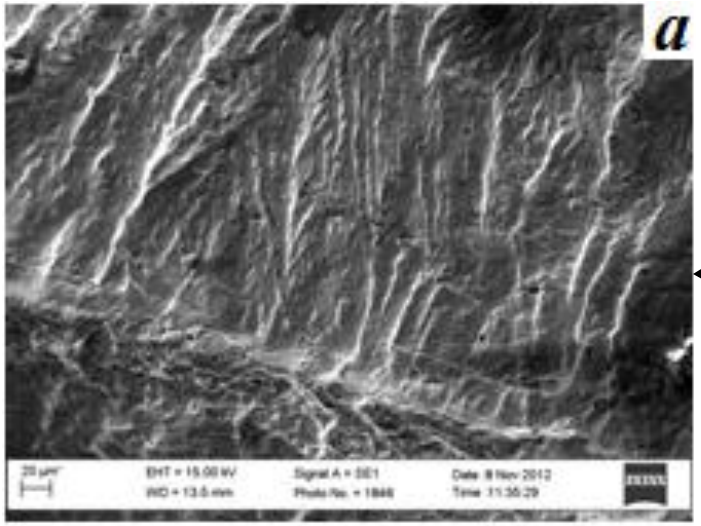


Втомна довговічність сталі Х18Н10Т при температурі 500°С за різних амплітуд деформації

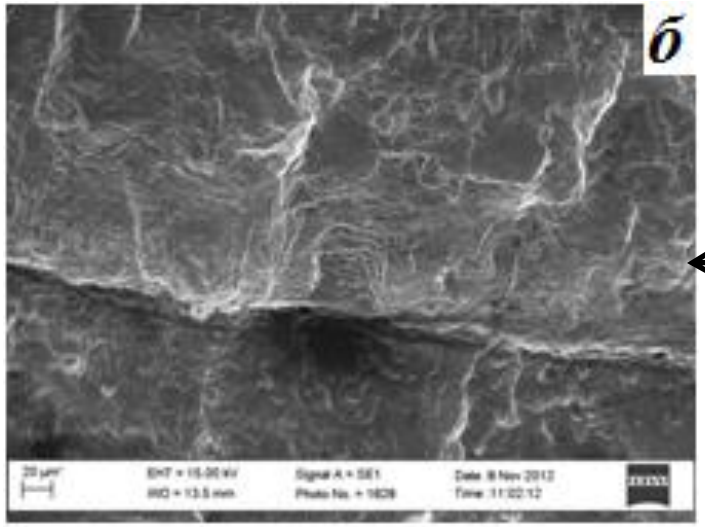
Сталь аустенітного класу



Вплив середовища на довговічність сталі Х18Н10Т за температури 350°С та амплітуди деформації 1%



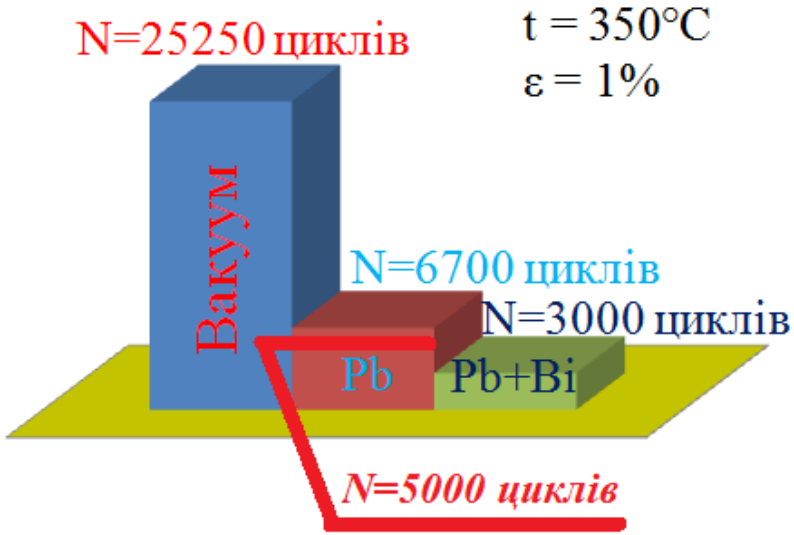
Поверхня



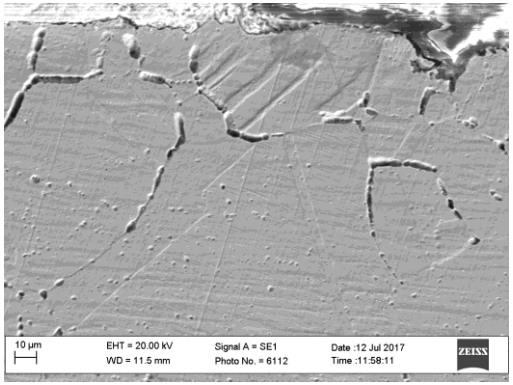
Поверхня

Поверхні зламів сталі Х18Н10Т за амплітуди деформації 1%:
а – 350°С вакуум, ***б*** – 350°С свинець

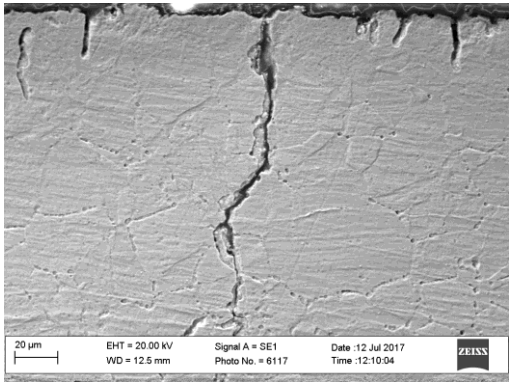
Вплив середовища на характер деформування поверхневих шарів за чистого згину



Втомна довговічність сталі Х18Н10Т за температури 350 °С та амплітуди деформації 1% у різних середовищах



а



б

Характер деформування поверхневих шарів сталі Х18Н10Т у середовищі вакууму (***а***) та свинцю (***б***) за температурі 350 °С та амплітуди деформації 1% на базі N=5000 циклів

Впровадження результатів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІФТТМТ ННЦ ХФТІ
НАН України
член-кор. НАН України

_____ В.М. Воєводін

«06» 06 2018 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заст. директора ФМІ НАН України
член-кор. НАН України

_____ В.Р. Скальський

«13» 06 2018 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи «Вплив структурного стану хромистих сталей на рідкометалеве окрихчення у свинцевих розплавах»

Комісія у складі начальника науково-дослідної лабораторії електрофізичних матеріалів і технічних надпровідників ІФТТМТ ННЦ ХФТІ НАН України, к. ф-м. н. М.А. Тихоновського, провідного наукового співробітника, д. ф-м. н., професора П.І. Стоєва, підтверджує, що результати дисертаційної роботи молодшого наукового співробітника відділу високотемпературної міцності конструкційних матеріалів у газових і рідкометалевих середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України Кухара Івана Степановича «Вплив структурного стану хромистих сталей на рідкометалеве окрихчення у свинцевих розплавах» використано в ІФТТМТ ННЦ ХФТІ НАН України при розробці нових сплавів для обладнання реакторів нового покоління з рідкометалевими теплоносіями. Зокрема, для експлуатації при робочих температурах теплоносію до температури 350…400°С рекомендується використання сталей феритного та ферито-мартенситного класів, а при температурах до 550°С сталей аустенітного класу зі зменшеним вмістом нікелю.

Від ІФТТМТ ННЦ ХФТІ НАН України

Нач. лабораторії 11-20, к. ф-м. н.

_____ М.А. Тихоновський

Пров. н. с., д. ф-м. н., професор

_____ П.І. Стоєв

Від ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України

Зав. відділу № 15, д. т. н., проф.

_____ І.М. Погрелюк

Ст. н. с., д. т. н

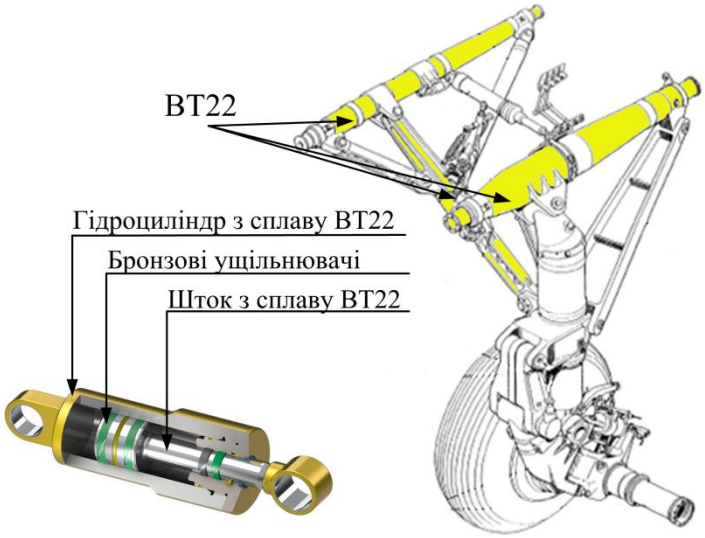
_____ О.І. Яськів

М. н. с.

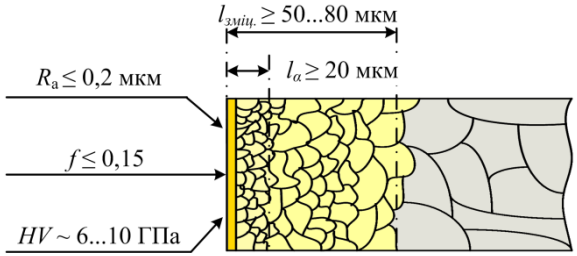
_____ І.С. Кухар

Результати роботи використано в ***Інституті фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України*** при розробці нових сплавів для обладнання реакторів нового покоління з рідкими теплоносіями. Зокрема, для експлуатації при робочих температурах теплоносія до температури 350…400°С рекомендується використання сталей феритного та ферито-мартенситного класів, а при температурах до 550°С сталей аустенітного класу зі зменшеним вмістом нікелю

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ22 ДЕФОРМАЦІЙНО-ДИФУЗІЙНИМ ОБРОБЛЕННЯМ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ



Використання титанового сплаву ВТ22 в літаках марки «Ан»



"УТВЕРЖДАЮ"
ИСМ НАНУ
Директор, д.т.н., проф.
Клименко С. А.
"____" _____ 2013 г.

"УТВЕРЖДАЮ"
ГП «АНТОНОВ»
Зам. Генерального директора
Шевцов А. Н.
"___" _____ 2013 г.

"УТВЕРЖДАЮ"
ФМИ НАНУ
Зам. директора, чл.-корр. НАНУ
Фиалков Ю. Я.
"___" _____ 2013 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
№ 018.00.4100.140.0.0.0.0.0.0.73
на выполнение работ по теме: **"Исследование методов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей пары трения «цилиндр-штоки» из высокопрочного титанового сплава ВТ22, с целью обеспечения требований герметичности"**

От ИСМ НАН Украины:
Зав. отделом перспективных ресурсосберегающих технологий механообработки, д.т.н., ст.н.с.
Шейкин С. Е.

От ФМИ НАН Украины:
Ведущий научный сотрудник отдела высокотемпературной прочности конструкционных материалов в газовых и жидкометаллических средах, д.т.н., ст.н.с.
Погрепняк И.Н.

От ГП «АНТОНОВ»:
Начальник КО-19
Лагуткин А. Н.

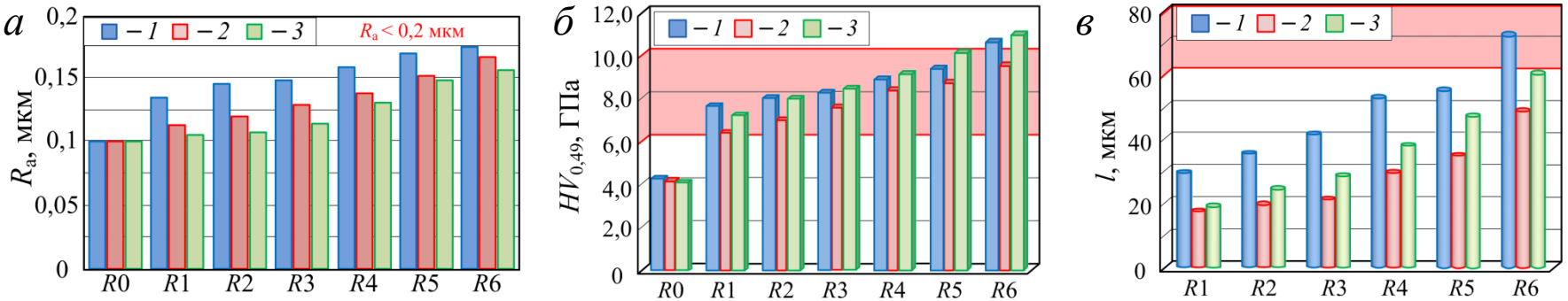
Главный металлург
Лавренко И. Г.

Киев 2013 г.

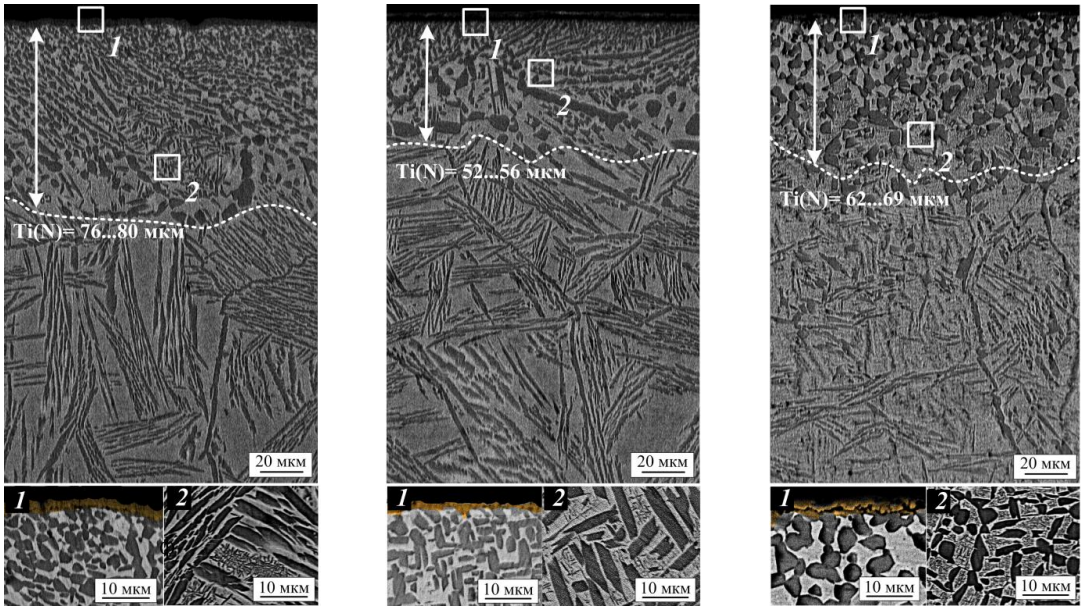
Вимоги, що ставляться до зміцненого поверхневого шару сплаву ВТ22

ДЕФОРМАЦІЙНО-ДИФУЗІЙНА ОБРОБКА

ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТУВАННЯ СПЛАВУ ВТ22 ЗА СУМІЩЕННЯ З ЙОГО ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

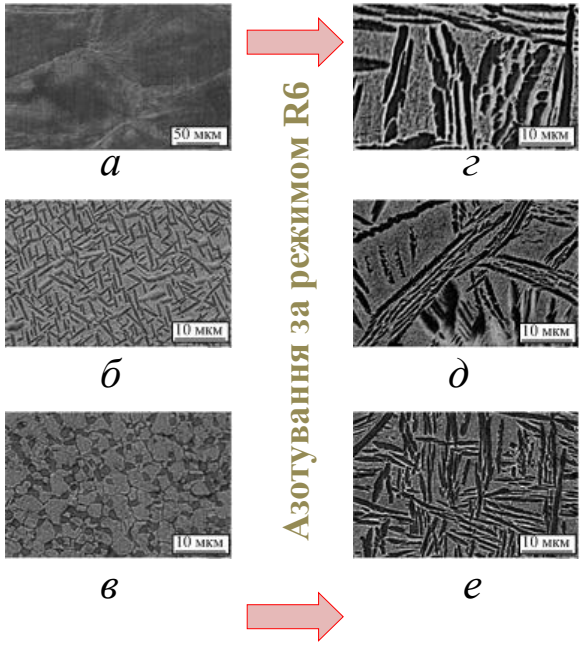


Параметр шорсткості (*а*), мікротвердість поверхні (*б*) та глибина зміцненого шару (*в*) титанового сплаву ВТ22 після азотування, суміщеного з ТО (див. табл. 3), де *1* – титановий сплав з вихідною β, *2* – (α+β)-пластинчастою, *3* – (α+β)-глобулярною структурами



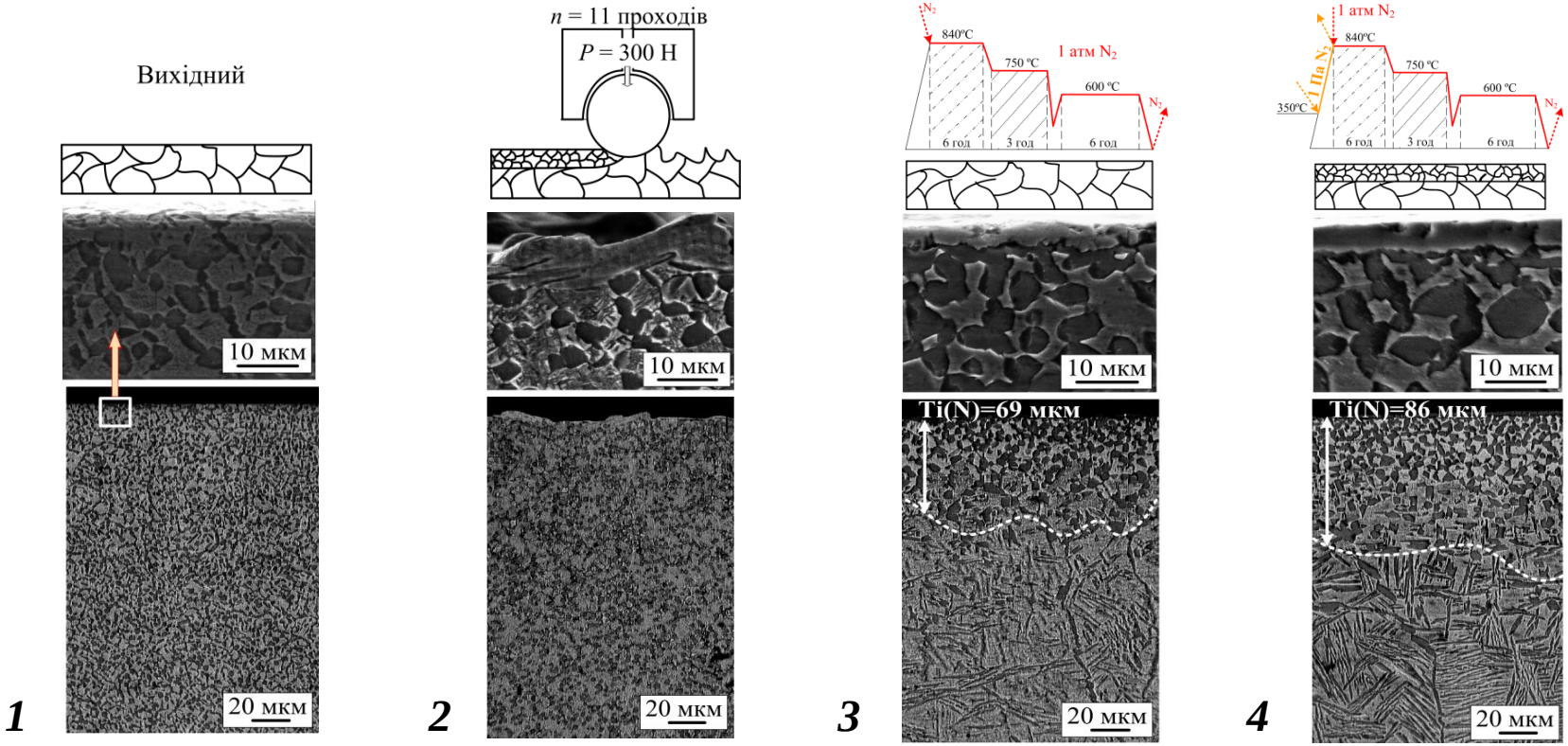
а *б* *в*

Мікроструктура поверхневого шару титанового сплаву ВТ22 після азотування за режимом R6, де *а* – титановий сплав з вихідною β, *б* – (α+β)-пластинчастою, *в* – (α+β)-глобулярною структурами

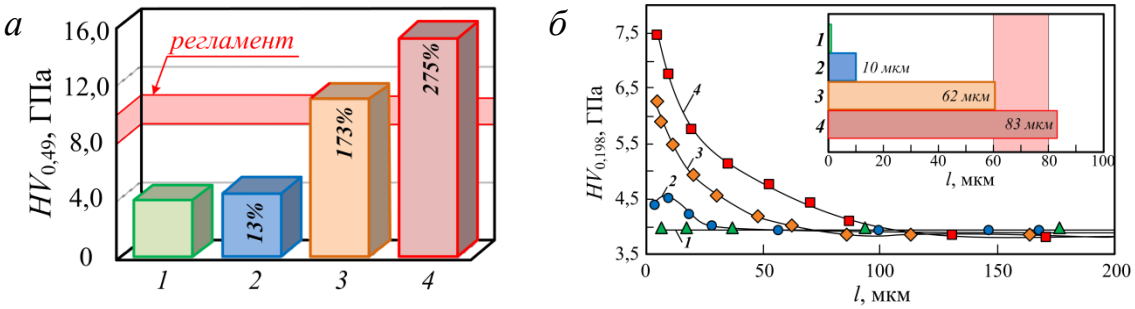


Мікроструктура матриці сплаву ВТ22 до (*а-в*) та після азотування за режимом R6 (*г-е*)

ДЕФОРМАЦІЙНО-ДИФУЗІЙНА ОБРОБКА ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ22

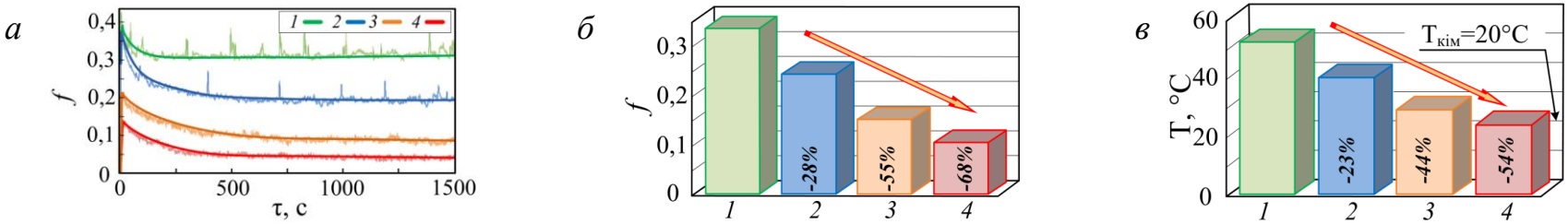


Мікроструктура поверхневого шару титанового сплаву ВТ22 у вихідному стані (*1*), після накочування (*2*), азотування суміщеного з ТО (*3*) та деформаційно-дифузійної обробки (*4*)

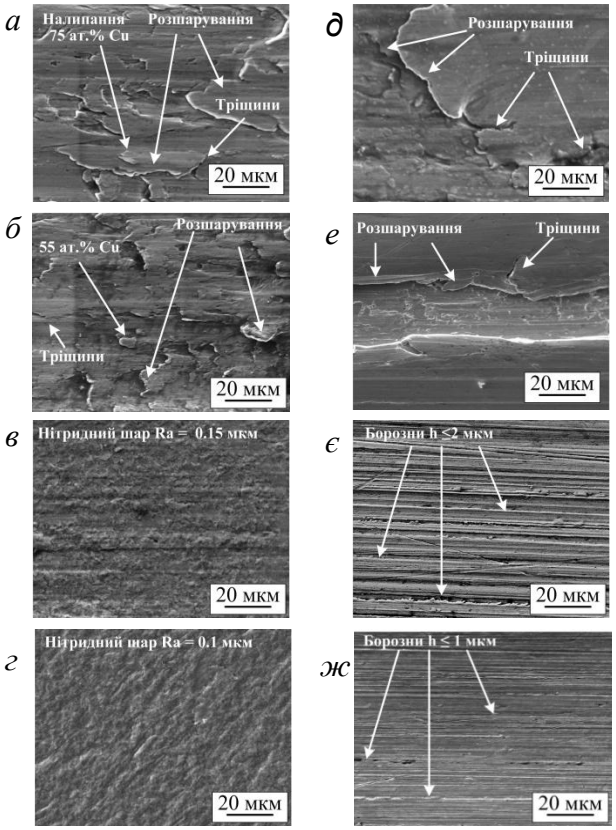


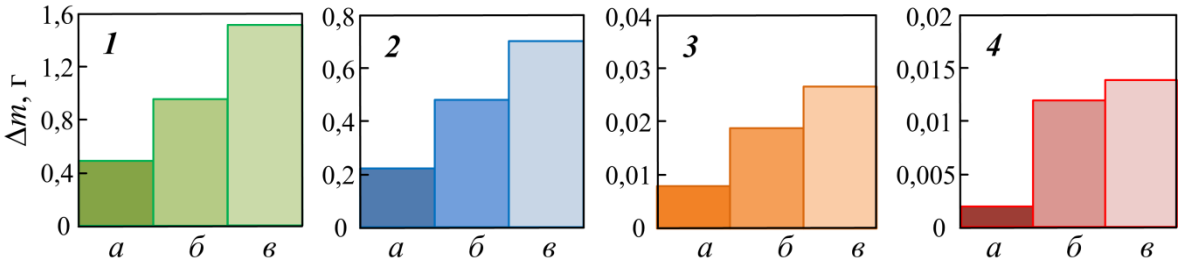
Поверхнева мікротвердість (*а*) та розподіл твердості по перерізу титанового сплаву ВТ22 у вихідному стані (*1*), після накочування (*2*), азотування суміщеного з ТО (*3*) та деформаційно-дифузійної обробки (*4*)

ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ВТ22 ПІСЛЯ ДЕФОРМАЦІЙНО-ДИФУЗІЙНОЇ ОБРОБКИ



Кінетика зміни (*а*) і середнє значення коефіцієнту тертя (*б*) та температура в околі зони тертя (*в*) трибопар «сплав ВТ22 – бронза БрАЖН 10-4-4», де титановий сплав ВТ22 у вихідному стані (*1**) та після накочування (*2*), азотування суміщеного з ТО (*3*) та деформаційно-дифузійної обробки (*4*)





Інтенсивність зношування тіла (*а*), контртіла (*б*) та трибопари (*3*), де титановий сплав ВТ22 у вихідному стані (*1**) та після накочування (*2*), азотування суміщеного з ТО (*3*) та деформаційно-дифузійної обробки (*4*)

Параметр шорсткості поверхні R_a (мкм) досліджуваних трибопар до та після тертя

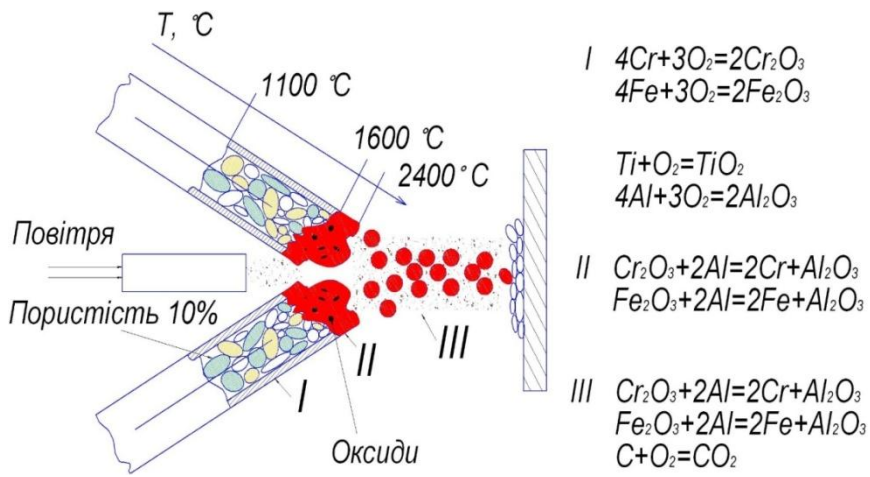
№ пари тертя	До тертя		Після тертя	
	Диск	Колодка	Диск	Колодка
1	0,12	0,9	1,25 ↑	1,49 ↑
2	0,15	0,9	0,95 ↑	1,23 ↑
3	0,24	0,9	0,21 ↓	0,25 ↓
4	0,19	0,9	0,15 ↓	0,18 ↓

Примітка: трибопари, де титановий сплав ВТ22 у вихідному стані (*1**) та після накочування (*2*), азотування суміщеного з ТО (*3*) та деформаційно-дифузійної обробки (*4*)

Поверхня зношування тіла (*а-г*) та контртіла (*д-ж*), де титановий сплав ВТ22 у вихідному стані (*а, д*) та після накочування (*б, е*), азотування суміщеного з ТО (*в, є*) та деформаційно-дифузійної обробки (*г, ж*)

**Титановий сплав ВТ22 піддавали зміцнювальній термічній обробці*

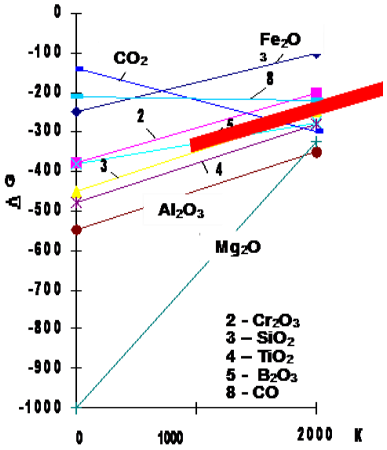
Основні реакції, що відбуваються в зоні розплаву під час напилювання електродугових покриттів



Склад оксидної фази у покриттях

Марка ПД	Склад оксидів у покритті
ПД 140Х14	4…6% об Cr_2O_3 (68мас.%Cr)+Fe_2O_3
ПД 140Х14Ю2	4…6% об Al_2O_3 +Fe_2O_3
ПД 140Х14Н2Т2Ю	4…6% об Al_2O_3+TiO_2

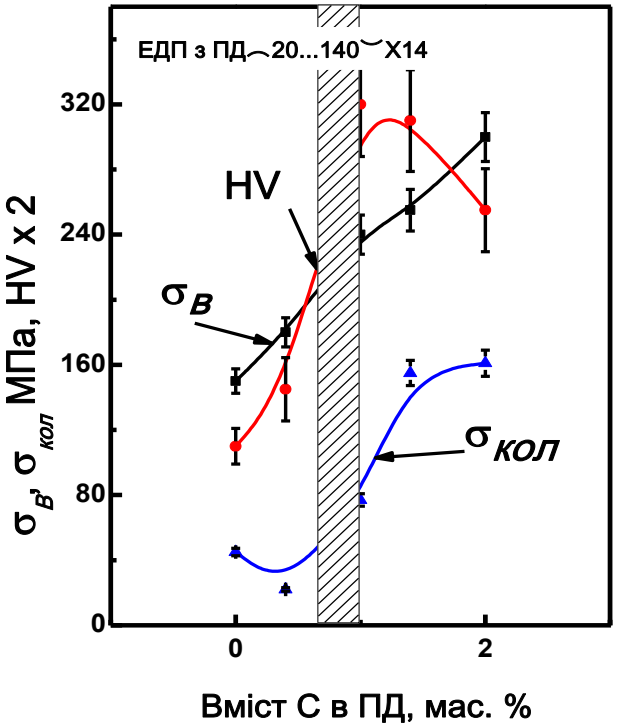
Ізобарно-ізотермічний потенціал оксидоутворення у розплаві ПД

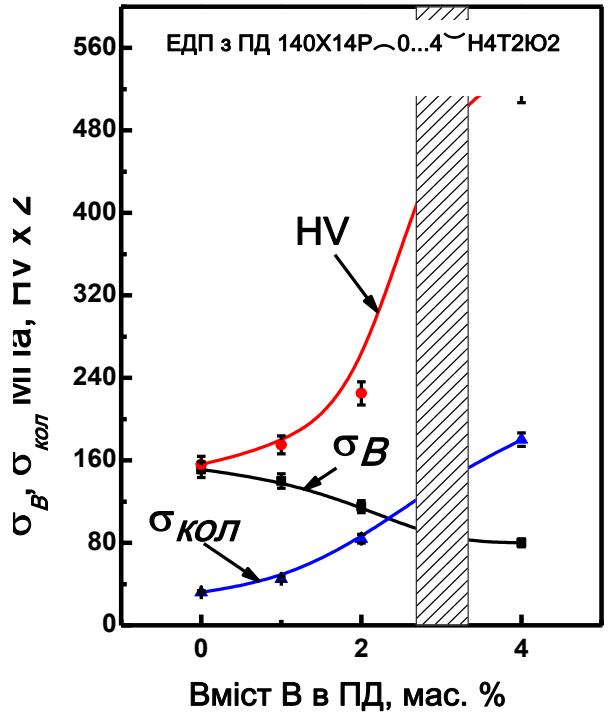


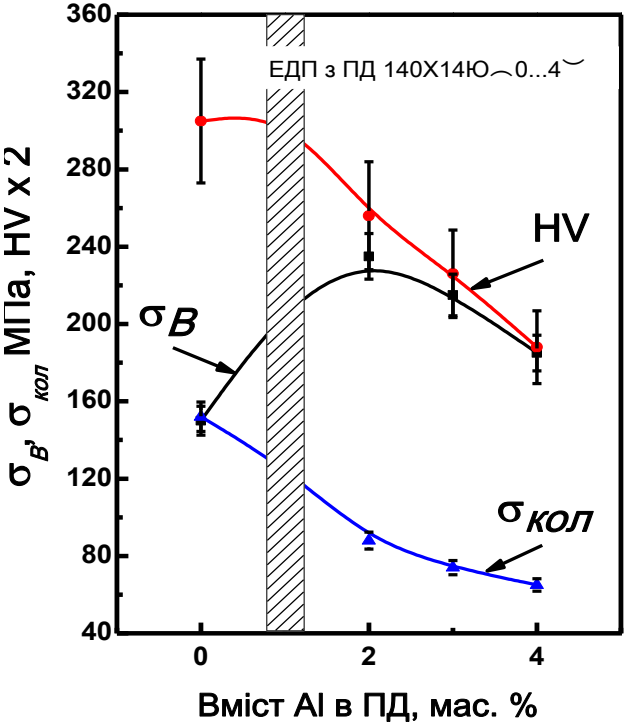
Cr_2O_3

Встановлено, що додавання до шихти ПД 2…3% порошку Al та Ti, блокує утворення оксидів Cr та одночасно збільшує вміст Cr у твердому розчині покриття.

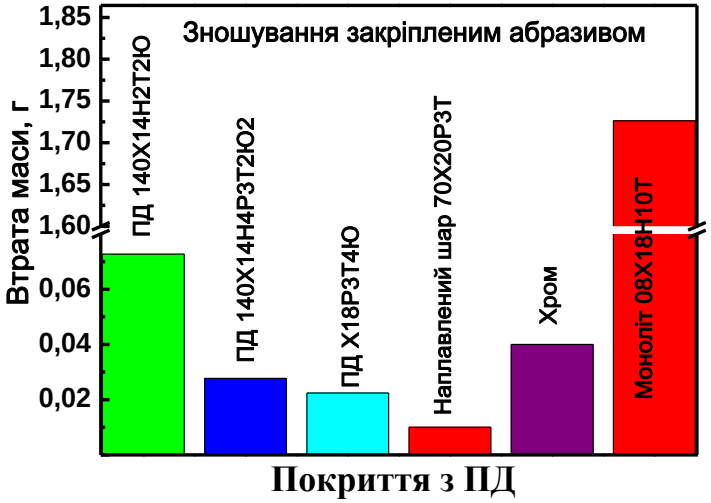
Оптимізація вмісту легувальних елементів у порошковому дроті для напилювання зносостійких та корозійностійких електродугових покриттів







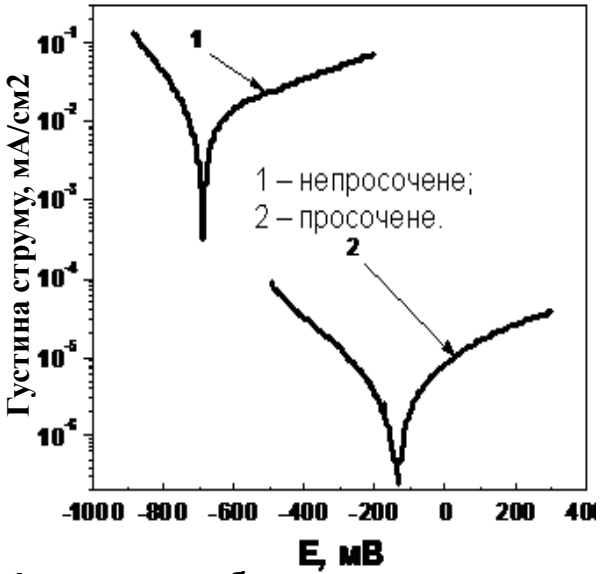
Абразивна зносостійкість покриттів із ПД



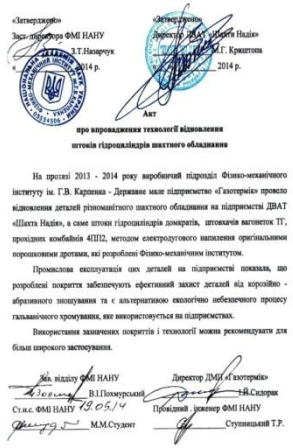
- **HV - мікротвердість покриттів**
- **$\sigma_{кол}$ - напруження розтягу 1 роду у покриттях, МПа**
- **σ_B - когезивна міцність покриттів, МПа**

Розроблено технологію електродугового напилюваня покриттів із порошкових дротів для нанесення зносостійкого та корозійностійкого шару на штоки гідроциліндрів шахтного, гірничодобувного та комунального обладнання. Розроблено синергійні композиції інгібіторів (натрій бензоат + бензилбензоат) для просочування елекродугових поруватих покриттів для їх захисту від корозії: ступінь захисту 99,14%)

Марки порошкових дротів для електродугового напилення покриттів	Струм корозії Ікор,mA/cm$_2$	Твердість, HV$_{200}$
140Х14Н2Т2Ю	0,001	550
Х18Р3Т4Ю	0,0004	900
Гальванічно хромована сталь	0,0004	850



1- покриття без просочування
2- покриття з просочуваням



«Затверджую»
Заст. директора ФМІ НАНУ
З.Т.Намеровч
«___» ___ 2014 р.

«Затверджую»
Директор ДВАТ «Шахта Надія»
А.Г. Криштопа
«___» ___ 2014 р.

Акт
про впровадження технології відновлення
штоків гідроциліндрів шахтного обладнання

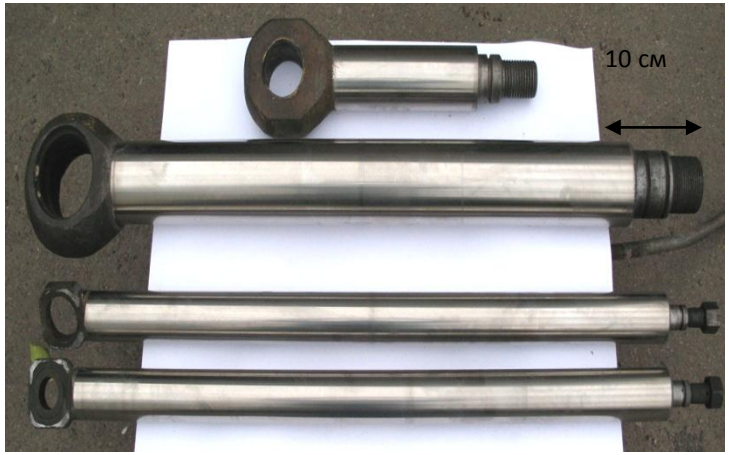
На протязі 2013 - 2014 року виробничий підрозділ Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка - Державне мале підприємство «Газотермія» провело відновлення деталей різномаїтного шахтного обладнання на підприємстві ДВАТ «Шахта Надія», а саме штоки гідроциліндрів домкратів, штовхачів вагонеток ТГ, прохідних комбайнів 4ПП2, методом електродугового напилення оригінальними порошковими дротами, які розроблені Фізико-механічним інститутом.

Промислова експлуатація цих деталей на підприємстві показала, що розроблені покриття забезпечують ефективний захист деталей від корозійно - абразивного зношування та є альтернативою екологічно небезпечного процесу гальванічного хромування, яке використовується на підприємствах.

Використання зазначених покриттів і технології можна рекомендувати для більш широкого застосування.

Зав. відділу ФМІ НАНУ В.І.Поммерський
Ст.н.с. ФМІ НАНУ 19.05.14 М.М.Студент
Директор ДМП «Газотермія» Н.Сидорак
Провідний інженер ФМІ НАНУ Ступницький Т.Р.

Проведено дослідно- промислову перевірку відновлених штоків **гідроциліндрів домкратів, штовхачів вагонеток ТГ, прохідних комбайнів 4ПП2** ***на ДП "Львіввугілля" (ДВАТ "Шахта Надія"). Вартість відновлення становила 20% від вартості нового штока.***

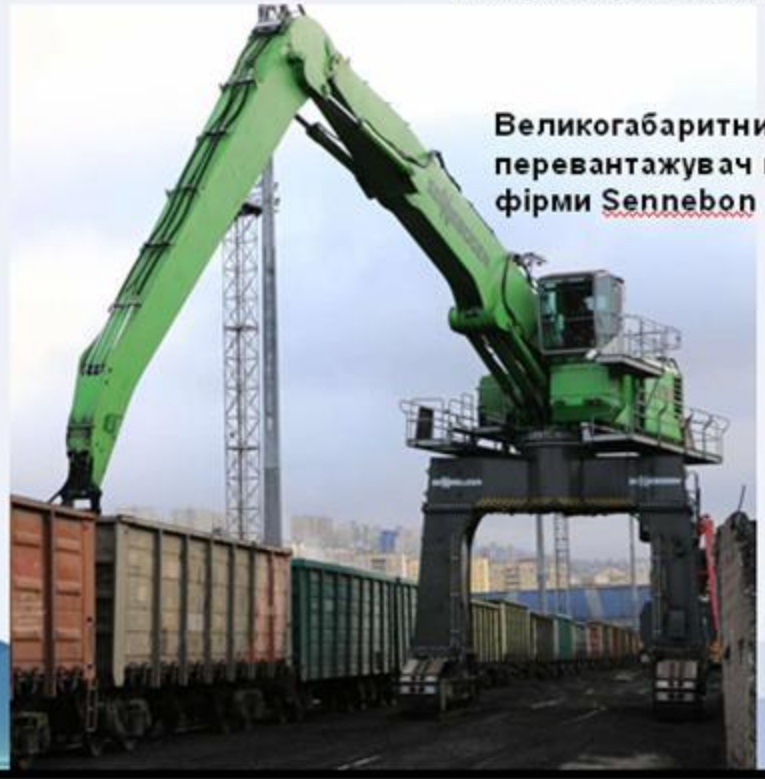


Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України

На великогабаритних мобільних перевантажувачах матеріалів фірми Sennebon, використовуються штоки ротативних колонок із алюмінієвого сплаву. Поверхня штока працює в парі із гумовим ущільненням в умовах корозійно - абразивного зношування. Для підвищення твердості, корозійної тривкості та абразивної зносостійкості поверхні штоків піддаються операції гальванічного хромування, однак, цей процес екологічно небезпечний та поступово вилучається із виробництва. В процесі роботи поверхня штока під гумовим ущільненням спрацьовується, зменшується тиск в гідросистемі і внаслідок цього гідроагрегат виходить із ладу.

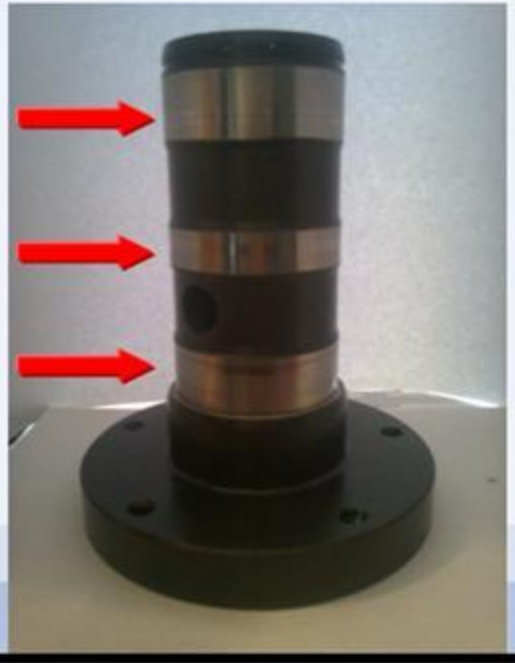
Фізико - механічним інститутом НАН України розроблено технологію відновлення ущільнювальної поверхні штока гідророзподільника методом електродугового напилення зносостійкого шару із порошкового дроту системи Fe-Cr-B-Si. Твердість такого шару становить 8-9 ГПа (твердість хромованого шару становить 8 - 10 ГПа). На протязі 2013 - 2015 року виробничий підрозділ Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка - Державне мале підприємство «Газотермік» провело відновлення штоків гідророзподільників методом електродугового напилення зносостійкого покриття.

Промислова експлуатація відновлених деталей на підприємстві «Універсал сервіс Україна» показала, що розроблені покриття забезпечують ефективний захист деталей від корозійно - абразивного зношування та є альтернативою екологічно небезпечного процесу гальванічного хромування, яке використовується на підприємствах.



Великогабаритний мобільний перевантажувач матеріалів фірми Sennebon

Ущільнювальні пояски відновлені напилені електродуговим покриттям із ПД Fe-Cr-B-Si



Відновлений шток ротативної колонки