

**SCI-CONF.COM.UA**

**INNOVATIVE DEVELOPMENT  
OF SCIENCE, TECHNOLOGY  
AND EDUCATION**



**PROCEEDINGS OF X INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE  
JULY 4-6, 2024**

**VANCOUVER  
2024**

# **INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND EDUCATION**

Proceedings of X International Scientific and Practical Conference

Vancouver, Canada

4-6 July 2024

**Vancouver, Canada**

**2024**

## UDC 001.1

The 10<sup>th</sup> International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (July 4-6, 2024) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2024. 405 p.

## ISBN 978-1-4879-3792-8

The recommended citation for this publication is:

*Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // Innovative development of science, technology and education. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2024. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/x-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-innovative-development-of-science-technology-and-education-4-6-07-2024-vankuver-kanada-arhiv/>.*

### Editor

**Komarytskyy M.L.**

*Ph.D. in Economics, Associate Professor*

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

**e-mail:** [vancouver@sci-conf.com.ua](mailto:vancouver@sci-conf.com.ua)

**homepage:** <https://sci-conf.com.ua/>

©2024 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2024 Perfect Publishing ®

©2024 Authors of the articles

## TABLE OF CONTENTS

### AGRICULTURAL SCIENCES

1. *Порохняч І. В.* 10  
ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ПРИРОДНОГО  
ЛІСОВІДНОВЛЕННЯ У СОСНОВИХ ЛІСАХ СХІДНОГО  
ПОЛІССЯ УКРАЇНИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ВРОЖАЙНОСТІ  
НАСІННЯ
2. *Усик С. В.* 13  
ВПЛИВ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР В КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ  
СІВОЗМІНАХ НА АГРОФІЗИЧНІ ПОКАЗНИКИ РОДЮЧОСТІ  
ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО

### BIOLOGICAL SCIENCES

3. *Valiyeva G. A., Huseynova L. S.* 17  
MOLECULAR-GENETIC RESEARCH OF GLUCOSE-6-  
PHOSPHATE DEHYDROGENASE (G6PD) DEFICIENCY IN THE  
POPULATION OF WESTERN AZERBAIJAN
4. *Ключникова А. І., Бельська Л. М.* 22  
ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ СЕКРЕТОМ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНУ ГЛІОМУ ШТАМУ С6 IN VIVO ТА IN  
VITRO

### MEDICAL SCIENCES

5. *Burkovska O., Drozd K.* 31  
EVOLUTION OF REGENERATIVE DENTISTRY
6. *Куденко V.* 38  
THE USE OF IMMUNOCORRECTIVE THERAPY IN THE  
TREATMENT OF PERIODONTAL DISEASE
7. *Sakovets O. P., Sydorchuk L. P.* 42  
SOME IMMUNE SYSTEM CHANGES IN ADOLESCENT WITH  
ACUTE OTITIS MEDIA: MECHANISMS AND PATTERNS
8. *Різник О. І.* 48  
МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД У РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ  
ЗАХОДАХ

### TECHNICAL SCIENCES

9. *Грабовський Є. О.* 51  
ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ ПЕРЕХОДУ ВІД МОНОЛІТНОЇ  
АРХІТЕКТУРИ ДО МІКРОСЕРВІСІВ
10. *Кирилюк О. С.* 61  
ЗНИЩЕННЯ ДАМБИ КАХОВСЬКОЇ ГЕС: ОКРЕМІ НАСЛІДКИ  
ВПЛИВУ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

11. *Кожевніков А. О.* 89  
 МІСЦЕ І РОЛЬ МЕТРОЛОГІЧНОЇ СЛУЖБИ В  
 МЕТРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ
12. *Комісаренко О. С., Баранов Г. Л., Мазур В. С.* 73  
 ІНОВАЦІЇ ЦИФРОФІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ  
 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАСОБАМИ ОСВІТИ  
 ТА НАУКИ
13. *Косінов В. П., Смолій Ю. В.* 83  
 ПРОГНОЗУВАННЯ ВИСОТНИХ ГАБАРИТІВ РОБОЧОЇ  
 КАМЕРИ ВОДОПРОВІДНОГО КОЛОДЯЗА ВІД  
 ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ УМОВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ  
 ФАКТОРІВ ОБЛАШТУВАННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ
14. *Кривчик Л. С., Дейнеко Л. М., Пінчук В. Л., Столбовий В. О.* 96  
 ІОННО-ПЛАЗМЕНЕ АЗОТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ЗМІЦНЕННЯ  
 ТРУБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА  
 ОСОБЛИВОТОНКОСТІННИХ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ТРУБ  
 ХОЛОДНОЮ ПРОКАТКОЮ
15. *Круліковський Б. Б., Степанюк Ю. І.* 114  
 ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАХИЩЕНОЇ МУЛЬТИБАЗИСНОЇ  
 МІНІ-АТС ПІДПРИЄМСТВА
16. *Свистунов І. О.* 125  
 ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ
17. *Шиманський В. Я., Погребняк В. Г., Перкун І. В., Шиманська А. В.* 129  
 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЕРФОРАТОРА ДЛЯ  
 ГІДРОСТРУМИННОЇ ПЕРФОРАЦІЇ СВЕРДЛОВИНИ ВОДНИМ  
 РОЗЧИНОМ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПОЛІМЕРІВ

#### GEOGRAPHICAL SCIENCES

18. *Sysak K., Zorin D.* 135  
 ECOLOGICAL MANAGEMENT – AUTOMATED CONTROL  
 SYSTEMS MICROCLIMATE FACILITIES WITHIN OIL FIELDS  
 INFLUENCE
19. *Yordanova P.* 140  
 REGIONAL ANALYSIS OF THE CURRENT POLITICAL-  
 ECONOMIC SITUATION OF THE COUNTRIES OF LATIN  
 AMERICA

#### PEDAGOGICAL SCIENCES

20. *Бальоха А. С., Сучок К. В.* 154  
 РОЛЬ БАТЬКІВ ТА ШКОЛИ У ПІДТРИМЦІ МОТИВАЦІЇ ТА  
 УСПІШНОСТІ ДІТЕЙ ПІД ЧАС ДИСТАНЦІЙНОГО  
 ОПАНУВАННЯ ПРИРОДНИЧОЇ ОСВІТНЬОЇ ГАЛУЗІ В  
 ПОЧАТКОВІЙ ШКОЛІ

УДК 669.017:621.73

**ІОННО-ПЛАЗМЕНЕ АЗОТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ ЗМІЦНЕННЯ  
ТРУБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА  
ОСОБЛИВО ТОНКОСТІННИХ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ТРУБ  
ХОЛОДНОЮ ПРОКАТКОЮ**

**Кривчик Лілія Сергіївна,**

доктор філософії з матеріалознавства, викладач

**Дейнеко Леонід Миколайович,**

доктор технічних наук, професор,

завідуючий кафедрою матеріалознавства

і термічної обробки металів

**Пінчук Вікторія Леонідівна,**

здобувач кафедри

матеріалознавства і термічної обробки металів,

викладач-методист

Український державний університет науки і технологій

**Столбовий В'ячеслав Олександрович,**

доктор технічних наук, начальник лабораторії

розробки і дослідження

інтенсивних іонно-плазмених технологій

Інституту фізики твердого тіла,

матеріалознавства і

технологій Національного центру

Харківського

фізико-технічного інституту Національної

Академії наук України

Харківський

фізико-технічний інститут Національної

Академії наук України

**Анотація.** Сфера застосування корозійностійкої труби досить широка, саме тому вона користується такою популярністю. Її застосовують в харчовій, хімічній, транспортній і інших промисловостях. Крім всього цього, вона часто використовується у виробництві металевих виробів, які вимагають підвищеної стійкості до корозії, дії до хімічно активних речовин. Корозійностійка труба

використовується для прокладення інженерних систем усередині приміщень або організації зовнішніх трубопроводів. Однією з пріоритетних переваг, являється те, що вона не впливає на зміну складу води, тому використовується для конструювання систем водопостачання.

Тонкостінні труби призначені і використовуються виключно для виробництва металовиробів і не навантажених металоконструкцій, де поняття клас міцності має далеко не визначальне значення, а на перше місце виходять економічність і максимальне полегшення металоконструкції або металовиробу.

Особливо велику роль мають труби з високолегованих корозійностійких сталей, які широко використовуються в авіації, машинобудуванні, атомній енергетиці, ракетобудівництві, хімічній промисловості внаслідок високої корозійної стійкості, в'язкості, міцності, експлуатаційної стійкості. Їх отримують методами холодної роликової прокатки і волочіння, в яких використовують велику кількість трубного інструменту (ролики, оправки, опорні планки, волоки). При виробництві корозійностійких труб методами холодної деформації має місце низька стійкість трубного інструменту, що приводить до постійних зупинок станів, зниження їх продуктивності, підвищення собівартості виготовлення труб. Так, стійкість роликів стану ХПТР «15-30» з сталі 60С2ХФА після звичайного термозміцнення (загартування з низьким відпуском) складає 1023-1030 м/комплект, оправок з сталі 60С2ХФА – 295 м, ролики з сталі 4Х5МФ1С після загартування з високим відпуском мають стійкість 1050-1230 м/комплект, а опорні планки – 5120-5240м, що є низькими значеннями, і потребує постійної заміни інструменту.

Тому, важливою задачею при виробництві корозійностійких труб є створення високопродуктивних і стійких в експлуатації інструментів з використанням сучасних методів термозміцнення.

В ході роботи проведено дослідження механічних властивостей інструменту для виробництва корозійностійких труб холодною деформацією (роликів, опорних планок станів ХПТР для холодної роликової прокатки труб) після зміцнення інструменту хіміко-термічною обробкою – іонно-плазменним

азотуванням. Встановлено вплив механічних властивостей на експлуатаційну стійкість інструменту і якість внутрішньої поверхні корозійностійких труб.

**Ключові слова:** Холодна прокатка, ролик, опорна планка, інструмент, стійкість, деформація, загартування, відпуск.

**Метою даної роботи** є проведення досліджень і випробувань трубного інструменту станів ХПТР після проведення зміцнюючої обробки (загартування з відпуском) з послідуєчим іонно-плазменним азотуванням для отримання високої експлуатаційної стійкості при виробництві корозійностійких труб.

Особливотонкостінні корозійностійкі труби отримують найчастіше холодною прокаткою на станах ХПТ і ХПТР. Умови роботи цього інструменту складаються зі знакозмінних навантажень, високих температур, інтенсивних динамічних навантажень, значного зносу в умовах тертя і високого питомого тиску. Доцільність підвищення зносостійкості трубного інструменту обумовлена необхідністю підвищення його експлуатаційної стійкості і полягає у встановленні закономірностей формування структури і властивостей дослідного металу за рахунок використання розроблених раціональних режимів термічної та хіміко-термічної обробки. Хіміко-термічна обробка є одним з найбільш ефективних методів підвищення довговічності і надійності інструментів. Це, в першу чергу, визначається тим, що при хіміко-термічній обробці змінюється хімічний склад, структура і властивості поверхневих шарів металу, саме тих, в яких при експлуатації концентруються максимальні напруження, зароджуються і розвиваються тріщини, відбуваються процеси зношування і корозійного розтріскування. В роботі запропоноване іонне азотування загартованого та двічі відпущеного металу трубного інструменту в газовій плазмі дугового розряду. Для виготовлення важконавантаженого трубного інструменту (роликів і опорних планок станів ХПТР) найчастіше в цехових умовах використовують пружинну сталь 60С2ХФА, яку піддають загартуванню з низьким відпуском для отримання твердості поверхні 50-56 HRC.[1] Але інструмент з цієї сталі має недостатню міцність,

зносостійкість, низьку стійкість в експлуатації. В даній роботі запропоновано і впроваджено у виробництво на ведучих трубних підприємствах України (ТОВ «ВО ОСКАР», ПрАТ «Сентравіс Продакшн Юкрейн») для виготовлення трубного інструменту станів «ХПТР» використання вториннотвердіючої напівтеплостійкої сталі мартенситного класу 4Х5МФ1С, яку піддають термічній обробці (загартуванню з відпуском) з подальшим іонно-плазменним азотуванням з використанням вакуумно-дугового розряду.

### **Теорія та аналіз отриманих результатів**

Як звісно, від якості прокатного інструменту залежить якість труб при прокатці. Тому він, в першу чергу, повинен мати точні розміри і високий клас чистоти поверхні. Крім того, він повинен бути зносостійким, мати достатню твердість в поєднанні з пружністю і в'язкістю [2].

На станах ХПТР деформуючим інструментом служать ролики, які спираються на опорні планки і оправка. Вивчення умов роботи і причин виходу роликів, оправок і опорних планок станів холодної прокатки корозійностійких особливотонкостінних труб показало, що умовою нормального процесу пластичної деформації на роликкових станах є безперервне перекочування ролика по поверхні планки під дією сил тертя котіння (Рисунок 1).



**Рис. 1 Зовнішній вигляд інструмента стану ХПТР, [2]**

Ролики і опорні планки станів ХПТР працюють у важких умовах і випробовують значні питомі тиски, ударні і циклічні навантаження.

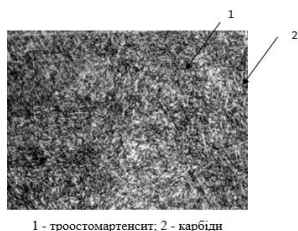
Основним дефектом, що призводить до виходу зі строю всіх деталей прокатного інструмента, є викришування металу на робочій поверхні. Причина – недостатня контактна міцність, що, в свою чергу, є наслідком зниженої твердості.

Ролики, опорні планки і оправки виготовляються в цехових умовах зі

сталі 60С2ХФА (ДСТУ 8429:2015), AISI 5160 (USA). Твердість поверхні після термічної обробки повинна перебувати в межах 50-56 HRC.[3]

З метою зменшення викришування і зносу інструменту стану ХПТР, замість сталі 60С2ХФА в роботі запропонована теплостійка сталь 4Х5МФ1С, яка піддавалась загартуванню з 1070-1080°C в маслі або полімерному середовищі і двократному відпуску при 570-550°C та 530-550°C для отримання твердості 48 – 52 HRC і наступних механічних властивостей:  $\sigma_b = 1960$  МПа;  $\sigma_T = 1720$  МПа;  $\delta = 9,3\%$ ;  $\psi = 43\%$ ;  $KCU = 460$  КДж/м<sup>2</sup> [4].

Загартування проводиться для розчинення значної частини карбідів і одержання високолегованого мартенситу. Тому температури загартування – підвищені й обмежуються лише необхідністю зберегти дрібне зерно й достатню в'язкість. Наступний відпуск викликає додаткове зміцнення внаслідок дисперсійного твердіння. Для підвищення в'язкості його виконують найчастіше при більш високих температурах на більш низьку твердість: 45 – 52 HRC і трооститну структуру. (Рисунок 2)[5] Внаслідок недостатньої стійкості роликів і опорних планок була запропонована удосконалена технологія термозміцнення інструменту – інструмент піддають після загартування з відпуском хіміко-термічній обробці (іонному азотуванню в плазмі дугового розряду при 530-550°C протягом двох годин) для отримання шару 50 – 70 мкм. Плазмова хіміко-термічна обробка включає кілька основних взаємопов'язаних процесів, які можна представити у вигляді окремих стадій:[7]



**Рис. 2 Структура роликів з сталі 4Х5МФ1С після проведеної термообробки, х500, [5]**

- 1) отримання активних частинок, тобто дисоціація та іонізація насичуючого елемента в результаті перетворень у газовій фазі;
- 2) доставка активізованих частинок до поверхні металу, що обробляється

(зовнішнє масоперенесення);

3) накопичення атомів та іонів насичуючого елемента на поверхні металу (адсорбція), електронна взаємодія цих іонів з металом (хемосорбція) та впровадження їх у метал (абсорбція), тобто масоперенесення на межі метал - газове середовище;

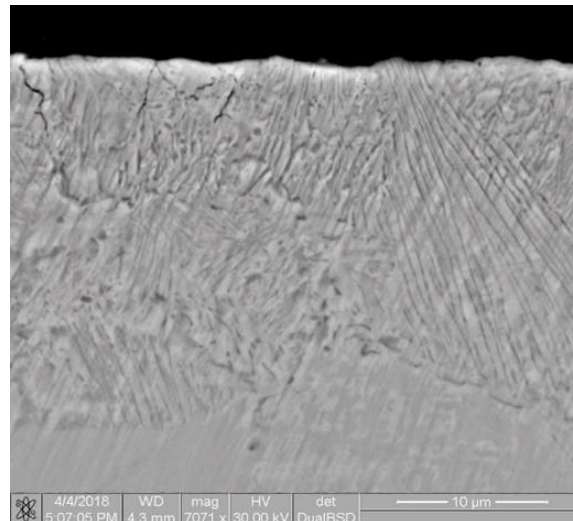
4) переміщення впроваджених атомів та іонів від поверхні вглиб металу (дифузія), тобто внутрішній масоперенос, який можливий лише за умови розчинності дифузного елемента в металі.

Іонне азотування (в порівнянні з пічним) має наступні переваги: прискорює дифузійні процеси в 1,5 – 2 рази; дозволяє отримати дифузійний шар регульованого складу і будови; характеризується незначними деформаціями виробів і високим класом чистоти поверхні, має велику економічність, підвищує коефіцієнт використання електроенергії, скорочує витрату насичуючих газів; нетоксично і відповідає вимогам щодо захисту навколишнього середовища [8].

При поверхневому легуванні азотом досягається підвищення твердості, зносостійкості та корозійної стійкості сталі. Рівень властивостей залежить від складу сталі, способу й режимів азотування.

Дослідження показали, що відмінною рисою мікроструктури азотованого шару після іонно-плазмового азотування є наявність дрібнодисперсної дуже міцної  $\epsilon$ -фази. Завдяки наявності в шарі цієї фази поверхнева твердість деталей, що азотуються, вище, ніж при газовому азотуванні майже на HV 200 [9]. Завдяки цьому, можливо отримання дифузійного шару з розвинутою нитридною зоною, що надає високу зносостійкість виробів і антикорозійні властивості. Азотований шар при електронному дослідженні наведений на рисунку 3 [10]. В роботі [10] показано, що після іонного азотування межа витривалості при згибі в середньому на 130 МПа вище, чим після газового азотування, а межа контактної витривалості поверхні вище на 300 МПа. Тому саме іонне азотування використовується для виробів, які працюють в умовах значних знакозмінних навантажень і сильного тертя. Після іонного азотування

деформації інструменту низькі, тому його фінішна шліфівка виключається.



**Рис. 3 Структура азотованого шару, \*5000, [10]**

Великі переваги азотування з дугового джерела плазми низького тиску перед іншими методами - відокремлення генерування плазми від деталі і те, що вони можуть працювати при нижчому робочому тиску. (Рисунок 4)



**Рис. 4 Схема реактора для плазменого азотування з використанням дугового джерела плазми низького тиску [11]**

Порожнистий катод генерує плазму дугового розряду, що містить високу частку спрямованих електронів з високою середньою енергією, так званий електронний промінь, що здійснює дуже ефективну іонізацію газу. Таким способом може бути досягнута плазма дуже високої густини. Тривалість

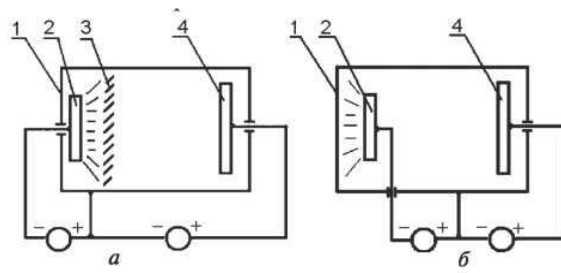
обробки у всіх експериментах зберігалася постійною 70 хвилин. Як робочий газ використовувався аміак. Робочий тиск було приблизно 0,4 Па. Струм дуги був 40 А при напрузі 50 В. До зразків було додано негативну напругу 1000 В. [12]

Щільність струму поверхні зразків була 0,6—0,8 мА/см<sup>2</sup>. Окремий нагрівач використовувався для збереження температури зразків 420±10°C. NH<sub>3</sub> використовувався замість N<sub>2</sub> або N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> як джерело азоту, щоб максимізувати енергію частинок, оскільки у NH<sub>3</sub> енергія, що припадає на один атом азоту, приблизно в 1,65 рази більше, ніж у N<sub>2</sub><sup>+</sup> для тієї ж самої прикладеної напруги.

Джерелом плазми був двоступінчастий вакуумно-дуговий розряд (ДВДР) [11, 12]. Він являє собою дуговий розряд з холодним катодом, в якому позитивний стовп дуги розділений на дві частини, перша з яких є газометалевою плазмою, а друга — плазмою технологічного газу. Існують різні схеми формування цього розряду, завдання яких полягає в тому, щоб тим чи іншим чином не допустити попадання випарених частинок металу в робочий об'єм камери, пропускаючи при цьому електрони та газ. Дві з них представлені на рис.5.

Інакше можна сказати, що газовий ступінь ДВДР є дуговим розрядом з плазмовим катодом, роль якого виконує газометалева плазма вакуумно-дугового розряду з холодним катодом. Оскільки емісійна здатність газометалевої плазми велика, величина струму в газовому ступені може досягати сотень ампер і, таким чином, забезпечувати плазмову обробку (нагрів, очищення іонним або електронним бомбардуванням, хіміко-термічну обробку тощо) виробів у великих промислових обсягах, у тому числі виробів із діелектричних матеріалів.

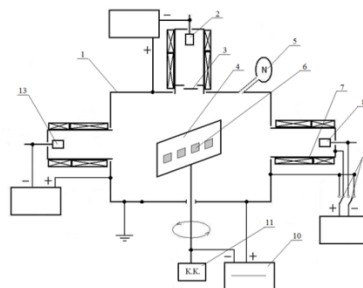
Істотною перевагою цього розряду є можливість його використовувати в різних технологічних середовищах (кисні, азоті, водні та ін) в діапазоні тисків 0,01 ^10 Па.



**Рис. 5. Схеми двоступінчастого вакуумно-дугового розряду з оптично непрозорим екраном (а) і випарником, відвернутим від робочого об'єму камери (б). 1 - анод (корпус камери); 2 - катод вакуумно-дугового випарника; 3 - оптично непрозорий екран; 4 - додатковий анод [12]**

У цій роботі азотування проводили з використанням серійної вакуумно-дугової установки «Булат-6» (ННЦ ХФТІ) у газовій (азотній) частині двоступінчастого вакуумно-дугового розряду. Це, по суті, несамостійний газовий дуговий розряд, що підтримується емісією електронів з газометалевої плазми вакуумного електродугового розряду, відокремленою непроникною для іонів і атомів металу, що випаровується, перегородкою, що пропускає електрони і частинки газу (тобто плазмовий катод, в якійсь мірі аналогічний катоду, що розжарюється). Опорні планки зі сталі 4Х5МФ1С довжиною 210 мм, шириною 80 мм и висотою 47,42 мм і шириною доріжок 25 мм і 20 мм (під трубу діаметром 15 ÷ 22 мм и 23 ÷ 30 мм відповідно) (3 штуки) в загартованому і відпущеному стані попередньо промивали лужним розчином в ультразвуковій ванні і потім нефрасом С2-80 /120. Після установки виробів в вакуумну камеру проводилося відкачування до тиску  $P = 0,3 \cdot 10^{-3}$  Па, і проводилося іонне очищення і активація поверхні виробів бомбардуванням іонами металів або газів, при подачі негативного потенціалу  $-1300$  В.[13-14] Очищення іонами газів (азот N) проводилося в газовій плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду. Очищення в вакуумі проводилося в газовій азотній плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду. Очищення проводилося без обертання. Струм катоду  $I = -100$  А (2), струм на аноді  $I = -70$  А (7, 8). Напруга на обертальному механізмі  $U = -1100$  В (9). Тиск азоту в вакуумно-дуговій камері при процесі азотування  $P = 0,5$  Па. Температура на зразках -  $250^{\circ}\text{C}$ .

Три ролика стану ХПТР зі сталі 4Х5МФ1С шириною 65 мм під діаметр труби 16 мм були встановлені в модернізовану вакуумно-дугову установку типу «Булат-6» (м. Харків). Вакуумну камеру 1 відкачували до тиску  $P = 1,3 \cdot 10^{-3}$  Па. [15]. Іонне очищення з активацією поверхні підкладок проводилося прискореними іонами азоту в газовій плазмі дугового розряду при тиску азоту 0,66 Па. Для створення газового розряду в робочому об'ємі камери необхідно ввімкнути випарник 2 і при цьому створюється газо-металева плазма, яка через екран (3) буде емітером електронів для газового розряду в об'ємі робочої камери (Рисунок 6). При подачі на корпус вакуумно-дугового випарника позитивного потенціалу перемикачем від джерела живлення дуги в присутності азоту при тиску  $0,05 \div 0,5$  Па в робочому об'ємі камери виникає газовий дуговий розряд. При подачі на підкладку, а отже, і на деталі високого негативного потенціалу  $-1000 \div -1300$  В відбувається її розігрів за рахунок бомбардування іонами азоту до температури  $480 \div 540^\circ\text{C}$ , що забезпечує процеси азотування на поверхні зразків. Температура підкладок надалі підтримується зміною величини негативного постійного потенціалу. Тривалість процесу азотування залежить від необхідної товщини шару і температури підложки, в даному випадку час азотування -1 година [16].



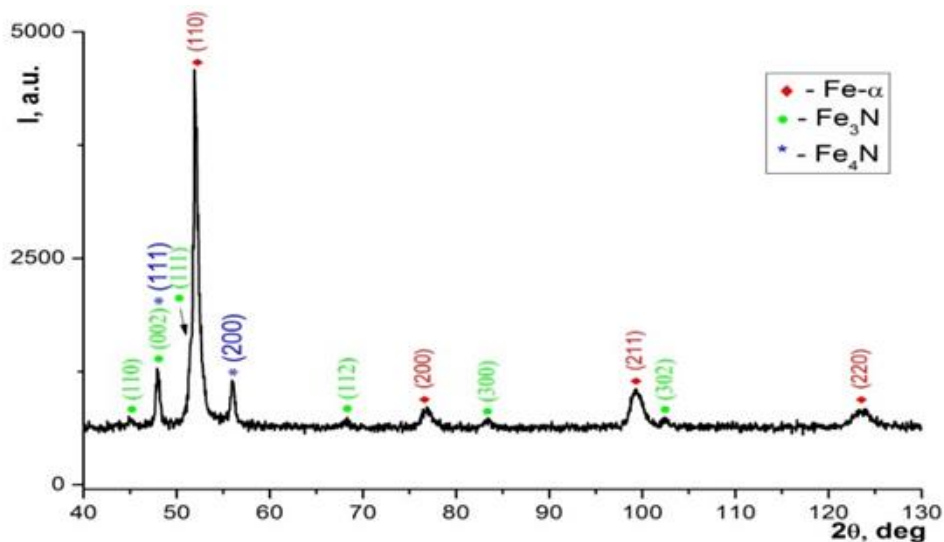
- 1 – вакуумна камера, 2 – вакуумно-дуговий випарник; 3 – металевий екран, 4 – екран тримач зразків, 5 – регулятор тиску азоту, 6 – зразки, 7 - корпус вакуумно-дугового випарника – анод для газового розряду, 8 - катод Nb, 9 – реле перемикання, 10 – джерело постійної напруги, 11 - командоконтролер, 13 – катод TiZr**

**Рис. 6. Принципова схема вакуумно-дугової установки типу «БУЛАТ-6» для азотування з наступним нанесенням багат шарових покриттів, [17]**

Найбільш надійну оцінку результатів хіміко-термічної обробки дають металографічні дослідження, які дають відомості про товщину і будову шару з'єднань і дифузійного шару. Зазвичай для металографічного дослідження шліфи труїли ніталем - 2 - 4% -ним спиртовим розчином азотної кислоти.

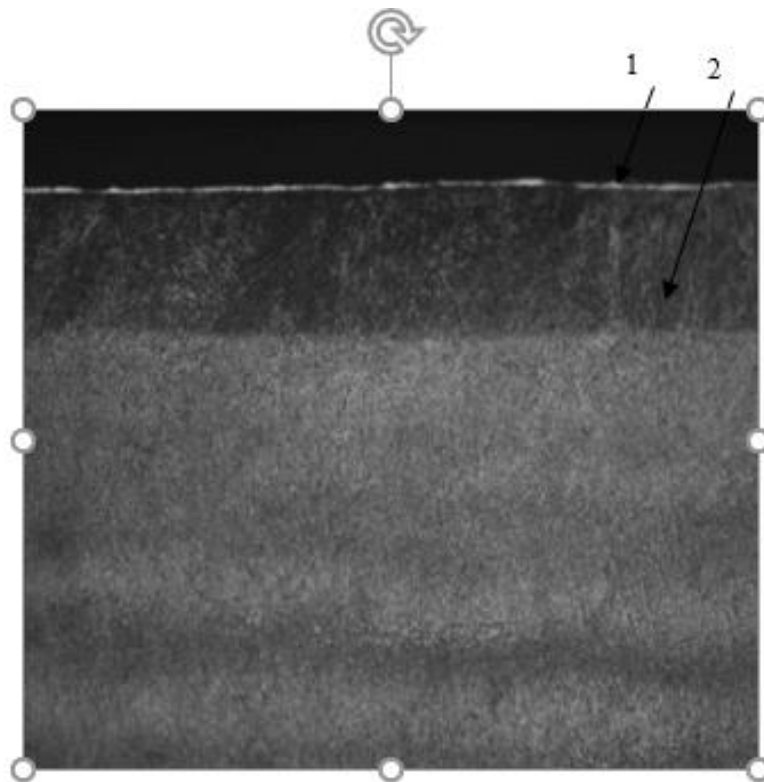
Також були проведені електронні дослідження металографічних шліфів (вихідні шліфи були порізані на тонкі зразки по 5 мм ), приготовлені і піддані вивченню на растровому електронному мікроскопі (РЕМ), висока дозволена здатність (до 60 А) і виняткова глибина різкості якого роблять його майже незамінним для металографічних досліджень [18-19]. Замір твердості поверхні зразків після ХТО був виконаний за допомогою мікротвердоміра (мікроскопа) - типу ПМТ-3 при навантаженні 100гс  $HV_{0,1}$  [20-22].

В роботі проведено рентгеноструктурний аналіз досліджуваних зразків сталі 4Х5МФ1С. Діфрактометричні дослідження проводилися на рентгенівському діфрактометрі ДРОН-2.0 в кобальтовому  $Co-K\alpha$  випромінюванні із застосуванням Fe селективно поглинаючого фільтра. Дифраговане випромінювання реєструвалося сцинтиляційним детектором [23] (Рисунок 7).



**Рис. 7 Діфрактограма зразку після іонного азотування**

Мікроструктури роликів і опорних планок зі сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування показані на рис 8.



а) поверхня  $\epsilon$ -фаза ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ) (1),  
 $\gamma'$ -фаза ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) (2), x200

**Рис. 8. Мікроструктура поверхні інструменту після іонного азотування**

Результати заміру мікротвердості експериментальних зразків сталі 4X5МФ1С для виготовлення трубного інструменту станів ХПТР (роликів і опорних планок) після іонного азотування наведені в таблиці 1, а зміна твердості інструментальної сталі після іонного азотування в залежності від глибини визначення твердості - на рисунку 9 [24].

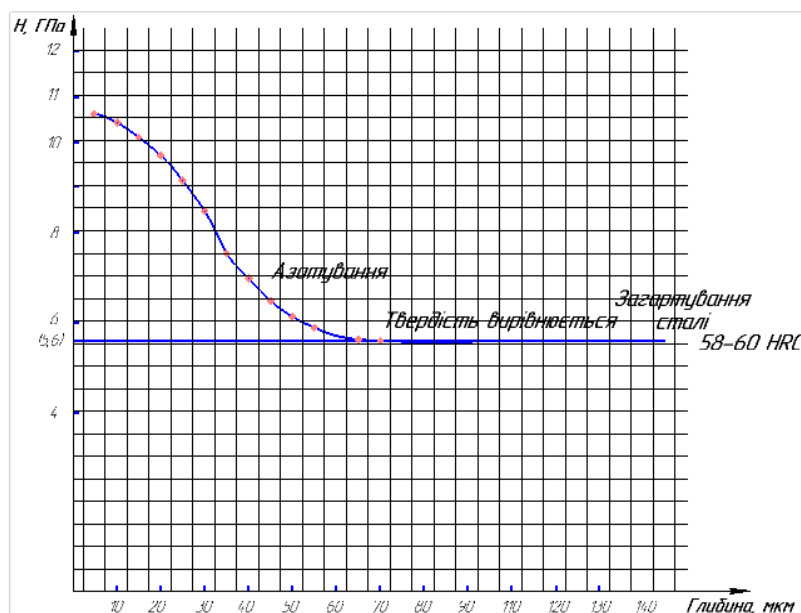
Як свідчать результати заміру мікротвердості експериментальних зразків, твердість на поверхні сягає  $9000 \div 10500$  МПа з причини утворення нітридної зони  $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$  ( $\epsilon$ -фаза) і  $\text{Fe}_4\text{N}$  ( $\gamma'$ -фаза) і подшару азотистого фериту ( $\alpha$ -фаза), в якому при охолодженні виділяються нітриди хрому, молібдену. Це призводить до підвищення стійкості інструменту на  $20 \div 25\%$ . [26-28]

Випробування роликів і опорних планок були проведені на стані «ХПТР 15-30» «ТОВ ВО Оскар» (м.Нікополь) (Рисунок 9)

Таблиця 1

**Результати заміру мікротвердості зразків сталі 4X5MФ1С для виготовлення інструменту станів ХПТР після іонного азотування, [25]**

№ зразку	Зона відстань від поверхні мкм	Діаметр відбитка мкм	Середній діаметр відбитка, мкм	Навантаження, Г	Значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, Кг/мм <sup>2</sup>
1	10	14	14,568	100	9800		
2	10	14	14,184	100	9900		
3	10	14	14,8	100	9800	9800	980
4	20	15	15,184	100	8400		204
5	20	15	15,024	100	8300	8300	830
6	30	15	15,872	100	7800		
7	30	15	15,332	100	7850	7830	783
8	40	16	16,64	100	7300		
9	40	16	16,096	100	7400	7350	735
10	50	17	17,864	100	6800		
11	50	17	17,864	100	6700	6750	675
12	60	17	18,172	100	6500	6500	650
13	70	16	16,94	100	6100	6100	610
14	80	18	18,94	100	6000	6000	600
15	150	19	18,94	100	5600		
16	150	18	18,708	100	5700	5650	565
17	250	18	18,096	100	5400		
18	250	19	19,712	100	5400	5400	540
19	центр	19	19,172	100	5000		
20	центр	18	18,096	100	4990	4995	449



**Рис. 9. Зміна твердості інструментальної сталі 4X5MФ1С для виготовлення інструменту станів ХПТР після іонного азотування в залежності від глибини визначення твердості**



**Рис. 10. Випробування інструменту на стані ХПТР «15-30»**

### **Висновки**

1. В роботі для збільшення експлуатаційної стійкості трубного інструменту запропоновано використовувати для виготовлення опорних планок і роликів станів ХПТР замість сталі 60С2ХФА сталь 4Х5МФ1С, що у поєднанні з запропонованою комбінованою технологією термічної обробки забезпечує підвищення в 1,5– 2 рази експлуатаційну стійкість інструменту.

2. Запропоноване іонне азотування загартованого та двічі відпущеного металу трубного інструменту в газовій плазмі дугового розряду. В поверхневому шарі формується структура твердого розчину, в якій знаходяться нітриди  $Fe_{2-3}N$  ( $\epsilon$ -фаза),  $Fe_4N$  ( $\gamma'$ -фаза) та аустеніт, насичений азотом. Це дозволяє підняти рівень зміцнення поверхні інструменту до  $H_{\mu}=8000 - 12000$  МПа.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Л.С. Кривчик Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії PhD за спеціальністю 132 - «Матеріалознавство». - Український державний університету науки і технологій. – Дніпро, 2023.

2. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб. Днепропетровск: Пороги, 2005. 255 с.

3. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С. «Комбінована обробка трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб» // I Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Механізми розвитку науково-технічного потенціалу» м. Дніпро, 11-12 листопада 2021 р., С. 144-150

4. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. Зміцнення трубного інструменту для холодної роликової прокатки тонкостінних корозійностійких труб // XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Research and development results », Афіни, Греція, 6-9 квітня 2021 р. С. 186-192

5. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Дейнеко Л.М., Столбовий В.О. Дослідження структури і властивостей штампових сталей для виготовлення трубного інструменту після проведення зміцнюючої термічної і хіміко-термічної обробки і нанесення зносостійких покриттів, Металургійна та гірничорудна промисловість. 2021. №2, С. 71-88.

6. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. «Шляхи зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб з метою покращення його експлуатаційних характеристик» // V Международная научно-практическая конференция THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS. Рим. Італія. 7-8 ноября, 2021, С. 349-371

7. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов: Монография.- М.: Изд. МГТУ им Баумана, 1999. - 400 с.

8. Ломино С., Овчаренко В.Д., Полякова Г.Н., Андреев А.А., Шулаев А.М. Межэлектродная плазма вакуумной дуги в атмосфере азота . Сб. докл. 5-го Межд. симпозиума «Вакуумные технологии и системы», ISVTE-5. Харьков, 2002. С. 202-222.

9. Могильная Е.П., Дубасов В.М. «Ионное азотирование изделий из конструкционной стали 38ХМФА», СНУ ім. Володимира Даля, м. Луганськ, Україна, С. 193-198.

10. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Цеханський Д.Н., Пінчук В.Л. Особливості виробництва труб пресуванням. Шляхи підвищення стійкості

трубопресового інструменту, XIII-а Всеукраїнська конференція «Молоді вчені 2023 – від теорії до практики» м. Дніпро 23 березня 2023 р.

11. Wang Liang, Xu Xiaolei, Xu Jiujun, Shi Yaqin. Characteristics of low pressure plasma arc source ion nitrided layer on austenitic stainless steel at low temperature. - Thin Solid Films 391 (2001) 11-16.

12. А.А. Андреев. Вакуумно-дуговое модифицирование поверхности стальных изделий. - ФП ФИП PSE, 5(3-4) (2007) 140-148.

13. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Дейнеко Л.М., Пінчук В.Л. Сучасні шляхи зміцнення трубного інструменту для виробництва корозійностійких труб» Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference SCIENTIFIC RESEARCH IN XXI CENTURY OTTAWA, CANADA 16-18.07.2022. С. 368-380

14. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Дейнеко Л.М., Пінчук В.Л. «Хіміко-термічна обробка трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб – ефективний сучасний засіб термозміцнення з метою покращення експлуатаційних властивостей інструменту» // IX International Scientific and Practical Conference INTERNATIONAL FORUM: PROBLEMS AND SCIENTIFIC SOLUTIONS Australia. Melbourne, February 6-8, 2022 С.583-597

15. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Дейнеко Л.М., Столбовий В.О. Дослідження структури і властивостей штампових сталей для виготовлення трубного інструменту після проведення зміцнюючої термічної і хіміко-термічної обробки і нанесення зносостійких покриттів, Металургійна та гірничорудна промисловість. 2021. №2, С. 71-88.

16. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С. Використання хіміко-термічної обробки для покращення експлуатаційних властивостей трубопресового інструменту // Матеріали Всеукраїнської конференції «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку» Національна металургійна академія України, м. Дніпро, 18 грудня 2019 р. С. 72-76.

17. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. «Шляхи зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб з метою

покращення його експлуатаційних характеристик» // V Международная научно-практическая конференция THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS. Рим. Італія. 7-8 ноября, 2021, С. 349-371

18. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Сребрянський Г.О. Методи підвищення зносостійкості і експлуатаційних характеристик трубопресового інструменту // Матеріали XI Міжнародної конференції «Молоді вчені 2020 – від теорії до практики» Національна металургійна академія України, м. Дніпро, С. 65-73

19. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. Вибір зміцнюючої технології трубопресового інструмента для виробництва нержавіючих труб // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Modern problems in science», Прага, Чехія, 9-12 листопада 2020 р., С. 699-707

20. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Дейнеко Л.М., Пінчук В.Л., Столбовий В.О. Зміцнення трубного інструменту для виробництва корозійностійких труб з метою покращення його механічних і трибологічних властивостей», V-а міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід», 29 листопада 2022 р.

21. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л. Шляхи термозміцнення трубопресового інструменту для виробництва неіржавіючих труб // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих вчених “Молода академія 2020” (м. Дніпро, 21-22 травня 2020 р.). – Т. 1. – Дніпро, НМетАУ, 2020.

22. Афтандіянц Є.Г., Зазимко Є.В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник. Київ: НАУ, 2008р. 234 с.

23. Спосіб термічної обробки інструментальної сталі: пат. 143032 Україна: МПК С21.Д 9/00, С21Д 9/26, С23С 8/24; заяв.26.12.2019 р., опубл. 10.07.2020 р.

24. Brading H.J., Morton P.H., Earweaker G. Plasma-nitriding with nitrogen, hydrogen and argon gasmixtures: Structure and composition of coating // Surf. Eng. 1992. v.8. №3. P 206-211.

25. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Карпова Т.П. Інструмент для пресування нержавіючих труб і технологія його термічної обробки // Матеріали III Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» Нідерланди, м. Амстердам, 12-14 листопада 2019 р., С. 252-258.

26. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Дейнеко Л.М., Столбовий В.О. Зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб шляхом нанесення зносостійких нанопокриттів. Збірник наукових праць «Наносистеми, нанотехнології і наноматеріали», Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України. 2022. №3, т.20., С.693-714.

27. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. Зміцнення трубного інструменту для холодної роликової прокатки тонкостінних корозійностійких труб // XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Research and development results», Афіни, Греція, 6-9 квітня 2021 р. С. 186-192

28. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С., Очеретько Л.В. Особливості виробництва труб холодною роликовою прокаткою. Шляхи підвищення стійкості трубного інструменту», XVII-а міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті» Болгарія, м. Варна 5-8 червня 2023 р.