

Міністерство освіти і науки України  
Державна наукова установа  
«Інститут модернізації змісту освіти»  
Національна металургійна академія України  
(Український державний університет  
науки і технологій /УДУНТ/)  
Університет Аалто Гельсінкі /Фінляндія/  
Технічний Університет - Варна /Болгарія/  
Університет Алгарве Фаро /Португалія/  
Національний авіаційний університет /Україна/  
Дніпровський освітній центр /Україна/  
Харківський торговельно-економічний інститут  
Київського національного торговельно-економічного  
університету /Україна/

Ministry of Education and Science of Ukraine  
State Scientific Institution  
“Institute of Education Content Modernization”  
National Metallurgical Academy of Ukraine  
(Ukrainian State University  
of Science and Technologies /USUST/)  
Aalto University Helsinki / Finland /  
Technical University – Varna /Bulgaria/  
Universidade do Algarve /Portugal/  
National Aviation University /Ukraine/  
Dnipro Education Center /Ukraine/  
Kharkiv Trade and Economics Institute  
of Kyiv National University  
of Trade and Economics /Ukraine/

**IV Міжнародна конференція  
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
В НАУЦІ ТА ОСВІТІ.  
ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД»**

**6 - 8 грудня 2021 р.  
м. Гельсінкі, Фінляндія**

**МАТЕРІАЛИ**

**IV International Conference  
«INNOVATIVE TECHNOLOGIES  
IN SCIENCE AND EDUCATION.  
EUROPEAN EXPERIENCE»**

**December 6 - 8, 2021  
Helsinki, Finland**

**PROCEEDINGS**

**Дніпро – Гельсінкі  
2021**

УДК 658.562.012.7  
ББК 30.607  
МЗ4

Схвалено Вченою радою навчально-наукового Інституту промислових та бізнес технологій УДУНТ і редакційною радою конференції

**Укладачі:** Т.С. Хохлова, Ю.О. Ступак

**IV Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»:** Матеріали. – Дніпро-Гельсінкі, 2021. – 296 с.

До збірника матеріалів IV Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (6-8 грудня 2021 р., Гельсінкі, Фінляндія) увійшли 66 доповідей (статті, тези), що надійшли до оргкомітету та були прийняті до опублікування.

Proceedings of the IV International Conference «Innovative technologies in science and education. European experience » (December 6-8, 2021, Helsinki, Finland) includes 66 reports (articles, theses) received by the organizing committee and accepted for publication.

**Верстка збірника здійснена з оригіналів,  
наданих авторами в електронному вигляді.**

**Тексти доповідей / статей, тез / та їх назви в змісті відтворені мовами оригіналів,  
в редакції, запропонованій авторами**

**Укладачі збірника і поліграфічне підприємство не несуть відповідальності  
за зміст доповідей, а також якість ілюстрацій,  
виконаних з відхиленнями від вимог редакційної ради**

ISBN 978-617-7340-18-7

© УДУНТ, 2021  
© Дніпровський освітній центр, 2021  
© Хохлова Т.С., Ступак Ю.О.,  
упорядкування, 2021

**РЕДАКЦІЙНА РАДА  
EDITORIAL BOARD**

**Олександр Величко**, д.т.н., проф., член - кореспондент Національної академії наук України (Національна металургійна академія України / Український державний університет науки і технологій /)

**Венцислав Валчев**, д-р. інж., проф. (Технічний університет - Варна, Болгарія)

**Тетяна Хохлова**, к.т.н., проф. (Національна металургійна академія України / Український державний університет науки і технологій /)

**Кай Р. Ліліус**, д-р, проф. (Університет Аалто, Гельсінкі, Фінляндія)

**Валерій Іващенко**, д.т.н., проф. (Національна металургійна академія України / Український державний університет науки і технологій /)

**Ернст Козеснік**, д.т.н., проф. (Технічний Університет Відень, Австрія)

**Томас Диллінджер**, д.т.н., проф. (Технічний Університет Відень, Австрія)

**Володимир Кудін**, д.т.н., проф. (Київський національний університет ім. Т. Шевченка)

**Михайло Гасик**, д.т.н., проф. (Університет Аалто, Гельсінкі, Фінляндія)

**Рібейро Джонкалвес**, доктор філософії, проф. (Університет Алгарве, Фаро, Португалія)

**Адріано Примпао**, доктор філософії, проф. (Університет Алгарве, Фаро, Португалія)

**Лора Пронкіна**, к.е.н., проф., Академік Академії економічних наук України (Харківський торговельно-економічний інститут КНТЕУ, Україна)

**Геннадій Швачич**, д.т.н., проф. (Національна металургійна академія України / Український державний університет науки і технологій /)

**Ельвіра Лузік**, д. пед. н., проф. (Національний авіаційний університет, Україна)

**Іван Іванов**, д-р. інж., доц. (Технічний університет - Варна, Болгарія)

**Наталія Ладогубець**, к. пед. н., проф. (Національний авіаційний університет, Україна)

**Юрій Ступак**, к.т.н., доц. (Національна металургійна академія України / Український державний університет науки і технологій /)

**Alexander Velichko**, Dr. Sc., Prof., Corr. Member of Ukraine National Academy of Sciences (National Metallurgical Academy of Ukraine / Ukrainian State University of Science and Technologies /)

**Ventsislav Valchev**, Prof. Eng., PhD (Technical University of Varna, Bulgaria)

**Tatyana Khokhlova**, Dr. Eng., Prof. (National Metallurgical Academy of Ukraine / Ukrainian State University of Science and Technologies /)

**Kaj R. Lilius**, Dr. Sc., Prof. (Aalto University, Helsinki, Finland)

**Valery Ivashchenko**, Dr. Sc., Prof. (National Metallurgical Academy of Ukraine / Ukrainian State University of Science and Technologies /)

**Ernst Kozeschnik**, Dipl.-ing. Dr. techn., Prof., (Technical University Wien, Austria)

**Thomas Dillinger**, Dipl.-ing Dr. techn., Prof., (Technical University Wien, Austria)

**Volodymyr Kudin**, Dr. Sc., Prof. (Taras Shevchenko National University of Kyiv)

**Michael Gasik**, Dr. Sc., Prof. (Aalto University, Helsinki, Finland)

**Ribeiro Joncalves**, PhD., Prof. (University of Algarve, Faro, Portugal)

**Adriano Primpao**, PhD, Prof (University of Algarve, Faro, Portugal)

**Lora Pronkina**, Candidate of Economic Sciences Prof., Acad. of Academy of Economic Sciences of Ukraine (Kharkiv Trade and Economics Institute of KNUTE, Ukraine)

**Henadii Shvachych**, Dr. Sc., Prof. (National Metallurgical Academy of Ukraine / Ukrainian State University of Science and Technologies /)

**Elvira Luzik**, Dr. Sc. (Pedagogical), Prof. (National Aviation University, Ukraine)

**Ivan Ivanov**, Dr. Eng., Assoc. Prof. (Technical University of Varna, Bulgaria)

**Nataliia Ladogubets**, Candidate of pedagogical sciences, Prof. (National Aviation University, Ukraine)

**Yury Stupak**, Dr. Eng., Assoc. Prof. (National Metallurgical Academy of Ukraine / Ukrainian State University of Science and Technologies /)

### **Посилання**

1. Данніков О.В., Січкаренко К.О. Концептуальні засади цифровізації економіки України. Інфраструктура ринку. 2018. Випуск 17. С. 71-79.
2. Жуковська В. М. Цифрові виклики кадрового забезпечення підприємства. Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. 2019. Випуск 2. С. 10-17.
3. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки. URL: <https://zakon.rada.go.ua/laws/show/67-2018-p>.
4. Корінь М.В., Шевченко О.О., Шовкопляс О.О. Управління розвитком кадрового потенціалу в сучасних умовах. Вісник економіки транспорті і промисловості. 2017. № 60. С. 238—245.
5. Презавантаження системи: Погляд CEO у цифрове майбутнє. URL: <https://www.pwc.com/ua/uk/survey/2017/ukraine-ceo-survey-2017.pdf>.

## **ЗМІЦЕННЯ ТРУБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ШЛЯХОМ ПРОВЕДЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ – ІОННОГО АЗОТУВАННЯ З НАНЕСЕННЯМ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ**

*Аспірант<sup>1</sup>, викладач<sup>3</sup> Л.С. Кривчик*

*Керівник – проф., канд. техн. наук, декан ф-ту<sup>2</sup> Т.С. Хохлова*

*Зав. каф.<sup>1</sup>, проф., докт. техн. наук Л.М. Дейнеко*

*викладач-методист<sup>3</sup> В.Л. Пінчук*

<sup>1</sup>Кафедра термічної обробки металів УДУНТ

<sup>2</sup>Нікопольський факультет УДУНТ

<sup>3</sup>Нікопольський фаховий коледж УДУНТ

**Український державний ун-т науки і технологій (УДУНТ)**

**м. Дніпро, Україна**

*Нач. лаб.<sup>4</sup>, докт. техн. наук В.О. Столбовий*

<sup>4</sup>Лабораторія плазмових технологій

**Навчально-науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»,  
м. Харків, Україна**

Виробництво труб є найбільшою галуззю промисловості України.

Багато труб використовують нафтова та газова промисловість. Але, крім цього, також важливим споживачем є машинобудівельна, автомобільна, тракторна, суднобудівельна, авіаційна, хімічна, харчова промисловості та інші галузі народного господарства. Виробництво труб з легованих та високолегованих марок сталей охоплює майже всі напрямки будівельних промисловостей.

Створення високопродуктивних і стійких в експлуатації інструментів зв'язане, у першу чергу, із проблемою одержання й обробки таких матеріалів,

які могли б протистояти жорстким умовам роботи. Високі механічні властивості інструмента і його теплостійкість (червоностійкість) досягаються спеціальним легуванням і термічною обробкою. Таким чином, певний інтерес представляє розробка й коректування методів термічної обробки і нанесення спеціальних покриттів для підвищення зносостійкості інструменту. [1]

Термічна обробка є однією з основних, найбільш важливих операцій загального технологічного циклу і застосовується у всіх галузях промисловості, зайнятих обробкою металів і металевих сплавів.

Від правильного виконання термічної обробки залежить якість (механічні та фізико-хімічні властивості) виготовлених деталей машин і механізмів, інструменту та іншої продукції. [2]

Правильний вибір матеріалів, параметрів зміцнюючих технологій трубного інструменту визначає якість процесів прокатки і пресування труб з високолегованих марок сталей для відповідальних галузей промисловості України.

Широке поширення одержав процес виробництва сталевих труб методом пресування на гідравлічних пресах. Спосіб гарячого пресування дозволяє виготовляти труби із усіх сталей і сплавів, які важко деформуються.

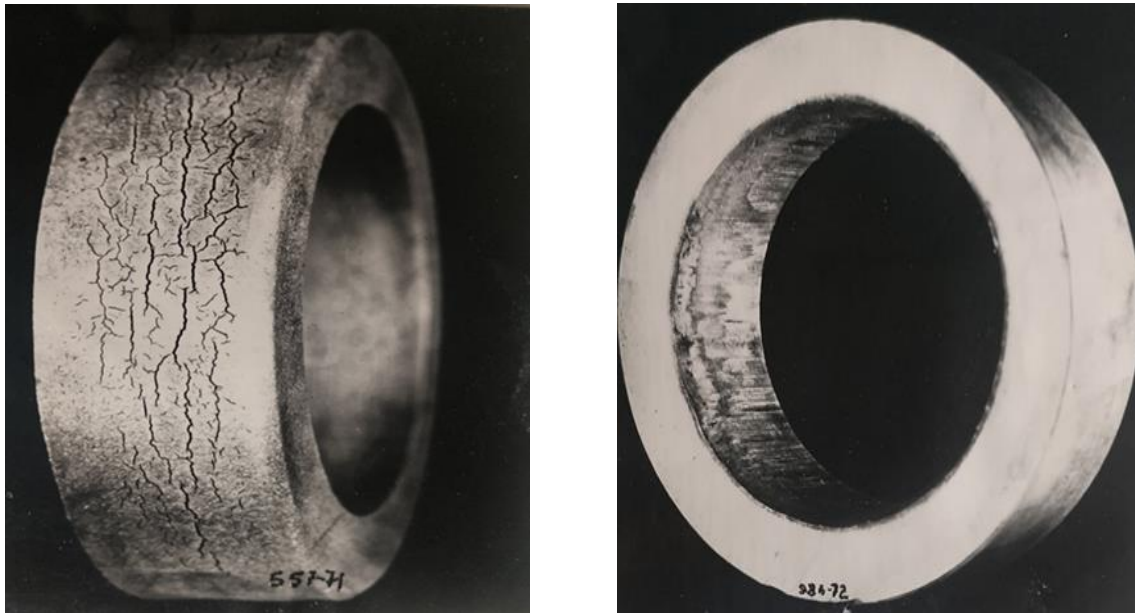
Процес пресування труб полягає у видавлюванні металу через кільцевий зазор, утворений матрицею і оправкою. [3]

Матриці і матричні кільця складних матриць по конструкції мають велику кількість різновидів. Вони працюють у важких температурних умовах, випробовуючи високий питомий тиск. Розміри і форма робочої поверхні впливають на стійкість матриць.

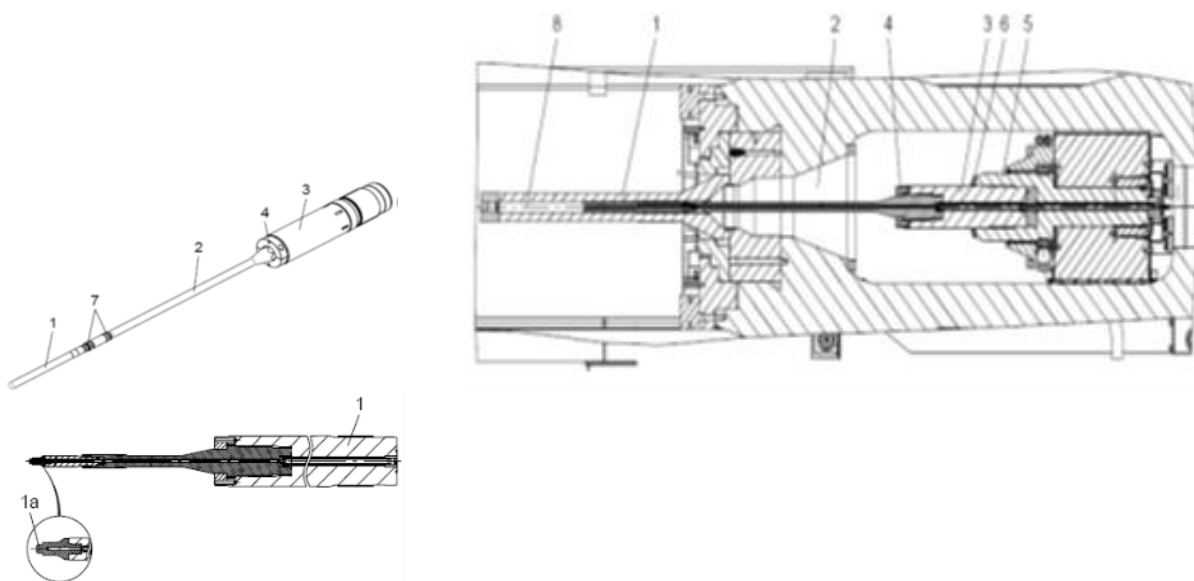
Матриця є найбільш важливим інструментом, в якому змінюється форма заготовки, тому вона - найбільш зношена частина пресового інструменту. Основні причини руйнування матриць: втрата форми і розмірів каналу, крихке руйнування і розгарні тріщини [4]

Динамічне навантаження матриць забезпечує появу тріщин в місці концентрації напружень і температурних градієнтів, а також наступні хрупкі руйнування. В результаті дії температурних і структурних напружень на робочих поверхнях матриць з'являються сітки розгарних тріщин, які поступово розширюються і заповнюються пресованим металом, що в подальшому призводить до руйнування матриць (рисунок 1)

Пресові голки, або трубні оправки, – це інструмент, який утворює внутрішню порожнину труби (рисунок 2). Під час пресування голки працюють в найбільш важких умовах, тому що піддаються розтягуючим та здавлюючим напругам при підвищеній температурі поверхневого шару внаслідок тертя металу і теплового ефекту деформації.



**Рисунок 1 - Дефекти матричних кілець**



**Рисунок 2 – Голка – оправка**

Вимоги до геометрії трубчастих виробів та властивостей металів, що постійно підвищуються, задовольняються шляхом використання процесів холодної періодичної прокатки труб. Процес ХПТР, що належить до цих процесів, дозволяє прокочувати труби найвищої точності та якості. Саме цей факт сприяє постійному розвитку процесу ХПТР і удосконаленню агрегатів цього типу та режимів деформації, які в них виконуються.

Процес ХПТР був створений та використовується для виробництва особливотонкостінних труб підвищеної якості.[5]

На станах ХПТР деформуючим інструментом служать ролики, які спираються на опорні планки і оправка.( рисунок 3)



**Рисунок 3 - Зовнішній вигляд інструмента стану ХПТР**

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, володіти достатньою твердістю в поєднанні з пружністю і в'язкістю.

Висока стійкість інструменту забезпечується якістю матеріалу і виконанням технології виготовлення.

Основним дефектом, що приводить до виходу з строю всіх деталей прокатного інструмента, є викришування металу на робочій поверхні. Причина – недостатня контактна зносостійкість, що в свою чергу є наслідком зниженої твердості (рисунок 4)



**Рисунок 4 – Знос опорних планок і роликів стану ХПТР**

Тому пошук раціональних шляхів зміцнення і підвищення триботехнічних характеристик трубного інструменту являє собою актуальну задачу в виробництві труб з високолегованих сталей.[6]

Для рішення цієї задачі в даній роботі проведені реальні дослідження і випробування на діючих підприємствах, розроблені параметри сучасних зміцнюючих технологій і запропоновані методи оптимізації режимів термічної і хіміко-термічної обробки, нанесення зносостійких покриттів.

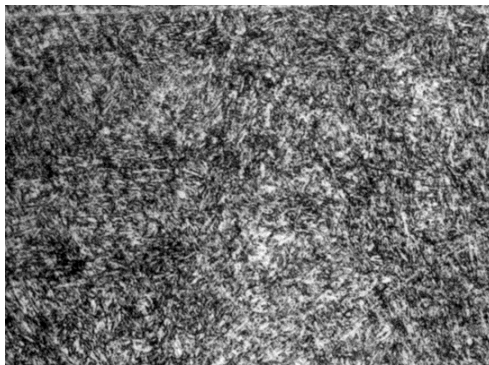
Для виготовлення голок-оправок для пресування труб та матричних кілець, опорних планок і роликів станів ХПТР найчастіше використовують вториннотвердіючу штампову сталь 4X5МФ1С, які піддають термічній обробці. Традиційна технологія термозміцнення інструменту з штампових сталей уявляє собою загартування з наступним відпуском. 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.[7]

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 5).

Нагрівання до 1080–1100°C створює досить повне насичення аустеніту (мартенситу) і високі міцнісні властивості. Більше нагрівання не потрібне; воно уже мало поліпшує теплостійкість, але викликає значний ріст зерна в сталях до бала 8 (при 1150°C) і сильно погіршує в'язкість, пластичність і розгаростійкість. При загартуванні важливим завданням є захист від обезвуглецювання; оскільки температури загартування – високі. Обов'язкове застосування заходів захисту; найбільш доцільне нагрівання в соляних ваннах.

Після загартування дані сталі рекомендується підстужувати на повітрі до 950 – 900°C, а потім прохолоджувати в маслі або полімерних загартувальних середовищах для можливості регулювання процесу загартування. Aqua-Quench 400 – високоякісне полімерне гартівне середовище, розроблене на основі акрилату для обробки сталей як низького, так і високого загартування.

Операцію відпуску виконують негайно після загартування з метою попередження тріщин. Як правило, відпуск роблять на твердість 45 – 52 HRC. Оскільки при нагріванні для відпуску в структурі зберігається багато аустеніту, доцільне проведення дворазового відпуску. Температура другого відпуску може бути на 10 – 20°C нижче, а його тривалість на 20 – 25% менше, чим першого відпуску. Охолодження після відпуску проводиться на повітрі. [8]



**Рисунок 5 – Мікроструктура сталі 4X5МФ1С після загартування від 1070°C і відпущеної при 550 – 570°C ( 1 відпуск), 530 –550°C ( 2 відпуск) (троостит відпуску), \* 500**

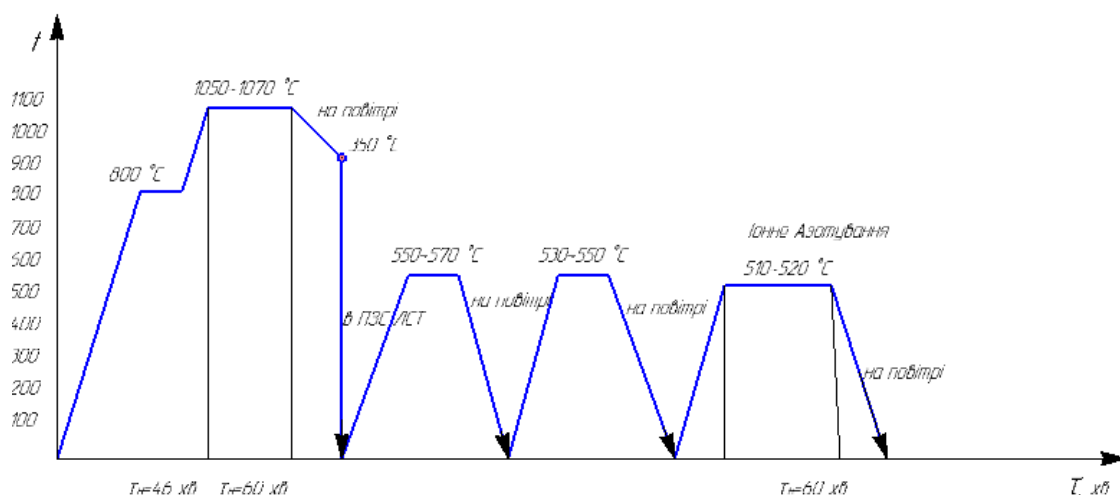
Ефективним способом зміни складу поверхневого шару штампового інструмента, що забезпечують необхідний комплекс властивостей його робочої поверхні, є хіміко-термічна обробка. У результаті змінюються структура й властивості поверхневого шару, підвищуються міцність, зносо- і теплостійкість сталі шляхом утворення стійких у процесі нагрівання карбідів, нітридів, боридів і т.п.

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; дає можливість азотувати корозійностійкі жароміцні і мартенситно-старіючі сталі без додаткової депасивуючої обробки; значно скорочує загальний час процесу за рахунок зменшення часу нагрівання та охолодження садки; має велику економічність, підвищує коефіцієнт використання електроенергії, скорочує витрату насичуючих газів; нетоксично і відповідає вимогам щодо захисту навколишнього середовища.[9]

Нанесення керамічних покриттів на попередньо азотовані сталі є типовим прикладом комбінованої обробки виробів. Але в залежності від структури і властивостей азотованого шару, а також від параметрів процесу осадження керамічного шару на кордоні між покриттям і основою може бути присутнім шар м'якого заліза, крихкий нітрідний шар або твердий розчин азоту в залізі.

В теперішній час розроблений цілий ряд твердих керамічних покриттів, стійких до різних видів зносу (абразивного, адгезійного, окисного, втомленого, пилової і кавітаційної ерозії). Вони мають високу твердість (20 ... 30 ГПа і більше) і більш низькі коефіцієнти тертя, ніж сталі. Однак всі ці покриття, що володіють відмінними експлуатаційними характеристиками, інтенсивно руйнуються при пластичній деформації основи під дією високого навантаження. Встановлено, що в більшості випадків руйнування системи покриття-підложка починається з пластичної деформації підложки поблизу кордону розділу, коли ця система піддається порівняно високому навантаженню. Таким чином, опір навантаженню в системі покриття-підложка залежить і від властивостей поверхні. Тверді керамічні покриття зазвичай мають високий рівень стискаючих напруг (3 ... 6 ГПа); величина внутрішніх стискаючих напруг в загартованих сталях знаходиться на рівні 0,8 ГПа. Після нанесення покриття на кордоні розділу в підкладці виникають напруження розтягу, що призводить до зниження стискаючих напруг в ній до 50%, а це зменшує здатність до навантаження і втону міцність. [10]

Дослідження показали, що відмінною рисою мікроструктури азотованого шару після іонно-плазменого азотування є наявність мілкодисперсної дуже міцної  $\epsilon$ -фази. Завдяки наявності в шарі цієї фази поверхнева твердість азотуємих деталей вище майже на HV 160 - 180, чим при газовому азотуванні. Графік термічної обробки інструменту показаний на рисунку 6.



**Рисунок 6 – Графік термічної обробки матричного кільця з сталі 4X5МФ1С з використанням іонного азотування**

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

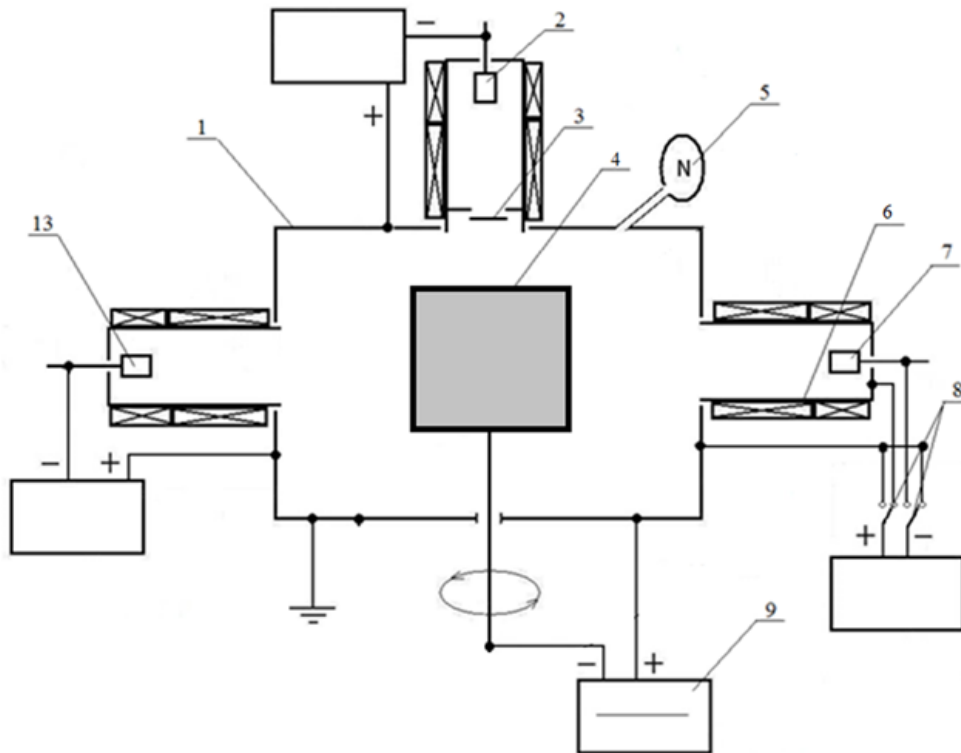
Комбінована обробка матричних кілець, що включає азотування з наступним осадженням керамічних покриттів в єдиному технологічному процесі, була проведена з використанням ДВДР в вакуумно-дугових установках типу «Булат» (ННЦ ХФТІ)

Нітриди титану мають золотистий колір, відтінки якого змінюються в залежності від вмісту в них азоту. Покриття, отримані при малих тисках азоту, мають світло-жовтий колір. При підвищенні тиску їх колір стає темно-жовтим з червонуватим відливом.[11]

В роботі 3(три) кільця з сталі 5X3В3МФС діаметром 73,5 мм і 71,5 мм і 2 (два) кільця з сталі 4X5МФ1С діаметром 73,5 мм, а також 3 (три) ролика з сталі 4X5МФ1С шириною 65 мм під діаметр труби 16 мм і 3 (три) опорні планки з сталі 4X5МФ1С довжиною 210 мм, шириною 80 мм і висотою 47,42 мм були піддані іонному азотуванню в плазмі двоступеневого дугового розряду в модифікованій установці «Булат-6» (рисунок 7) в лабораторії плазмотехнологій Інституту фізики твердого тіла ННЦ ХФТІ ( м.Харків).

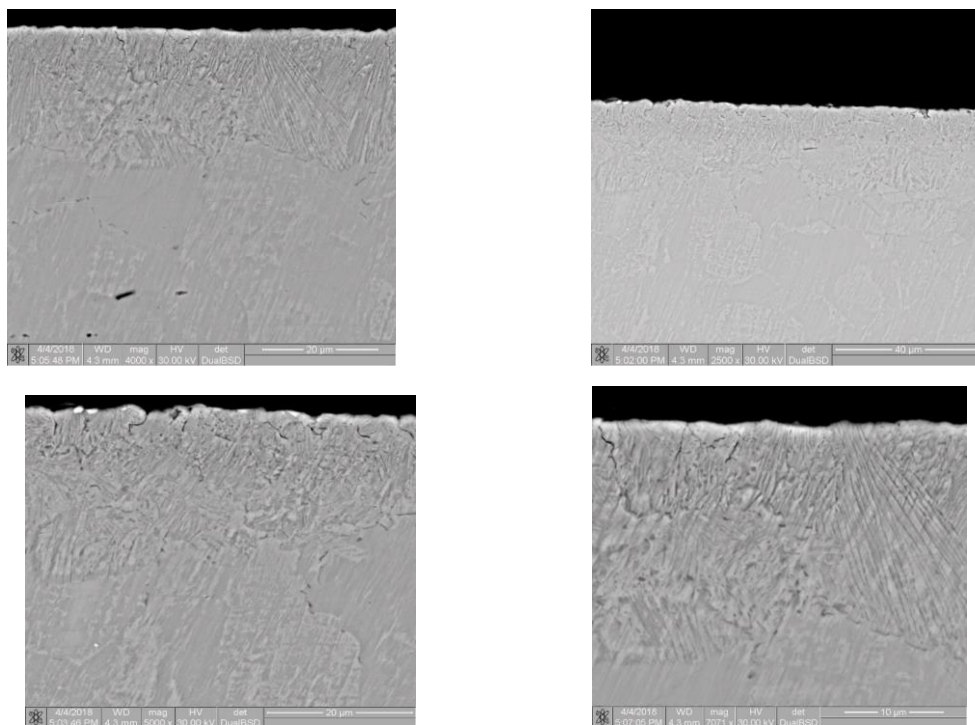
Після проведення азотування азотований шар на поверхні складається з нітридної зони  $Fe_{2-3}N$  ( $\epsilon$ -фаза) і  $Fe_4N$  ( $\gamma'$ -фаза) і підслою азотистого ферита ( $\alpha$ -фаза), в якому при охолодженні виділяються нітриди хрому, молібдену, алюмінія (рисунок 8).

Двоступеневий вакуумно-дуговий розряд (ДВДР) являє собою розряд, в якому позитивний стовп дуги розділений на два ступені, перша з яких представляє собою вакуумну дугу з холодним катодом (2), а другий ступінь - позитивний стовп дугового розряду (7, 8) в самій камері в плазмі робочого газу азоту низького тиску. ДВДР створює на поверхнях, що знаходяться під плаваючим потенціалом, позитивний наведений потенціал. Швидкість і глибина азотованого шару буде змінюватися від температури деталі, іонного струму на деталі, що залежить від щільності газової плазми ДВДР, і від самого матеріалу. Температура інструменту, що нагрівається, залежить від приложеного потенціалу.[12]



**Рисунок 7 - Принципова схема вакуумно-дугової установки «БУЛАТ-6» для нанесення наноструктурних покриттів і азотування сталей:**

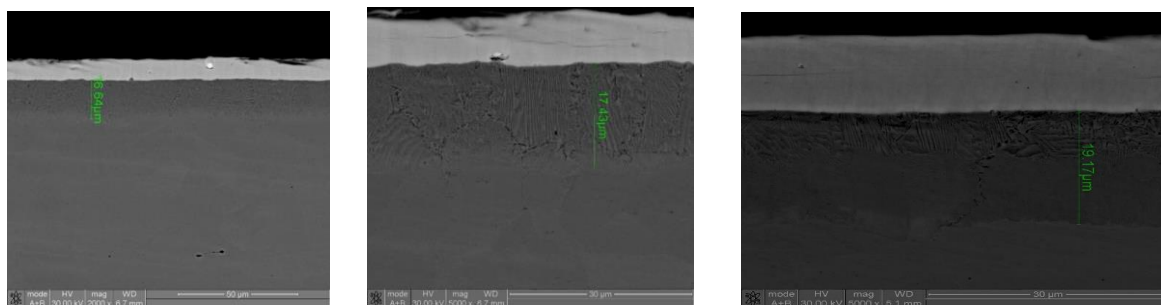
1 - вакуумна камера, 2 - вакуумно-дуговий випарник; 3 - металевий екран, 4 - екран тримач зразків, 5 - регулятор тиску азоту, 6 - зразки, 7 - корпус вакуумно-дугового випарника - анод для газового розряду, 8 - катод Nb, 9 - реле перемикання, 10 - джерело постійної напруги, 11 - командоконтролер, 13 -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



**Рисунок 8 – Азотований шар при електронному дослідженні**

В даному випадку струм катода = -80 А (2), струм на аноді = -100А (7, 8). Напруга на поворотному механізмі = -1100В (9). Тиск азоту в вакуумно-дуговій камері при процесі азотування  $p = 0,6$  Па. Температура на зразках була 500 ... 560 °С. Час азотування 1 година. [13]

Структури зразків штампової сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення одношарового покриття TiN показані на рисунку 9.



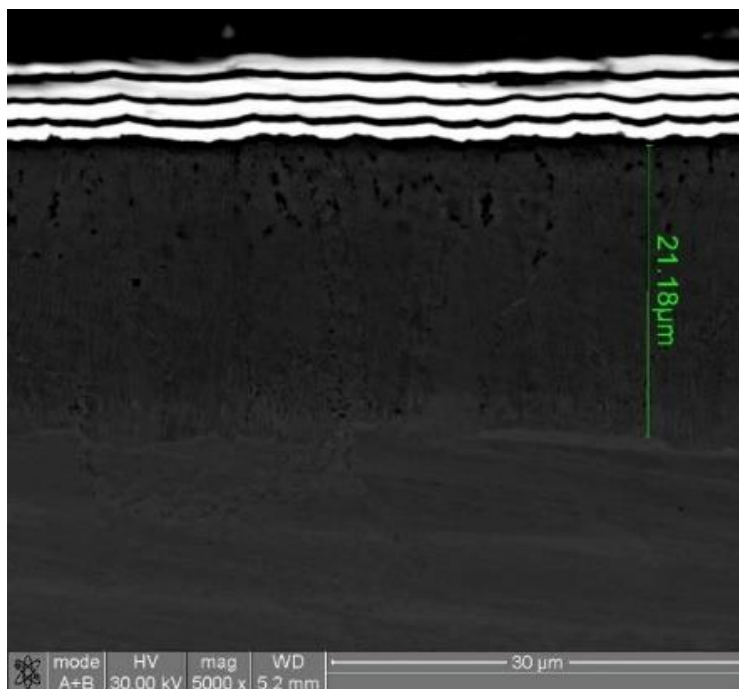
**Рисунок 9 – Структури експериментальних зразків сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення одношарового покриття при електронному дослідженні**

Матричні кільця і експериментальні зразки з розмірами 20×20×3 мм попередньо промивали лужним розчином в ультразвуковій ванні, а потім нефрасом С2-80/120. Зразки завантажували в модернізовану установку типу «БУЛАТ-6». Вакуумну камеру 1 відкачували до тиску  $P = 1,3 \cdot 10^{-3}$  Па.

Іонна очистка з активацією поверхні підкладок проводилась прискореними іонами азоту в газовій плазмі дугового розряду при тиску  $P_N = 0,66$  Па. Для створення газового розряду в робочому об'ємі камери необхідно включити випарник 2 і при цьому створюється газо-металева плазма, яка через екран (3) буде є емітером електронів для газового розряду в об'ємі робочої камери (1). При подачі на корпус вакуумно-дугового випарника 7 позитивного потенціалу перемикачем 9 від джерела живлення дуги в присутності азоту при тиску 0,05...0,5 Па в робочому об'ємі камери виникає газовий дуговий розряд. При подачі на підкладку (4), а отже і на зразки (6) високого негативного потенціалу -1000 ... -1300 В відбувається її розігрів за рахунок бомбардування іонами азоту до температури 480...540°C, що забезпечує процеси азотування на поверхні зразків. Температура підкладок надалі підтримується зміною величини негативного потенціалу (10). Тривалість процесу азотування була 1 година.

Після процесу азотування проводиться осадження багатшарових покриттів TiZrN/NbN. Струм дугового розряду на катоді TiZr = 100 А (8), струм дуги катода Nb = 125 А (13). Відстань від катодів до зразків 500 мм. Командоконтролером (11) регулюється тривалість нанесення кожного шару, зокрема, в роботі обертання здійснювалось безперервно. Осадження покриттів здійснювалось при негативному потенціалі – 270 В (10) при тиску азоту  $P_N = 0,66$  Па.

Час осадження був 1 година. Тобто в попередній проміжок часу відбувалось азотування на глибину 50-60 мкм за одну годину, а зверху наносилось наноструктурне вакуумно-дугове покриття TiZrN/NbN товщиною ~ 5-7 мкм (1 година). Структура сталі після нанесення багат шарового покриття показана на рисунку 10.



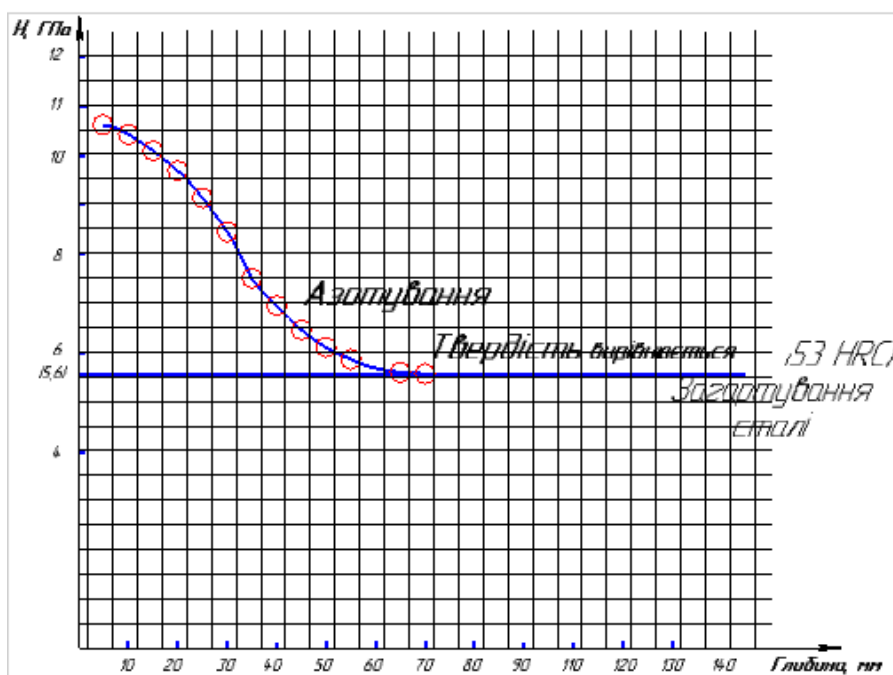
**Рисунок 10 – Структура експериментальних зразків сталі 4X5MФ1С після іонного азотування і нанесення багат шарового покриття при електронному дослідженні**

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. Для судження про фазовий склад шару використовували методи кольорового і електролітичного травлення в розчині їдкого натру. 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. Замір твердості поверхні зразків після ХТО був виконаний за допомогою мікротвердоміра (мікроскопа) - типу ПМТ-3 при навантаженні 100гс HV<sub>0,1</sub>. [14,15]

Результати заміру мікротвердості експериментальних зразків сталей 4X5MФ1С після іонного азотування наведені в таблиці 1, а зміна твердості інструментальної сталі після іонного азотування в залежності від глибини визначення твердості на рис. 11.

**Таблиця 1 - Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4X5MΦ1С**

№ зразку	Зона	Діаметр відбитка	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



**Рисунок 11 – Зміна твердості інструментальної сталі після іонного азотування в залежності від глибини визначення твердості**

Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення покриття TiN наведені в таблиці 2, а зміна твердості інструментальної сталі після іонного азотування і нанесення покриття TiN в залежності від глибини визначення твердості на рис. 12

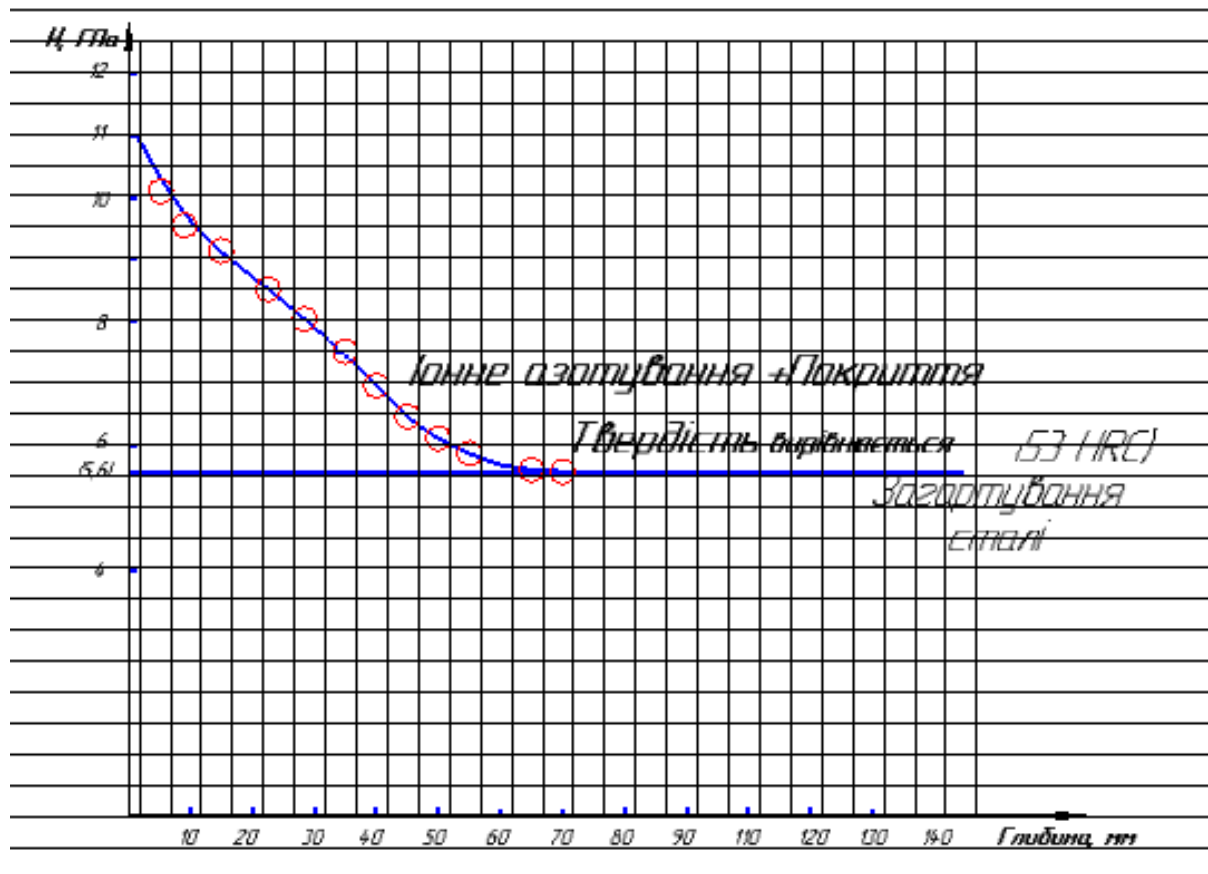
**Таблиця 2 – Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення покриття TiN (значення мікротвердості на поверхні покриття 23000 – 25000 МПа)**

№ зразку	Зона	Діаметр відбитка	Середній діаметр відбитка, мкм	Навантаження, Г	Значення мікротвердості МПа	Середнє значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, КГ/ММ <sup>2</sup>
1	30	12	12,87	100	11200		
2	30	13	13,45	100	11400		
3	30	12	12,78	100	11600		
4	30	12	12,184	100	11340	11350	1135
5	50	13	13,024	100	10560		
6	50	14	14,872	100	10500		
7	50	14	14,332	100	10340		
8	50	14	14,64	100	10350	10350	1035
9	150	15	15,096	100	8790		
10	150	15	15,764	100	8700		
11	150	15	15,764	100	8600		
12	150	15	15,182	100	8400	8500	850
13	250	16	16,96	100	7344		
14	250	16	16,96	100	7344		
15	250	16	16,86	100	7348		
16	250	16	16,717	100	7365	7300	730
17	центр	18	18,196	100	5983		
18	центр	18	18,712	100	5664		
19	центр	19	19,176	100	5519		
20	центр	20	20,196	100	4994	5040	504

**Висновки:**

1. У зв'язку з низькою стійкістю трубного інструменту ( інструменту для гарячого пресування корозійностійких труб, для холодної роликової прокатки особливотонкостінних корозійностійких труб) виникла необхідність в удосконаленні зміцнюючих технологій трубного інструменту, оптимізації режимів таких технологій, розробці нових методів зміцнення з використанням нових матеріалів, покриттів і нанотехнологій.

2. Проведення комбінованої обробки матричних кілець, роликів, опорних планок станів ХПТР, яка включає азотування з наступним осадженням керамічних покриттів в єдиному технологічному процесі з



**Рисунок 12 – Зміна твердості інструментальної сталі після іонного азотування і нанесення зносостійкого покриття в залежності від глибини визначення твердості**

використанням ДВДР в вакуумно-дугових установках типу «Булат» ( ННЦ ХФТІ) значно підвищує стійкість інструменту внаслідок високих показників поверхневої твердості. Якщо стійкість матричних кілець зі сталі 5Х3В3МФС (ДИ-23) після звичайного термозміцнення складає 4 – 6 пресовок, то кільця з більш економнолегованої безвольфрамової сталі 4Х5МФ1С, додатково піддані хіміко-термічній обробці (іонному азотуванню в плазмі ДВДР) і послідовним нанесенням комбінованих покриттів показали стійкість 12 – 13 пресовок внаслідок більш високої твердості, теплостійкості, утворення особливої структури на поверхні внаслідок проведення іонного азотування і нанесення зносостійкого покриття TiN, TiZrN/ NbN та ін. Якщо стійкість роликів стану ХПТР 15-30 з сталі 60С2ХФА після звичайного термозміцнення (загартування з низьким відпуском) складає 1023-1030 м/комплект , то інструмент з сталі 4Х5МФ1С, після загартування з високим відпуском, додатково підданий хіміко-термічній обробці (іонному азотуванню в плазмі дугового розряду) і подальшому нанесенню зносостійкого покриття TiN, показав стійкість 1860-2030 м/комплект, тобто в 1,7 раз вище, внаслідок більш високої поверхневої твердості, зносостійкості, утворення особливої структури на поверхні.

3. Проведення хіміко-термічної обробки після загартування з відпуском інструментальної сталі 4X5MФ1С ( іонного азотування в плазмі ДВДР), а також нанесення зносостійких покриттів TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN, TiN/CrN на робочі поверхні інструменту значно на 30-40% збільшує експлуатаційні властивості інструменту і термін його експлуатації, а також якість його поверхні, що значно збільшує якість внутрішньої поверхні корозійностійких труб.

### *Посилання*

1. Каргин В.Р., Каргин Б.В. Теория и технология прессования, прокатки и волочения / В.Р.Каргин. – Самара: СГАУ, 2014. – 72 с.
2. Куцова В.З., Леговані сталі та сплави з особливими властивостями: Підручник / В.З. Куцова. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 250 с.
3. Шерба В.Н., Райтбарг Л.Х., Технология прессования металлов / В.Н. Шерба. – М.: Металлургия, 1995. – 153 с.
4. Мохорт А.В., Термічна обробка металів: Навч.посібник / А.В.Мохорт. – К.: Либідь, 2002. – 512 с.
5. Антощенко А.Е. Разработка мероприятий по повышению качества прокатного инструмента станов холодной прокатки труб: дис.канд.техн.наук / А.Е.Антощенко. – Москва, 2007.-146с.
6. Лезинская Е.Я., Бильдин К.М. и др., Сборник лекций по технологии производства нержавеющей труб / Е.Я. Лезинская. – Нікополь: Сентравис, 2019.
7. Большаков В.И., Оборудование термических цехов, технологии термической и комбинированной обработки металлопродукции / В.И. Большаков. – Днепропетровск: РИА Днепр- Vah, 2010. – 619 с.
8. Таран Ю.М., Калінушкін Є.П., Куцова В.З. та ін., Металознавство і термічна обробка металів і сплавів із застосуванням комп'ютерних технологій навчання, ч. 2: Підручник / Ю.М. Таран. – К.: Дніпрокнига, 2002. – 360 с.
9. Александров В.А., Богданов К.В. Азотирование инструмента из высокохромистых и быстрорежущих сталей / В.А. Александров // Упрочняющие технологии и покрытия, 2005. – № 5. – 14-20 с.
10. А.А. Андреев, С.Н. Григорьев. Износостойкие вакуумноплазменные покрытия на основе титана в инструментальном производстве // Станки и инструмент. 2006, № 2, с. 19 - 24.
11. А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005, 236 с.
12. И.И. Аксёнов, А.А. Андреев, В.Г. Брень, и др. Покрытия, полученные конденсацией плазменных потоков в вакууме (способ конденсации с ионной бомбардировкой) // Украинский физический журнал. 1979, т. 24, № 4, с. 515-525.
13. Герасимов С.А., Жихарев А.В., Березина Е.В. и др. Новые идеи о механизме образования структуры азотированных сталей / С.А. Герасимов // МиТОМ, 2004. – №1. – 13-17с.
14. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н., Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, – М.:Металлургия, 1985. –256 с.
15. Лахтин Ю.М. Диффузионные основы процесса азотирования / Ю.М. Лахтин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1995. – №7. – С. 14–17.

## ЗМІСТ CONTENTS

(прізвища авторів і назви доповідей наведені мовою оригіналу)  
(authors surname and the list of reports correspond to originals)

### СЕКЦІЯ 1: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ SECTION 1: INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN EDUCATION

<i>Березницький Я.С., Дука Р.В., Ярошенко К.О., Малиновський С.Л.</i> Впровадження інноваційних технологій в організацію освітнього процесу вищих навчальних закладів медичного профілю .....	6
<i>Ботвіновська С.І., Ніколаєнко Т.П., Золотова А.В., Ус В.Ф., Колган А.В.</i> Використання чорно-білої графіки в процесі професійного навчання студентів-дизайнерів .....	10
<i>Голицына И.Н.</i> Технологии электронного обучения в современном высшем образовании .....	17
<i>Голуб Є.С.</i> Методи оцінювання знань та вмінь студентів в умовах дистанційного навчання .....	22
<i>Грек Л.П.</i> Застосування андрогогічних підходів в процесі післядипломного навчання .....	27
<i>Гуда О.В., Крадінова Т.А., Тимошук В.М., Гануліч Б.К.</i> Особливості вивчення курсу «Вища математика» при використанні технологій дистанційного навчання .....	29
<i>Гулай О.І., Шемет В.Я., Фурс Т.В.</i> Оцінювання навчальних досягнень студентів в умовах змішаного навчання .....	33
<i>Dimitrov Sergey</i> Summary analysis of the activity and prospects of credit mobility projects financed by the Erasmus+ program at the Technical university of Varna .....	37
<i>Замай Ж.В., Гуменюк О.Л., Іваненко К.М., Волкова Р.М.</i> Актуальні питання викладання освітньої компоненти «Харчова хімія» в умовах дистанційного навчання .....	39
<i>Коноплицький В.С., Погорілий В.В., Сасюк А.І., Лукіянець О.О., Пасічник О.В.</i> Перспективи розвитку дистанційного навчання медико-біологічного спрямування на факультетах післядипломної освіти .....	42
<i>Кравченко М.В.</i> Стан розвитку системи професійної (професійно-технічної) освіти Дніпропетровської області як основної складової економічної безпеки регіону .....	44
<i>Кузнецов О.А.</i> Дискусія зі студентами як метод розвитку критичного мислення і формування комунікативної і дискусійної культури майбутніх фахівців .....	47
<i>Кучеренко Н.В.</i> Викладання освітньої компоненти «Технологія ліків (аптечна)» у світі інноваційних технологій .....	52

**СЕКЦІЯ 2: СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ НАУКИ І ВИРОБНИЦТВА**  
**SECTION 2: MODERN PROBLEMS OF SCIENCE AND PRODUCTION**  
**DEVELOPMENT**

<i>Aleksiev O., Matsyi O., Matsyi M.</i> Modeling of web system for obtaining road data .....	122
<i>Алексєєнко С.В.</i> Перспективи розвитку механотронних та роботехнічних систем .....	126
<i>Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., Сафронова О.А., Кімстач Т.В.</i> Сталі для броньового захисту .....	129
<i>Бащак М.М.</i> Диверсифікація туристичних послуг в умовах динамізму .....	135
<i>Губенко С.И., Парусов Э.В.</i> Разрушение гетерофазных включений типа «дисперсные фазы в неметаллической матрице» по внутренним межфазным границам .....	138
<i>Гуцалова В.І., Білик М.З.</i> Економічні методи управління в умовах промислового підприємства .....	143
<i>Zhejnov Zhejno, Urumov Jordan</i> Influence of deformation on bragg fiber losses .....	148
<i>Zagorova Krasimira Petkova</i> Methodology of empirical sociological research .....	154
<i>Калініна Н.Є., Калінін О.В., Носова Т.В., Цокур Н.І.</i> Дослідження термодинамічних параметрів при кристалізації наномодифікованих сплавів .....	160
<i>Карпов В.Ю.</i> Взаимодействие Н-слоев с легированными сталями .....	164
<i>Каряченко Н.В., Ропай В.А.</i> Виведення системи рівнянь рівноваги плоского згину стержня .....	167
<i>Киричок В.С., Надточій А.А., Малиш А.І.</i> Прогнозування фізико-хімічних властивостей шлаків виробництва марганцевих феросплавів методом фізико-хімічного моделювання .....	174
<i>Kyrki Ville</i> Customer-oriented approach in the development of service robotics .....	177
<i>Колодяжна І.В., Букріна К.А.</i> Інноваційний розвиток як фактор ефективного функціонування підприємства в умовах COVID-19 .....	178
<i>Комеліна О.В., Жартовська В.О.</i> Управління розвитком кадрового потенціалу організації в умовах цифрової економіки .....	181
<i>Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Дейнеко Л.М., Пінчук В.Л., Столбовий В.О.</i> Зміцнення трубного інструменту шляхом проведення комбінованої обробки – іонного азотування з нанесенням зносостійких покриттів .....	186
<i>Ланцевич Д.С., Литвин А.В., Хомуненко Р.О., Водін І.Й.</i> Регулювання відновлення кремнію при отриманні феросилікомарганцю в потужних електропечах .....	200
<i>Levenets V.V., Gurin I.V., Ovchinnikova M.A., Gurina Ye.V.</i> СТ study of products from non-metallic composites reinforced by carbon fibers .....	204

Наукове видання

**IV Міжнародна конференція  
«Інноваційні технології в науці та освіті.  
Європейський досвід»  
6-8 грудня 2021 р., Гельсінкі, Фінляндія**

**МАТЕРІАЛИ**

*/статті, доповіді, тези доповідей, аналітичні матеріали/*

Українською, англійською, російською та болгарською мовами  
Відповідальні за випуск: Хохлова Т. С., Ступак Ю. О., Журавель В.П.  
Укладачі: Хохлова Т. С., Ступак Ю. О.  
Комп'ютерна верстка Ступак Ю. О.  
Технічний редактор Ступак Ю. О.

Здано на складання 02.12.21. Підписано до друку 14.12.21.  
Формат 60x84/8 Папір офсетний. Друк офсетний.  
Умовн. друк. арк. 25,80. Наклад 320 прим. Замовлення № 2312

ТОВ «Дніпровський освітній центр»  
49000, Україна, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 1/2

ПП Крос Принт  
св-во ДК №6103 від 22.03.2018 р.  
Тел.: (098) 268 01 55

**ISBN 978-617-7340-18-7**

**IV Міжнародна** конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (6-8 грудня 2021 р., Гельсінкі, Фінляндія): Матеріали. Упорядники: Хохлова Т.С., Ступак Ю.О. – Дніпро-Гельсінки, 2021. - 296 с.

Збірник містить доповіді у вигляді статей (66 доповідей), які надійшли до Оргкомітету IV Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» до 01 грудня 2021 р. та прийняті до опублікування.

**УДК 658.562.012.7**  
**ББК 30.607**