

УДК 669.017:621.73

**В. О. Столбовий**<sup>1</sup>, д.т.н., ORCID 0000-0001-7734-0642**Л. М. Дейнеко**<sup>2</sup>, проф., д.т.н., ORCID 0000-0002-1177-3055**В. Л. Пінчук**<sup>3</sup>, викладач-методист, ORCID 0000-0001-8257-9252**Л. С. Кривчик**<sup>3</sup>, Ph. D., ORCID 0000-0002-7769-3808**Т. С. Хохлова**<sup>2</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-6683-4572<sup>1</sup> Харківський фізико-технічний інститут НАН України<sup>2</sup> Український державний університет науки і технологій<sup>3</sup> Нікопольський фаховий коледж Українського державного університету науки і технологій

### ВИКОРИСТАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ТРУБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ ПРЕСУВАННЯМ З ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

**Анотація.** В Україні виробництво труб є однією з найбільш важливих галузей промисловості. Це нафтова, газова промисловість, харчова, хімічна, машинобудівельна, авіаційна, промисловість будівельних матеріалів. Особливо широко використовуються труби з високолегованих, корозійностійких сталей. Широке поширення одержав процес виробництва сталевих труб методом пресування на гідравлічних пресах. При пресуванні метал випробовує трьохстороннє стиснення, тому він проявляє високу пластичність, що особливо важливо для високолегованих сталей, які важко деформуються. На відміну від трубопрокатних установок, на пресах можна одержати труби з більш тонкою стінкою й меншого діаметра, особливо, коли на трубопресових установках застосовують редукційні й калібрувальні стани. Трубопресовий інструмент піддається інтенсивному зносу. За умовами експлуатації прес-голки і матриці відносяться до важко навантаженого інструменту, оскільки контактують з металом, що пресується. Можливість одержання при пресуванні високого коефіцієнта витяжки, обумовлена сприятливою схемою напруженого стану металу в процесі деформації, внаслідок чого метал зазнає великих ступенів деформації без руйнування. Однак для реалізації процесу пресування з великою величиною витяжки, необхідно додати великий тиск, регламентований опором металу пластичній деформації і величиною сили тертя на межі контакту деформованого металу з інструментом. Виробництво сталевих труб пресуванням здійснюють на трубопресових агрегатах з вертикальним механічним пресом (ВМП) або з гідравлічним горизонтальним пресом (ГП). Робочий інструмент трубопрофільних пресів працює в умовах високих температур, ударних і знакозмінних навантажень, значного питомого тиску, тому матеріал для виготовлення інструменту повинен мати підвищену міцність, в'язкість, теплостійкість. При пресуванні труб з високолегованих, корозійностійких сталей має місце низька стійкість трубного інструменту, що потребує частих переналадок обладнання і зупинок пресу. Звичайні технології термозміцнення (загартування з відпуском) не забезпечують достатніх

властивостей трубопресового інструменту. Тому пошук раціональних технологій термозміцнення і нанесення зносостійких мікроструктурних покриттів значно підвищує експлуатаційні властивості і ресурс роботи трубопресового інструменту, що підтверджено результатами промислових випробувань на діючих підприємствах України. Метою роботи є удосконалення зміцнюючих технологій трубного інструменту для пресування труб з високолегованих сталей, які важко деформуються, і дослідження закономірностей структуроутворення в металі основного трубопресового інструменту – матричних кілець для пресування труб на трубопресових установках та їх вплив на механічні властивості для підвищення якості і працездатності інструменту.

**Ключові слова:** Технологія, покриття, зміцнення, міцність, мікротвердість, інструментальні сталі.

**Посилання для цитування:** Використання зносостійких покриттів для зміцнення трубного інструменту для виробництва труб пресуванням з високолегованих сталей / В. О. Столбовий, Л. М. Дейнеко, В. Л. Пінчук, Л. С. Кривчик, Т. С. Хохлова // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2023. Вип. 37. С. 490-504. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-490-504>

**Стан питання.** При пресуванні метал випробує всебічне нерівномірне стиснення, що значно підвищує пластичність металу і дозволяє деформувати його без руйнування з дуже високими мірами обтиснення [1]. Тому пресування найбільш доцільно при виробництві труб з високолегованих, малопластичних, корозійностійких сталей і сплавів.

Умови експлуатації інструменту дуже впливає на його стійкість. У більшості випадків процес пресування не є плавним, ударні навантаження на інструмент вимагають від матеріалу інструменту високих меж ударної в'язкості, що важко поєднати з великою його твердістю. Ударні навантаження знижують стійкість пресового інструменту. Різде зняття тиску, якого можна уникнути, призводить до поломки інструменту. Тривале перебування інструменту в зоні високих температур (850 °C для міді і 1100 °C для сталі) різко знижує його стійкість. Тому при проектуванні необхідно домагатися зменшення часу пресування, а іноді передбачати зміну інструменту після кожного пресування [2].

У зв'язку зі зношуванням матриць і прес-головок, даний інструмент є змінним і передбачає вдосконалення даних конструкцій, використання сучасних засобів зміцнення, щоб збільшити продуктивність і зменшити витрати пресового інструменту [3].

Основною причиною інтенсивного зношування трубопресового інструменту є перегрів, внаслідок якого знижується міцність, що, у

свою чергу, веде до деформації. Зокрема, зношування матриці настає тоді, коли її температура при пресуванні перевищує температуру відпуску, що може призвести до її пластичної деформації [4].

Наведені позитивні особливості процесу пресування зумовили доцільність розширення виробництва труб на трубопрофільних пресах (рис. 1).

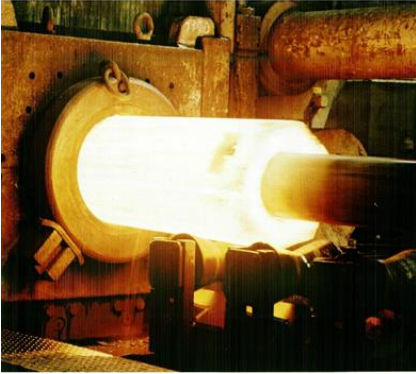


Рисунок 1 – Розташування пресу в трубопресовому цеху [6].

Основними дефектами матричних кілець являються розгарні тріщини в місці концентрації напружень, підрізи, термічні тріщини, утворені при нагріві в печі [5].

Ударне навантаження матричних кілець забезпечує появу тріщин в місці концентрації напружень і появи сітки розгарних тріщин, що в подальшому призводить до руйнування (рис. 2) [7].



Рисунок 2 – Розгарні тріщини на поверхні матричного кільця.

З урахуванням умов експлуатації матеріал матричних кілець повинен мати високу твердість, теплостійкість; в'язкість; високу розгарнестійкість; зносостійкість; жаростійкість; теплопровідність.

Тому для виготовлення інструменту для пресування найчастіше використовують інструментальні сталі мартенситного класу, леговані хромом, вольфрамом, молібденом: 3Х2В8Ф, 4ХВ2С, 4Х5МФ1С і 5Х3В3МФС (ДИ-23) (ДСТУ 3953-2000), які піддають термічній обробці.[8]

Технологічна схема обробки матричних кілець з штампових сталей [9]:

- 1) гаряча пластична деформація (штампівка);
- 2) відпал (для покращення обробки різанням);
- 3) механічна обробка (точіння на верстатах з ЧПК);
- 4) загартування й відпуск;
- 5) механічна обробка (плоскошліфувальна, круглошліфувальна, внутрішньошліфувальна, полірувальна операції).

Мета остаточної термічної обробки – одержання в готовому інструменті оптимальної комбінації основних властивостей: твердості, міцності, зносостійкості, в'язкості й теплостійкості [6]. Звичайна технологія термозміцнення – загартування для одержання високолегованого мартенситу і наступний двох- або трьохкратний відпуск, який викликає додаткове зміцнення внаслідок виділення з мартенситу карбідів хрому, молібдену, вольфраму, ванадію і перетворення залишкового аустеніту в мартенсит.

В роботі запропоновано новий високоефективний спосіб іонного модифікування поверхонь інструментальних сталей, а також покриттів в плазмі двоступеневого дугового розряду низького тиску.

Вакуумно-дуговий розряд використовується в промислових технологіях модифікування поверхні для отримання унікальних характеристик покриттів, що наносяться. В потоках плазми також містяться краплі розплавленого матеріалу катода [10].

Катодні плями, в яких щільність струму складає  $106 \text{ A/cm}^2$  при температурі до  $5000 \text{ }^\circ\text{C}$ , є джерелом плазми з матеріалу катода зі 100% ступенем іонізації. Це дозволяє за допомогою магнітного поля керувати напрямком і щільністю вказаних струменів [10-12].

При напуску в вакуумну камеру газів (азоту, кисню, сірководню, газів, що містять вуглець та ін.) на підложці синтезуються плівки, що складаються із з'єднань цих газів з матеріалами, які випаровуються. Регулюючи енергію іонів зміною негативного потенціалу на підложці, можна контролювати властивості покриттів, забезпечуючи необхідні фізико-механічні, антикорозійні, технологічні та інші характеристики [13-14].

**Мета роботи:** дослідження зміни механічних і трибологічних властивостей поверхні матричних кілець, а також їх структурного стану в результаті нанесення зносостійких мікроструктурних покриттів TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN.

**Матеріали та методики:** металографічний аналіз кілець і зразків з використанням мікроскопів НЕОРНОТ-32, МІМ-8, Axiovert 200 MAT; метод електронної мікроскопії з застосуванням електронного мікроскопа EM6G (прискорювальна напруга 100кВ) і растрового електронного мікроскопу РЕМ-106И; для вимірювання твердості в якості основного обладнання використовували прилад Роквелла з алмазним конусом при навантаженнях 1500 Н і 600 Н, а також з індентором – сталеву загартовану кулькою діаметром 1/16 "при навантаженні 1000 Н, твердість вимірювали також на приладах Віккерса (при навантаженні 10 Н) і ПМТ-3М (для вимірювання твердості мікрооб'ємів з різною структурою на металографічних шліфах); ударну в'язкість визначали на зразках з U-подібним надрізом на копрі МК-30 з максимальною силою удару 300 Дж.

Для визначення хімічного складу зразків сталі 4Х5МФ1С і 5Х3В3МФС було проведено спектральний аналіз досліджених зразків; було проведено рентгеноструктурний аналіз досліджуваних зразків сталі 4Х5МФ1С для визначення типу кристалічних ґраток включень та їх параметрів. Дифрактометричні дослідження проводилися на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2.0 в кобальтовому Со-Ка випромінюванні із застосуванням Fe- селективно поглинаючого фільтра [15].

Іонне азотування пресового інструменту (матричних кілець) в плазмі вакуумно-дугового розряду з послідовним нанесенням одношарових і багатшарових покриттів було виконано в лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ (м. Харків) (рис. 3).

Три кільця були встановлені в модернізовану вакуумно-дугову установку типу «Булат-6». Вакуумну камеру 1 відкачували до тиску  $P = 1,3 \cdot 10^{-3}$  Па.

При подачі на підкладку (4), 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 9. Тривалість процесу азотування залежить від необхідної товщини шару і температури підложки, в даному випадку час азотування – 1 година [17-19].

Після процесу азотування (відразу на гарячу деталь) проводиться осадження наноструктурного покриття TiN в єдиному технологічному циклі. Струм дугового розряду на катоді Ti 100 А. Відстань від катода до деталей 500 мм. Осадження покриттів здійснювалося при негативному потенціалі – 200 В (9) при безперервному обертанні обертального механізму. Тобто, в попередній проміжок часу

відбувалось азотування на глибину  $50 \div 60$  мкм за одну годину, а зверху наносилось наноструктурне вакуумно-дугове покриття TiZrN/NbN товщиною  $\sim 6-7$  мкм (1 година). При випробуванні на тертя знос вакуумно-дугових покриттів відбувається пошарово, що забезпечує збільшення їх стійкості в десятки разів. Найбільш широко використовують покриття з нітриду титану завдяки його високим фізико-механічним, антикорозійним, декоративним характеристикам, відносній дешевизні і нешкідливості у виробництві, а також універсальності. Широко використовують покриття TiZrN, яке має більші термостійкі властивості, більшу стійкість до окислення [20].

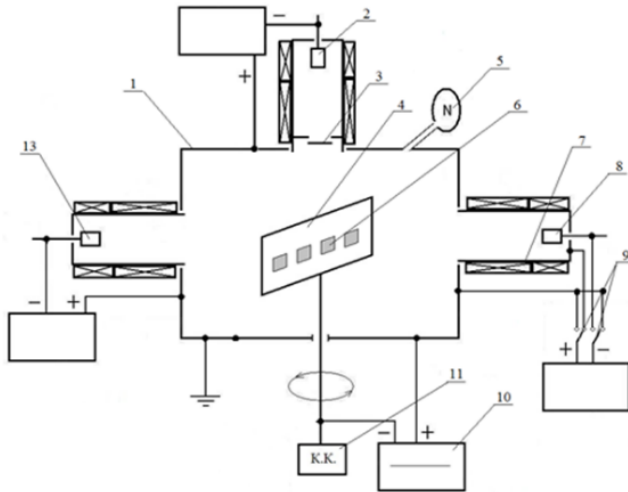


Рисунок 3 – Принципова схема вакуумно-дугової установки типу «БУЛАТ-6» для азотування з наступним нанесенням багатшарових покриттів [16]: 1 – вакуумна камера, 2 – вакуумно-дуговий випарник; 3 – металевий екран, 4 – екран тримач зразків, 5 – регулятор тиску азоту, 6 – зразки, 7 – корпус вакуумно-дугового випарника – анод для газового розряду, 8 – катод Nb, 9 – реле перемикавання, 10 – джерело постійної напруги, 11 – командоконтролер, 13 – катод TiZr.

Більш світлі шари ZrN в 1,5 рази товщі, ніж TiN, тобто швидкість осадження TiN нижче, ніж нітриду цирконію. При загальній товщині покриття близько 17 мкм (13 шарів нітриду титану і 13 шарів нітриду цирконію) товщина шарів нітриду цирконію складає близько 900 нм, а нітриду титану – 600 нм. При тому, що час осадження кожного з шарів був близько 300 секунд, швидкість осадження нітриду цирконію складала 3 нм/с, а нітриду титану – 2 нм/с. Тоді при мінімальному часі осадження 10 сек. товщина шарів нітриду цирконію складає близько 30 нм, а

нітриду титану близько 20 нм [21].

Рентгеноструктурні спектри багат шарових ZrN/TiN покриттів показані на рис. 4. На рис. 5 показані дані по твердості (H) і модуль пружності (E) багат шарових покриттів TiN/ZrN в залежності від кількості шарів (нанесених за один й той же проміжок часу) [22].

Збільшення кількості шарів в покритті призводить до збільшення міцності і твердості інструменту, оскільки міжшарові границі перешкоджають зсуву дислокацій і знижують пластичну деформацію [23].

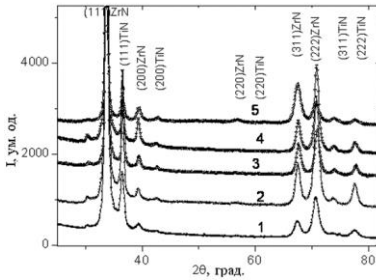


Рисунок 4 – Рентгеноструктурні спектри багат шарових ZrN/TiN покриттів [21].

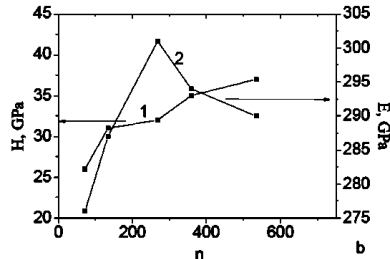


Рисунок 5 – Графік залежності твердості (1) і модуля пружності (2) від числа шарів в покриттях ZrN/TiN [21].

Мікροструктури кілець зі сталі 4X5MΦ1C після іонного азотування і нанесення покриття TiN і двошарового покриття TiN/ZrN показані на рисунку 6 і 7.

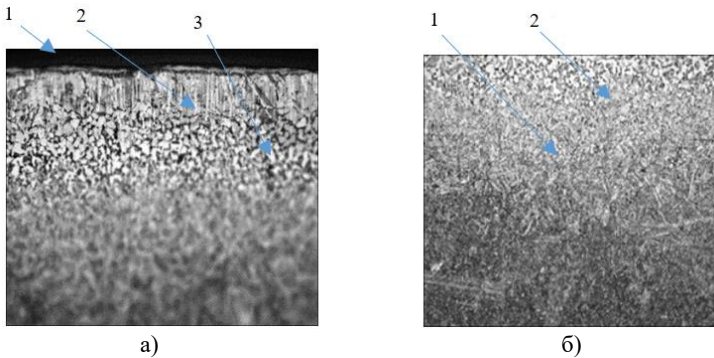


Рисунок 6 - Структури зразків сталі 4X5MΦ1C після іонного азотування і нанесення покриття TiN: а – x200 (поверхня: 1- покриття, 2- ε фаза Fe<sub>2-3</sub>N, 3- γ'-фаза (Fe<sub>4</sub>N)); б -x200 (перехідний шар: 1 – мартенсит відпуску, насичений азотом, 2 – нітриди хрому, молібдену, ванадію).

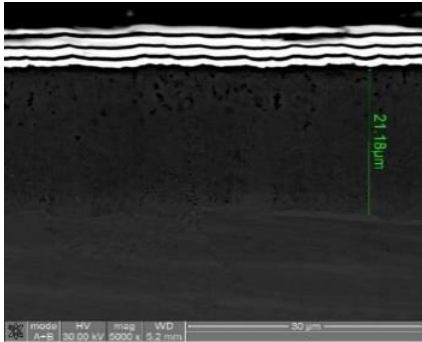


Рисунок 7 – Структури зразків сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення багатшарового покриття при електронному дослідженні, x 5000, [21].

**Результати.** Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення покриття TiN наведені в табл. 1, а зміна твердості інструментальної сталі після іонного азотування і нанесення покриття TiN в залежності від глибини визначення твердості – на рис. 8. Твердість на поверхні покриття сягає  $23000 \div 25000$  МПа.

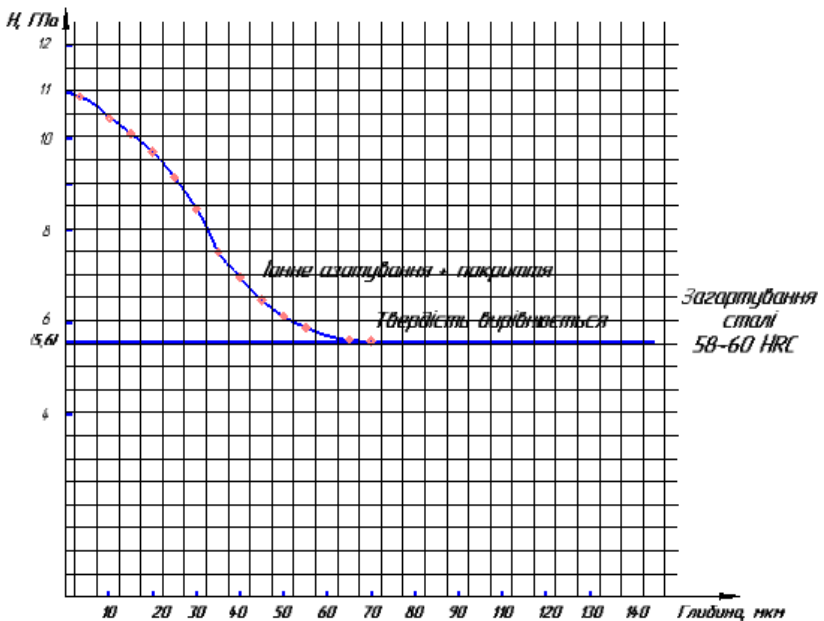


Рисунок 8 – Зміна твердості інструментальної сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення зносостійкого покриття в залежності від глибини визначення твердості [12].



Таблиця 1 – Результати заміру мікротвердості зразків сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення покриття TiN (значення мікротвердості на поверхні покриття 23000 – 25000 МПа) [11].

№ зразків	Зона відстань від поверхні мкм	Діаметр відбітка, мкм	Середній діаметр відбітка, 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	5040	504
20	центр	20	20,196	100	4994		

Проведення комбінованої обробки матричних кілець, що включає азотування з наступним осадженням керамічних покриттів в єдиному технологічному процесі з 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 5ХЗВЗМФС (ДІ-23) після звичайного термозміцнення складає 4 – 6 пресувань, 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 пресувань, внаслідок більш високої твердості, теплостійкості, утворення особливої структури на поверхні внаслідок проведення іонного азотування і нанесення зносостійкого покриття TiN, TiZrN/ NbN та ін.

Досягнення такого ефекту стало можливим завдяки формуванню на поверхні складних багатозафазових композицій на основі хімічних з'єднань атомів азоту з залізом і легуючими елементами [22].

### Висновки

Результати впровадження на ведучих трубних підприємствах України ТОВ «ВО ОСКАР» і «ПрАТ Сентравіс Продакшн Юкрейн» технології комбінованої обробки - іонного азотування і наступного осадження зносостійких покриттів TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN на робочі поверхні матричних кілець, дозволили отримати значний економічний ефект за рахунок зниження витрат на інструмент, скоротити недоліки виробництва за рахунок зменшення кількості переналадок обладнання і збільшити продуктивність праці при пресуванні корозійностійких труб і труб з високолегованих сталей, при цьому стійкість інструменту підвищилась в 1,5 – 2,5 рази.

### Перелік посилань

1. Інструмент для пресування труб / В. С. Мельник, С. Ф. Сабол, Ю. П. Бородій, А. В. Кліско // *Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція «Машинобудування»*, 2010. С. 51-52.
2. Друян В. М., Гуляєв Ю. Г., Чукмасов С. О. *Теорія та технологія трубного виробництва*: підручник. Дніпро: VAL, 2000. 587 с.
3. Кузьмич В. О., Косенко В. М., Бузенко Л. В. *Технологія виробництва сталевих труб методом гарячого пресування*: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 224 с.
4. Дослідження структури і властивостей штампових сталей для виготовлення трубного інструменту після проведення зміцнюючої термічної і хіміко-термічної обробки і нанесення зносостійких покриттів / Л. С. Кривчик, Т. С. Хохлова, В. Л. Пінчук, Л. М. Дейнеко, В. О. Столбовий // *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2021. № 2, С. 71-88.

5. Використання хіміко-термічної обробки з метою зміцнення трубного інструменту для виробництва нержавіючих труб / Л. С. Кривчик, Т. С. Хохлова, В. Л. Пінчук, В. О. Столбовий, М. В. Могиленець, К. О. Думенко // *Металургійна і гірничорудна промисловість*. 2020. № 4, С. 52-71.

6. Особливості виробництва труб пресуванням. Шляхи підвищення стійкості трубопресового інструменту / Л. С. Кривчик, Т. С. Хохлова, Д. Н. Цеханський, В. Л. Пінчук // *XIII-а Всеукраїнська конференція «Молоді вчені 2023 – від теорії до практики»*, Дніпро, 23 березня 2023 р.

7. 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.

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

9. Зміцнення трубного інструменту шляхом проведення комбінованої обробки – іонного азотування з нанесенням зносостійких покриттів / Л. С. Кривчик, В. Л. Пінчук, Т. С. Хохлова, В. О. Столбовий, Л. М. Дейнеко // *IV Міжнародній конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»*, Гельсінкі, Фінляндія. Листопад 2021 р.

10. Зміцнення інструменту для холодної роликвої прокатки корозійностійких труб шляхом проведення хіміко-термічної обробки і нанесення зносостійких покриттів / Л. С. Кривчик, В. Л. Пінчук, Т. С. Хохлова, В. О. Столбовий // *XVI-а міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті»*, Болгарія, Технічний університет, м. Варна, 31 травня – 03 червня 2021 р. С. 88-95

11. 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

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

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

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

15. Лахтин Ю. М., Крымский Ю. Н. Физические процессы при ионном азотировании. *Защитные покрытия на металлах*. 1968. Вып. 2. С. 225-229.

16. Andrea Szilagyine Biro. Trends of nitriding processes. *Production Processes and Systems*. 2013. Vol. 6. №1. P. 57-66.

17. Research on hollow cathode effect and edge effect avoidance in plasma nitriding treatment / Axinte M., Nejneru C., Perju M. C., Cimpoeșu N., Hopulele I. // *Tehnomus New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*. No. 18, Suceava, 2011, P. 181-184.

18. Yao S. H. Evaluation of TiN/AlN nano-multilayer coatings on drills used for micro-drilling. *Surface and Coatings Technology*. 2005. Vol. 197. P. 351-357.

19. Двухступенчатый вакуумно-дуговой разряд: характеристики и методы создания / Л. П. Саблев, Н. С. Ломино, Р. И. Ступак, А. А. Андреев, А. А. Чикрыжов // *Сб. докл. 6-й Межд. конф. «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов»*. Харьков, 2005. Ч. 2. С. 159-169.

20. Картамазов Г. Н., Андреев А. А. Формирование нанослойных TiN<sub>x</sub>-CrN<sub>x</sub>-покрытий методом вакуумно-дугового осаждения. *Сб. докл. Харьковской нанотехнологической ассамблеи «Нанотехнологии-2008»*. Харьков : ННЦ ХФТИ, 2008. С. 226-238.

21. Столбовий В. О. Фізико-технологічні основи формування багатопшарових наноструктурних вакуумно-дугових покриттів на основі нітридів тугоплавких металів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра тех. наук: 01.04.07. Харків, 2021, 36 с.

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

23. Куликов І. В. Вплив технологічних факторів на якість труб, отриманих методом гарячого пресування : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01. Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Х., 2011. 197 с.

## References

1. Melnyk, V. S., Sabol, S. F., Borodii, Y. P., & Klisko, A. V. (2010). A tool for pressing pipes. *Abstracts of reports of the university-wide scientific and technical conference of young scientists and students dedicated to Science Day. Section "Mechanical Engineering"*, 51-52

2. Druyan, V. M., Gulyaev, Y. G., & Chukmasov, S. O. (2000). Theory and technology of pipe production: a textbook. VAL

3. Kuzmich, V. O., Kosenko, V. M., & Buzenko, L. V. (2011). Technology of production of steel pipes by the method of hot pressing: a textbook. NTUU "KPI"

4. Kryvchyk, L. S., Khokhlova, T. S., Pinchuk, V. L., Deineko, L. M., & Stolbovy, V. O. (2021). Study of the structure and properties of die steels for the manufacture of pipe tools after strengthening thermal and chemical-thermal treatment and application of wear-resistant coatings, *Metallurgical and mining industry*, (2), 71-88

5. Kryvchyk, L. S., Khokhlova, T. S., Pinchuk, V. L., Stolbovy, V. O., Mogilenets, M. V., & Dumenko, K. O. (2020). The use of chemical and thermal treatment for the purpose of strengthening the pipe tool for the production of stainless pipes. *Metallurgical and mining industry*, (4), 52-71

6. Kryvchyk, L. S., Khokhlova, T. S., Tsekhanskyi, D. N., & Pinchuk, V. L. (2023). Peculiarities of pipe production by pressing. Ways to increase the stability of the tube press tool. *XIII All-Ukrainian conference "Young scientists 2023 - from theory to practice"*. Dnipro, March 23, 2023.

7. Kryvchyk, L. S., & Khokhlova, T. S. (2019). The use of chemical and thermal treatment to improve the operational properties of the pipe press tool. *Materials of the All-Ukrainian Conference "Youth and Science. The practice of innovative search"* National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, December 18, 2019, 72-76

8. Kryvchyk, L. S., Pinchuk, V. L., & Khokhlova, T. S. (2021). Ways of strengthening the pipe press tool for the production of corrosion-resistant pipes in order to improve its operational characteristics. *V International International Practical Conference THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS*. Rome. Italy. November 7-8, 2021, 349-371

9. Kryvchyk, L. S., Pinchuk, V. L., Khokhlova, T. S., Stolbovy, V. O., & Deineko, L. M. (2021). Strengthening of pipe tools by carrying out combined processing - ion nitriding with application of wear-resistant coatings. *IV International Conference "Innovative technologies in science and education. European experience"*, Helsinki, Finland. November 2021

10. Kryvchyk, L. S., Pinchuk, V. L., Khokhlova, T. S., & Stolbovyi, V. O. (2021). Strengthening of the tool for cold roller rolling of corrosion-resistant pipes by chemical-thermal treatment and application of wear-resistant coatings. *XVI international conference "Quality strategy in industry and education"*, Bulgaria Technical University of Varna, May 31 - June 03 2021, 88 -95

11. Kryvchyk, L. S., Pinchuk, V. L., & Khokhlova, T. S. (2020). The choice of strengthening technology of the pipe press tool for the production of stainless pipes. *VIII International scientific and practical conference "Modern problems in science"*, Prague, Czech Republic, November 9-12, 2020, 699-707

12. Kryvchyk, L. S., Khokhlova, T. S., Pinchuk, V. L., & Karpova, T. P. (2019). A tool for pressing stainless pipes and its heat treatment technology. *Proceedings of the 3rd International Conference "Innovative Technologies in Science and Education. European experience"*, Netherlands, Amsterdam, November 12-14, 2019, 252-258

13. Lomino, S., Ovcharenko, V. D., Polyakova, G. N., Andreev, A. A., & Shulaev, A. M. (2002). Interelectrode plasma of a vacuum arc in a nitrogen atmosphere. *Sat. acc. 5th International of the symposium "Vacuum technologies and systems"*, ISVTE-5, Kharkiv, 202-222

14. Brading, H. J., Morton, P. H., & Earweaker, G. (1992). Plasma-nitriding with nitrogen, hydrogen and argon gasmixtures: Structure and composition of coating. *Surf. Eng.*, 8(3), 206-211

15. Lakhtin, Yu. M., & Krymsky, Yu. N. (1968). *Physical processes during ion nitriding. Protective coatings on metals*, 2, 225-229

16. Biro, A. S. (2013). Trends of nitriding processes. *Production Processes and Systems*, 6(1), 57-66

17. Axinte, M., Nejneru, C., Perju, M. C., Cimpoeșu, N., & Hopulele, I. (2011). Research on hollow cathode effect and edge effect avoidance in plasma nitriding treatment. *Tehnomus New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*, (18), Suceava, 181-184

18. Yao, S. H. (2005). Evaluation of TiN/AlN nano-multilayer coatings on drills

used for micro- drilling. *Surface and Coatings Technology*, 197, 351-357

19. Sablev, L. P., Lomino, N. S., Stupak, R. Y., Andreev, A. A., & Chikryzhov, A. A. (2005). Two-stage vacuum-arc discharge: characteristics and methods of creation. *Sat. acc. 6th International conf. "Equipment and technologies of heat treatment of metals and alloys"*. Kharkov. Part 2, 159-169

20. Kartmazov, G. N., & Andreev, A. A. (2008). Formation of TiNx-CrNx-coated nanolayers by vacuum-arc deposition method. *Sat. acc. Kharkov nanotechnological assembly "Nanotechnologies-2008"*. National Center of Khftly. P. 226-238

21. Stolbovy, V. O. (2021). Physico-technological foundations of the formation of multilayer nanostructured vacuum-arc coatings based on nitrides of refractory metals: autoref. thesis for obtaining sciences. degree of Dr. Tech. Sciences: 01.04.07. Kharkiv

22. Kryvchyk, L. S., Khokhlova, T. S., Pinchuk, V. L., Deineko, L. M., & Stolbovy, V. O. (2022). Strengthening the pipe press tool for the production of corrosion-resistant pipes by applying wear-resistant nanocoatings. *Collection of scientific works "Nanosystems, nanotechnologies and nanomaterials"*, Institute of Metallophysics named after G.V. Kurdyumov of the National Academy of Sciences of Ukraine, 20(3), 693-714

23. Kulikov, I. V. (2011). Influence of technological factors on the quality of pipes obtained by the method of hot pressing: dissertation. ... candidate technical Sciences: 05.16.01. Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko

**V. O. Stolbovy**<sup>1</sup>, D. Sc. (Tech.), ORCID 0000-0001-7734- 0642

**L. M. Deineko**<sup>2</sup>, D. Sc. (Tech.), Professor, ORCID 0000-0002-1177-3055

**V. L. Pinchuk**<sup>3</sup>, Teacher-methodist, ORCID 0000-0001-8257-9252

**L. S. Kryvchyk**<sup>3</sup>, Ph. D. (Tech.), ORCID 0000-0002-7769-3808

**T. S. Khokhlova**<sup>2</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-6683-4572

<sup>1</sup> *Kharkiv Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Ukraine*

<sup>2</sup> *Ukrainian State University of Science and Technology*

<sup>3</sup> *Nikopol Vocational College of Ukrainian State University of Science and Technology*

## **USE OF WEAR-RESISTANT COATINGS FOR STRENGTHENING PIPE TOOLS FOR THE PRODUCTION OF PIPES BY PRESSING FROM HIGH ALLOY STEEL**

**Abstract.** In Ukraine, the production of pipes is one of the most important branches of industry. These are the oil, gas, food, chemical, machine-building, aviation, and construction materials industries. Pipes made of highly alloyed, corrosion-resistant steels are especially widely used. The process of producing steel pipes by pressing on hydraulic presses has become widespread. When pressed, the metal undergoes three-way compression, so it exhibits high plasticity, which is especially important for highly alloyed steels that are difficult to deform. In contrast to pipe rolling plants, it is possible to obtain pipes with a thinner wall and smaller diameter on presses,

especially when reducing and calibrating mills are used on pipe pressing plants. The tube press tool is subject to intensive wear. According to the conditions of operation, press needles and matrices belong to a heavily loaded tool, since they are in contact with the metal being pressed. The possibility of obtaining a high coefficient of extraction during pressing is due to a favorable scheme of the stressed state of the metal in the process of deformation, as a result of which the metal undergoes large degrees of deformation without destruction. However, to implement the pressing process with a large amount of extraction, it is necessary to add a large pressure, regulated by the resistance of the metal to plastic deformation and the amount of friction force at the contact boundary of the deformed metal with the tool. Production of steel pipes by pressing is carried out on pipe press units with a vertical mechanical press (VMP) or with a hydraulic horizontal press (HGP). The working tool of pipe-profile presses works in conditions of high temperatures, impact and sign-changing loads, significant specific pressure, therefore the material for making the tool must have increased strength, viscosity, and heat resistance. When pressing pipes made of highly alloyed, corrosion-resistant steels, there is a low stability of the pipe tool, which requires frequent adjustments of the equipment and stops of the press. Conventional thermosetting technologies (hardening with tempering) do not provide sufficient properties of the pipe press tool. Therefore, the search for rational technologies of thermal strengthening and application of wear-resistant microstructural coatings significantly increases the operational properties and service life of the pipe press tool, which is confirmed by the results of industrial tests at the operating enterprises of Ukraine. The purpose of the work is to improve the strengthening technologies of the pipe tool for pressing pipes made of high-alloy steels, which are difficult to deform, and to study the patterns of structure formation in the metal of the main pipe press tool - matrix rings for pressing pipes on pipe press installations and their effect on the mechanical properties to improve the quality and performance of the tool.

**Key words:** Technology, coating, hardening, strength, microhardness, tool steels.

**For citation:** Stolbovy, V. O., Deineko, L. M., Pinchuk, V. L., Kryvchyk, L. S., & Khokhlova, T. S. (2023). Use of wear-resistant coatings for strengthening pipe tools for the production of pipes by pressing from high alloy steel. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 37, 490-504. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-490-504>

*Стаття надійшла до редакції збірника 13.10.2023 р.  
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 9 від 19.12.2023 р.)*