

АНОТАЦІЯ

Кривчик Лілія Сергіївна. Розробка параметрів зміцнюючих технологій трубного інструменту для виробництва гарячепресованих і холоднодеформованих труб. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Дисертацію присвячено розробці зміцнюючих технологій інструменту для виробництва гарячепресованих і холоднодеформованих корозійностійких труб. Умови праці 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; нанесення зносостійких покриттів і покриттів аморфних сплавів на робочу поверхню інструменту.

Одним із основних напрямків сучасного матеріалознавства та термічної обробки є створення інструментальних матеріалів з більш високим комплексом властивостей та розробка нових зміцнювальних покриттів для ефективного застосування їх для виготовлення інструменту.

В роботі розроблені способи проведення зміцнюючих технологій об'ємного загартування з багаторазовим відпуском і азотуванням інструменту та нанесенням багат шарових вакуумно-дугових покриттів TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN, TiN/CrN на азотовані штампові сталі 4X5MФ1С, 5X3В3МФС для виготовлення матричних кілець, голок-оправок трубопрофільних пресів, а також роликів, опорних планок і оправок станів ХПТР при суттєвому

скороченні часу отримання дифузійних шарів робочої товщини.

Ці нові методики замість існуючих дозволяють суттєво підвищити міцність, зносостійкість, витривалість, опір крихкому руйнуванню, поверхневу твердість інструменту.

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. Використання сучасних видів ХТО значно прискорює дифузійні процеси, дозволяє отримати дифузійний шар регульованого складу і необхідної будови; характеризується незначними деформаціями виробів і високим класом чистоти поверхні, має велику економічність, підвищує коефіцієнт використання електроенергії, скорочує витрату насичуючих газів; відповідає вимогам щодо захисту навколишнього середовища.

Головні переваги хіміко-термічної обробки пов'язані з можливістю ефективно змінювати властивості поверхневого шару шляхом варіювання хімічного складу, створенням прогнозованого поєднання властивостей поверхні виробу та серцевини.

При розробці ефективних технологій ХТО сталей слід враховувати як необхідність забезпечення заданих властивостей поверхні, так і можливість економії дорогих і рідкісних легуючих елементів.

Наукове значення роботи полягає також в отриманні нових результатів, які розширюють уявлення про характер структуроутворення в матеріалі поверхневих шарів напівтеплостійких вториннотвердіючих штампових сталей 4X5MФ1С та 5X3B3MФС. В роботі 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 $Fe_{2-3}N$ (ϵ -фаза), Fe_4N (γ' -фаза) та

аустеніт, насичений азотом. Це дозволяє підняти рівень зміцнення поверхні інструменту до $H_{\mu}=8000-12000$ МПа та експлуатаційної стійкості у 1,5 – 2 рази. Така комбінована обробка проводиться вперше для трубного інструменту і захищена патентом № 151611 «Спосіб термічної обробки виробів з легованих інструментальних сталей».

В роботі також запропоновано нанесення одношарових і багатошарових вакуумно-дугових покриттів TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN, TiN/CrN на леговані штампові сталі з використанням вакуумно-дугового розряду низького тиску в єдиному технологічному процесі, що значно підвищує механічні властивості, твердість поверхні трубного інструменту зростає до $23000 \div 25000$ МПа, що дозволяє збільшити ресурс його роботи в 1,5 – 2,5 рази.

В дисертаційній роботі запропоновано проведення для трубопресового інструменту карбонітрації, коли в поверхневому шарі утворюються карбонітридні фази, більш пластичні і менш крихкі, ніж при азотуванні. Процес має беззаперечні переваги в порівнянні з іншими процесами зміцнення поверхні. Перевагою даної технології є висока швидкість дифузії, рівномірність нагріву і насичення в розплаві солей, що призводить до збільшення зносостійкості і корозійної стійкості поверхні, зниження коефіцієнту тертя в 1,5 – 5 разів, підвищується працездатність інструменту, що працює з циклічними навантаженнями, за рахунок створення стискаючих напруг на поверхні; після карбонітрації на поверхні інструменту формується зміцнений шар, що складається з декількох зон (верхній шар являє собою твердий розчин з включеннями ϵ - карбонітриду типу $Fe_3(NC)$, під яким розташовується зона γ' - фази типу $Fe_4(NC)$, під якою знаходиться дифузійна зона (гетерофазний шар), яка складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітридних фаз, твердість якої значно вища твердості серцевини. Така обробка трубопресового інструменту проводиться вперше і захищена патентом № 146692 «Спосіб хіміко-термічної обробки трубопресового інструменту з інструментальної сталі».

На підставі експериментальних досліджень в роботі доведено доцільність нанесення порошку аморфного сплаву на основі заліза, нікелю, кремнію та бору, що дозволило забезпечити високу твердість і зносостійкість поверхні матричних кілець, роликів, опорних планок. Така обробка трубного інструменту проводиться вперше і захищена патентом № 148695 «Спосіб зміцнення трубопресового інструменту з інструментальної сталі».

В роботі запропоновано використати для виготовлення опорних планок і роликів станів ХПТР для холодної прокатки особливотонкостінних корозійностійких труб замість сталі 60С2ХФА сталь 4Х5МФ1С, яка має більш високі експлуатаційні властивості після загартування з відпуском, з наступною ХТО (іонне азотування в плазмі ДВДР з нанесенням зносостійких покриттів), що підвищує стійкість роботи інструменту, зменшує простої станів ХПТР, пов'язаних з заміною інструменту.

Проведені реальні дослідження в виробничих умовах зі зміцнення трубопресового інструмента (матричних кілець і голок-оправок) при різних температурних режимах загартування з використанням в якості гартувального середовища замість масла - водного розчину полімерного середовища Aqua-Quench 400, яке успішно використовується, як замінювач масла для загартування інструментів. Розглянуто вплив температури загартування і відпуску на властивості інструменту і запропоновано оптимальний режим загартування з багатократними відпуском та азотуванням для забезпечення необхідних властивостей трубного інструменту.

В роботі побудовано математичну модель розподілу мікротвердості дифузійної зони в поверхневих шарах інструменту після різних видів хіміко-термічної обробки, яка є наслідком адитивного накладання закономірностей кінетики температурних полів, дифузійних потоків та фазових перетворень і вказує на те, що дифузійне насичення йде з поверхні виробу з утворенням в поверхневому шарі фаз з максимальною твердістю.

Результати впровадження на ТОВ «ВО ОСКАР» і «ПрАТ Сентравіс Продакшн Юкрейн» технологій об'ємного зміцнення інструменту з

багаторазовим відпуском та азотуванням, карбонітрації трубного інструменту і наступного нанесення покриттів аморфних сплавів на основі Fe-C-Si-B і зносостійких покриттів TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN на робочі поверхні інструменту, дозволили отримати значний економічний ефект, за рахунок зниження витрат на інструмент, скоротити недоліки виробництва, за рахунок зменшення кількості переналадок обладнання, в результаті – збільшити продуктивність праці при пресуванні і прокатці на станах ХПТР корозійностійких труб, при цьому підвищити стійкість інструменту в 1,5 –2,5 рази.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в освітній процес дисциплін «Основи теорії і практики термічної обробки металів», «Особливості технологічних процесів термічної обробки металів», «Інженерія поверхні металовиробів» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» ННІ ШБТ УДУНТ.

Розраховано економічний ефект від впровадження запропонованих технологій, який становить 424,5 тис. грн.

Ключові слова: інструментальні сталі, азотований шар, іонне азотування, карбонітрація, мартенсит, покриття, зносостійкість, міцність, мікротвердість.

Публікації, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Kryvchuk L., Pinchuk V.L., Khokhlova T.S., Ivanov I.V., Mohylenets M.V., Dumenko K.A., Article title. Journal of Engineering Sciences. THE CARBONITRATION OF THE TOOL FOR THE STAINLESS STEEL PIPES PRESSING. 2020. Vol.7(1). P. 1–5, doi:10.21272/jes.2020.7(1).e1.

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

3. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Головачов А.М., Сребрянський Г.О., Носенко В.К., Загородній О.Б. Зміцнення трубного

інструменту для холодної роликової прокатки корозійностійких труб нанесенням покриттів аморфних сплавів. Науково-технічний журнал «Вопросы атомной науки и техники» ХФТІ. 2021. №5. С. 131-138, (SCOPUS), doi:org /10.46813/ 2021-135-131.

4. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Столбовий В.О., Сребрянський Г.О. Зміцнення інструменту для холодної роликової прокатки корозійностійких труб за допомогою сучасних видів хіміко-термічної обробки, Науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів». 2022. №4, С.40-47.

5. 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.

6. 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.

7. Кривчик Л.С., Романова Н.С. Зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб за допомогою хіміко-термічної обробки. Побудова математичної моделі розподілу мікротвердості дифузійної зони в поверхневих шарах інструменту після різних видів хіміко-термічної обробки, *Науково-технічний журнал «Металознавство та термічна обробка металів»*, Придніпровська державна Академія будівництва і архітектури. 2022. №3, С. 42-59.

Отримано патенти за темою дисертації:

1. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л. 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.

2. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Могиленець М.В., Думенко К.О. Спосіб хіміко-термічної обробки трубопресового інструменту з інструментальної сталі: пат. 146692 Україна: МПК С21D 9/22, С23С 8/00; заяв. 16.10.2020 р., опубл. 11.03.2021 р.

3. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Срібрянський Г.О., Загородній О.Б. Спосіб зміцнення трубопресового інструменту з інструментальної сталі: пат. 148695 Україна: МПК С21D 1/00, С23С 8/72, С23С 4/134, С21D 9/08; заяв. 09.09.2021 р., опубл. 19.02.2021 р.

4. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Столбовий В.О., Думенко К.О., Перчун Г.І. Спосіб термічної обробки виробів з легованих інструментальних сталей: пат. 151611 Україна: МПК С21D 9/22, С23С 8/24; заяв. 14.04.2022 р., опубл. 18.08.2022 р.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Основні результати роботи викладені:

1. 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.

2. 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.

3. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Срібрянський 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

4. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л. Шляхи термозміцнення трубопресового інструменту для виробництва нержавіючих 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.

5. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., студенти НТ НМетАУ Подгібалов О., Юрков М. Методи зміцнення трубопресового інструменту // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції для творчої молоді України Маріуполь, 26 квітня 2020 р.

6. 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

7. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С. Використання хіміко-термічної обробки з метою покращення експлуатаційних властивостей інструмента для пресування нержавіючих труб // XI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасний рух науки» м. Дніпро. 8-9 жовтня 2020 р., С. 347-353

8. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. Зміцнення трубопресового інструменту карбонітрацією. Переваги процесу в порівнянні з газовим азотуванням // II Всеукраїнська конференція «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку», 18 грудня 2020 р. С. 88-97

9. Пінчук В.Л., Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Сребрянський Г.О. Зміцнення матричних кілець горизонтального трубопрофільного пресу для виробництва нержавіючих труб шляхом нанесення нанопокриттів аморфних сплавів // XII-й міжнародній конференції «Молоді вчені 2021 – від теорії до практики» Національна металургійна академія України, м. Дніпро. 25 березня 2021 р., С. 65-73

10. 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

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

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

13. 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

14. 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

15. 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 Scientificand Practical Conference INTERNATIONAL FORUM: PROBLEMS AND SCIENTIFIC SOLUTIONS Australia. Melbourne, February 6-8, 2022 С. 583-597

16. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Дейнеко Л.М., Пінчук В.Л.,

Сребрянський Г.О. Зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб шляхом нанесення покриттів зносостійких аморфних сплавів» XIII International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic research, innovation and results», Prague, Czech Republic. 05-08 April 2022, С. 736-748

17. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Родін Д., Акчурін О., Сахно Д. Удосконалення технології термозміцнення трубного інструменту для виробництва корозійностійких труб з метою покращення його експлуатаційних характеристик» // Всеукраїнська науково-практична конференція «Інтеграція науки, суспільства, виробництва та промисловості: проблеми та перспективи розвитку» серед педагогічних працівників та здобувачів освіти закладів фахової передвищої освіти», м. Кривий Ріг, 17-18 лютого 2022 р.

18. Кривчик Л.С. Зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб шляхом нанесення зносостійких покриттів» // Конференція «Інформаційні технології в галузі», м. Кривий Ріг, 17.03.2022 р., ВСП «КТФК УДУНТ».

19. 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

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., Пінчук В.Л., студенти гр. ОТ-19 ВСП «Нікопольський фаховий коледж УДУНТ» Бушева А.П., Пендюков П.Д., Харченко К.В. Науково-дослідна робота «Зміцнення трубного інструменту для

виробництва гарячепресованих і холоднодеформованих корозійностійких труб» (секція – «експериментальні технології»), обласний конкурс науково-пошукових робіт здобувачів освіти «STEM - підхід до прогресивних технологій» на базі ВСП «Криворізький технічний фаховий коледж УДУНТ», грудень 2022 р.

22. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С. Зміцнення трубного інструменту для виробництва гарячепресованих і холоднодеформованих корозійностійких труб, Конкурсна робота на отримання Премії НАН України, грудень 2022 р.

23. Кривчик Л.С. « Карбонітрація – засіб зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб з метою покращення його експлуатаційних характеристик», обласна науково-методична онлайн-конференція « Інноваційні технології в галузі» на базі ВСП «Криворізький технічний фаховий коледж УДУНТ». 26 січня 2023 р.

24. 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.

25. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Андрусенко Л.С., студенти гр. ОТ-20 ВСП «Нікопольський фаховий коледж УДУНТ» Запаснюк В., Шевченко Р. Науково-дослідна робота Удосконалення технології термічної обробки голки трубопрофільного преса зусиллям 44 МН для пресування корозійностійких труб в умовах «ПрАТ Сентравіс Продакшн Юкрейн», Міжрегіональна науково – творча очно-заочна конференція «Україна єдина – творчість молодих», 16 березня 2023 р.

26. 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.

SUMMARY

Lilia Kryvchyk Development of parameters of strengthening technologies of pipe tools for the production of hot-pressed and cold-deformed pipes. - Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy PhD in specialty 132 - "Materials Science". - Ukrainian State University of Science and Technology. - Dnipro, 2023.

The dissertation is devoted to the development of tool strengthening technologies for the production of hot-pressed and cold-formed corrosion-resistant pipes. The working conditions of this tool consist of variable loads, high temperatures, intensive dynamic loads, significant wear in conditions of friction and high specific pressure. The expediency of increasing the wear resistance of the pipe tool is due to the need to increase its operational stability and consists in establishing the regularities of the formation of the structure and properties of the experimental metal due to the use of developed rational modes of thermal and chemical-thermal treatment; application of wear-resistant coatings and amorphous alloys on the working surface of the tool.

In the work, the methods of carrying out strengthening technologies of volumetric hardening with repeated tempering and nitriding of the tool and application of multilayer vacuum-arc coatings TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN, TiN/CrN on nitrided stamp steels X40CrMoV5-1-1, 30WCrV17-2 for the production of matrix rings, needles are developed - mandrels of pipe-profile presses, as well as rollers, support bars and mandrels of KPTR machines with a significant reduction in the time of obtaining diffusion layers of the working thickness.

These new methods, instead of the existing ones, will allow to significantly increase the strength, wear resistance, durability, resistance to brittle destruction, surface hardness of the tool.

Chemical-thermal treatment is one of the most effective methods of increasing the durability and reliability of tools. This is primarily determined by the fact that

the chemical composition, structure, and properties of the surface layers of the metal change during HRT, precisely those in which the maximum stresses are concentrated during operation, cracks originate and develop, wear and corrosion cracking processes occur..

The use of modern types of HTO significantly accelerates diffusion processes, allows you to obtain a diffusion layer of adjustable composition and required structure; it is characterized by minor deformations of products and a high class of surface cleanliness, has great economy, increases the coefficient of electricity use, reduces the consumption of saturating gases; meets the requirements for environmental protection.

One of the main directions of modern materials science and heat treatment is the creation of tool materials with a higher complex of properties and the development of new strengthening coatings for their effective use in the manufacture of tools.

The main advantages of HTO are related to the ability to effectively change the properties of the surface layer by varying the chemical composition, creating a predictable combination of properties of the surface of the product and the core.

In the development of effective technologies of HTO of steels, one should take into account both the need to ensure the given surface properties and the possibility of saving expensive and rare alloying elements.

The scientific value of the work also lies in obtaining new results that expand the understanding of the nature of structure formation in the material of the surface layers of semi-heat-resistant secondary hardening stamping steels X40CrMoV5-1-1 and 30WCrV17-2.

Due to ionic nitriding of the hardened and twice tempered metal of the tube tool in the gas plasma of the arc discharge, a solid solution structure is formed in the surface layer, in which there are nitrides Fe_{2-3}N (ϵ -phase), Fe_4N (γ' -phase) and austenite saturated with nitrogen. This allows to raise the level of strengthening of the surface of the tool to $H=8000 - 12000$ MPa and operational stability by 1,5 – 2 times. Such combined treatment is carried out for the first time for a pipe tool and is

protected by patent No. 151611 "Method of heat treatment of products made of alloyed tool steels".

The paper also shows that the application of single-layer and multi-layer vacuum-arc coatings TiN, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN, TiN/CrN on alloyed stamp steels using a low-pressure vacuum-arc discharge in a single technological process significantly increases the mechanical and tribological properties of the surface pipe tool up to 23000-25000 MPa, which will increase its service life by 1,5 – 2,5 times.

The thesis shows the effectiveness of carbonitriding for a pipe press tool, when carbonitride phases are formed in the surface layer, which are more plastic and less brittle than during nitriding. The process has indisputable advantages in comparison with other surface strengthening processes. The advantage of this technology is the high speed of diffusion, uniformity of heating and saturation in molten salts, which leads to increased wear resistance and corrosion resistance of the surface, a reduction in the coefficient of friction by 1,5 – 5 times, and increased performance a tool that works with cyclic loads due to the creation of compressive stresses on the surface; after carbonitriding, a hardened layer consisting of several zones is formed on the surface of the tool (the upper layer is a solid solution with inclusions of ϵ - carbonitride of the $Fe_3(NC)$ type, under which there is a zone of the γ' - phase of the $Fe_4(NC)$ type, under which there is a diffusion zone (heterophase layer), which consists of a solid solution of carbon and nitrogen in iron with inclusions of carbonitride phases, the hardness of which is much higher than the hardness of the core

This treatment of a pipe press tool is carried out for the first time and is protected by patent No. 146692 "Method of chemical and thermal treatment of a pipe press tool made of tool steel".

On the basis of experimental studies, the feasibility of applying an amorphous alloy powder based on iron, nickel, silicon, and boron was proven in the work, which made it possible to ensure high hardness and wear resistance of the surface of matrix rings, rollers, and support bars. This treatment of a pipe tool is carried out for the first time and is protected by patent No. 148695 "Method of strengthening a pipe

press tool from tool steel".

In the work, it is proposed to use X40CrMoV5-1-1 steel instead of 60S2KHFA steel for the manufacture of support bars and rollers of XIITP mills for cold rolling of especially thin-walled corrosion-resistant pipes, which has higher operational properties after tempering with tempering and subsequent HTO (ionic nitriding in the plasma of DDR with the application of wear-resistant coatings) and stability in work, reduces the idle state of KPTR, associated with the replacement of the tool.

Real research was carried out in production conditions on the strengthening of pipe press tools (matrix rings and needle mandrels) at different temperature regimes of hardening using as a hardening medium instead of oil an aqueous solution of the polymer medium Aqua-Quench 400, which is successfully used as an oil substitute for hardening tools. The effect of tempering and tempering temperature on the properties of the tool is considered and the optimal mode of tempering with multiple tempering and nitriding to ensure the required properties of the pipe tool is proposed.

In the work, a mathematical model of the distribution of the microhardness of the diffusion zone in the surface layers of the tool after various types of chemical and thermal processing is built, which is a consequence of the additive superimposition of the laws of the kinetics of temperature fields, diffusion flows, and phase transformations and indicates that diffusion saturation proceeds from the surface of the product with the formation in the surface layer of phases with maximum hardness.

The results of the implementation at "VO OSKAR" LLC and "PJSC Centraviv Production Ukraine" of the technologies of volume hardening of the tool with repeated tempering and nitriding, carbonitridation of the pipe tool and the subsequent deposition of coatings of amorphous alloys based on Fe-C-Si-B and wear-resistant TiN coatings, TiZrN, NbN, TiZrN/NbN on the working surfaces of the tool, made it possible to obtain a significant economic effect by reducing tool costs, reduce production defects by reducing the number of equipment adjustments,

and increase labor productivity during pressing and rolling on KPTR mills of corrosion-resistant pipes, while stability of the instrument increased by 1,5 – 2,5 times.

The results of the dissertation work are implemented in the educational process of the disciplines "Fundamentals of theory and practice of heat treatment of metals", "Peculiarities of technological processes of heat treatment of metals", "Engineering of the surface of metal products" for students of the specialty 132 "Materials Science" of the National Institute of Physics and Technology of USUNT.

The economic effect of the introduction of the proposed technologies was calculated, which amounts to UAH 424.5 thousand.

Key words: tool steels, nitrided layer, ion nitriding, carbonitridation, martensite, coating, wear resistance, strength, microhardness.