

УДК 669.017:621.73

В.О. Столбовий¹, Л.С. Кривчик², Т.С. Хохлова², В.Л. Пінчук², Л.М. Дейнеко²¹ Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства і технологій Національного центру Харківського фізико-технічного інституту Національної Академії наук України (Харків, Україна)² Український державний університет науки і технологій (Дніпро, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ТЕРМІЧНОЇ І ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ І НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТЬ

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 захвачує майже всі напрямки будівельних промисловостей. Правильний вибір матеріалів, параметрів зміцнюючих технологій трубного інструменту визначає якість процесів прокатки і пресування труб з високолегованих марок сталей для відповідальних галузей промисловості України. 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. Зазначені вимоги забезпечуються матеріалом, який використовується для виготовлення інструменту, і його відповідною механічною і термічною обробкою. 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. Використання сучасних видів хіміко-термічної обробки і нанесення зносостійких покриттів, значно підвищує експлуатаційні властивості трубного інструменту і покращує якість внутрішньої поверхні корозійностійких труб, дозволяє знизити витрати по переробці виготовлення труб.

DOI: 10.34185/0543-5749.2021-2-71-88

Вступ

Корозійностійкі труби знаходять широке використання в авіації, ракетобудівництві, атомній енергетиці, суднобудівництві та інших відповідальних галузях промисловості. Їх виготовляють, в основному, методом пресування на трубопрофільних пресах і методом холодної прокатки. В процесі виробництва труб використовують велику кількість трубного інструменту, вартість якого становить до 25 % від вартості переробки всього трубопрокатного цеху.

При виробництві корозійностійких труб

слабким ланцюгом в технологіях є низька стійкість трубного інструменту. Часті виходи інструменту з строю призводить до простоїв в роботі пресового і трубопрокатного обладнання. Використання загартування з відпуском не дає бажаного ефекту зміцнення трубного інструменту і підвищення його експлуатаційної стійкості в виробничих умовах.

Умови роботи трубопресового інструменту характеризуються значними тепловими та силовими навантаженнями на інструмент. При гарячому пресуванні температура нагріву заготовок з різних

матеріалів становить від 400 до 1600 °С, а робочі шари інструменту можуть нагріватися до 800 °С і вище. Тиск на гравюру матриць досягає 1000 МПа. Основні причини руйнування матриць і матричних кілець трубних пресів: втрата форми і розмірів каналу, крихке руйнування і розгарні тріщини. Під час пресування голки-оправки працюють в найбільш важких умовах, тому що піддаються розтягуючим та здавлюючим напругам при підвищеній температурі поверхневого шару внаслідок тертя металу і теплового ефекту деформації [1].

Прокатний інструмент станів ХПТР працює в дуже важких умовах. Це перш за все дуже високий тиск на нього металу, знакозмінні навантаження внаслідок переміщення миттєвого очагу деформації вздовж осі прокатки, динамічні удари. Тому стійкість інструменту повинна бути дуже високою, оскільки від цього залежить продуктивність станів і якість труб. Висока стійкість інструменту забезпечується якістю матеріалу і виконанням технології виготовлення [2].

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

Матеріали та методика досліджень

Для виготовлення основного трубопресового інструмента (матричних кілець і голок-оправок) і інструмента для холодної роликової прокатки особливо тонкостінних корозійностійких труб (роликів і опорних планок) найчастіше використовують вториннотвердіючі напівтеплостійкі сталі мартенситного класу 4X5MФ1С і 5X3В3МФС, які піддають термічній обробці (загартуванню з відпуском).

Штампові сталі для гарячого деформування мають найбільш важливі властивості (зносоустійкість та термостійкість за високих температур). До основних причин втрати працездатності інструменту відносяться зношування, розгар та зниження теплостійкості. Зношування інструменту може бути за рахунок окислення або абразивного зносу і при негативному співвідношенні цих факторів відбувається його розміщення та виникнення початкових тріщин. Виникнення розгарних тріщин відбувається при циклічному нагріві та охолодженні поверхні інструмента [3].

Узагальнена технологічна схема обробки інструмента для гарячого пресування з напівтеплостійких сталей підвищеної в'язкості:

- 1) гаряча пластична деформація (кування);
- 2) відпал;

- 3) механічна обробка;
- 4) загартування й відпуск;
- 5) механічна обробка.

Знижена деформуємість штампових сталей у порівнянні з конструкційними обумовлена їхньою меншою пластичністю внаслідок більш високої легованості твердого розчину, більших кількостей карбідних фаз і ступені ліквідації при кристалізації. Призначення відпалу – перекристалізація сталі для здрібнювання зерна й одержання низької твердості, а також структури зернистого перліту, як найбільш задовольняючому наступному загартуванню.

Ціль остаточної термічної обробки – одержання в готовому інструменті оптимальної комбінації основних властивостей: твердості, міцності, зносоустійкості, в'язкості й теплостійкості.

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 [4].

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. Сталь одержує менш легований ферит, а коагуляція карбідів, що виділилися, при відпуску протікає повніше.[5]

Операцію відпуску виконують негайно після загартування з метою попередження тріщин. Як правило, відпуск роблять на твердість 48 – 53 HRC. При більшій твердості швидше утворюються тріщини розпаду, а при меншій знижується зносоустійкість [6].

Загальною для всіх штампових сталей тенденцією є великий зміст залишкового аустеніту після загартування. Причому з підвищенням легованості твердого розчину знижуються температури мартенситного перетворення й зростає кількість аустеніту.

Оскільки при нагріванні для відпуску в структурі зберігається багато аустеніту, доцільне проведення дворазового відпуску. Температура другого відпуску може бути на 10 – 20 °С нижче, а його тривалість на 20 – 25 % менше, чим першого відпуску. Охолодження після відпуску проводиться на повітрі.

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 [7].

З метою зміцнення інструмента в роботі запропоновано після загартування з відпуском виконати хіміко – термічну обробку (іонне азотування в плазмі дугового розряду, карбонітрацію і комбіновану обробку, яка поєднує іонне азотування з послідовним нанесенням одношарових і багатшарових зносостійких наноструктурних покриттів).

В лабораторії плазмових технологій навчально-наукового центру Харківського фізико-технічного інституту Національної Академії наук України (м. Харків) розроблено новий високоефективний спосіб іонного модифікування поверхонь інструментальних і конструкційних сталей і сплавів, а також покриттів в плазмі двоступеневого дугового розряду низького тиску. Азотування в плазмі двоступеневого дугового розряду має ряд переваг і недоліків. Одне з важливих переваг полягає в тому, що процес відбувається при тисках азоту 0,01 – 0.1 Па, тобто при значеннях азотного потенціалу значно нижче порогового. При цьому ймовірність утворення нітрідних фаз, і особливо крихкої s-фази, значно знижується.

При електронному азотуванні шорсткість поверхонь не змінюється, що, наприклад, дає можливість наносити потім зміцнюючі покриття в цій же вакуумній установці в єдиному технологічному процесі. 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 [8].

Змінюючи умови азотування, можна істотно впливати на властивості поверхні і підповерхневої зони сталі і створювати різні композиції «керамічне покриття / азотована сталь». Дослідження показали, що відмінною рисою мікроструктури азотованого шару після іонно-плазменого азотування є наявність мілкодисперсної дуже міцної ε-фази. Завдяки наявності в шарі цієї фази поверхнева твердість азотуємих деталей вище майже на HV 160 - 180, чим при газовому азотуванні [9]. Азотований шар при електронному дослідженні наведений на рис. 1.

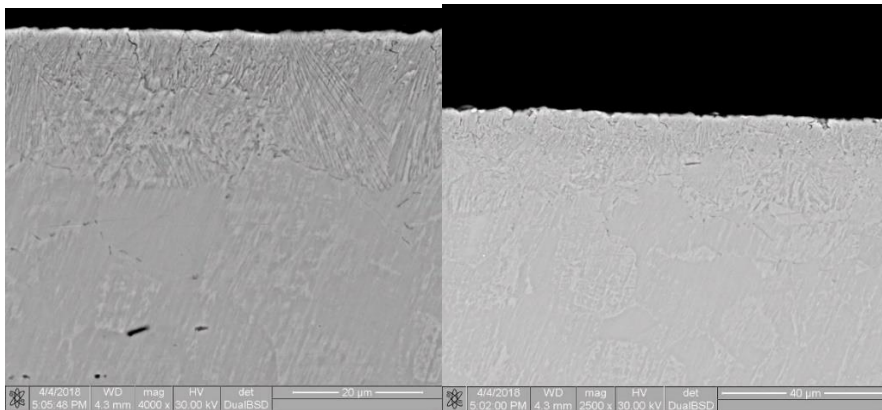


Рис. 1. Азотований шар при електронному дослідженні

Утворення в поверхневому шарі інструменту карбонітрідних фаз, більш пластичних і менш крихких, чим при азотуванні, відбувається при карбонітрації трубопресового інструменту. Процес має неоспоримі переваги в порівнянні з іншими процесами зміцнення поверхні- поверхневим загартуванням струмами високої частоти, іонним азотуванням, цементацією, ціануванням, нітроцементацією, гальванохромуванням, фосфатуванням та ін. Процес уявляє собою дифузійне насичення поверхні азотом і вуглецем одночасно.

Карбонітрований шар за своїми параметрами найбільш близький до азотованого (тому карбонітрацію іноді називають «рідинним» або «м'яким» азотуванням) і ціанованого шару, при цьому він має ряд переваг і позбавлений недоліків зазначених технологій. Основними перевагами карбонітрації є: зміцнення деталей з будь-яких марок сталі і чавуну; висока швидкість насичення. За 1 – 4 години на поверхні формується зміцнений шар, по глибині і твердості аналогічний або більший, що одержаний за 10 – 60 годин

традиційного азотування; рівномірність нагріву і насичення. Відсутнє викривлення, забезпечується висока точність; зміцненню піддаються остаточно механічно оброблені деталі; не потрібно наявності додаткового припуску; підвищення втомної міцності на 50 – 80 %. Підвищується працездатність деталей, що працюють з циклічними навантаженнями, за рахунок створення стискаючих напруг на поверхні; збільшення зносостійкості деталей орієнтовно в 2 – 11 разів, в порівнянні з цементацією, нітроцементацією, газовим азотуванням; відсутня крихкість карбонітрованого шару; підвищення корозійної стійкості сталей; вуглецеві і низьколеговані сталі після

карбонітрації набувають властивостей високолегованих корозійностійких сталей; зниження коефіцієнта тертя в 1,5 – 5 разів. Карбонітрований шар виконує роль додаткового змащення в парах тертя [10]. Після карбонітрації на поверхні інструменту формується зміцнений шар, що складається з декількох зон (верхній шар являє собою ϵ -карбонітрид типу $Fe_3(NC)$, під яким розташовується зона ϕ^1 - 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 (Рис. 2).

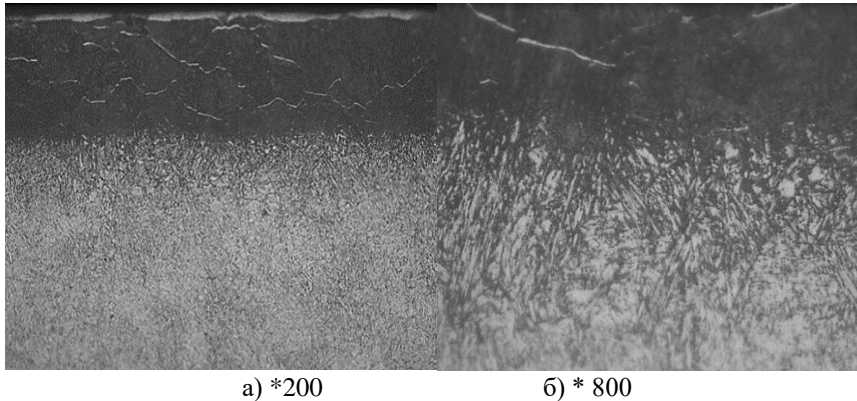


Рис. 2. Мікроструктури сталі 4Х5МФ1С після карбонітрації

Карбонітрація голок-оправок і матричних кілець для пресування корозійностійких труб була проведена на «ТОВ КАРБАЗ» м. Суми (Рис. 3).

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. Комбінована обробка матричних кілець, роликів і опорних планок станів ХПТР, 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).

Покриття TiN застосовуються для всіх видів інструментів, матеріал яких допускає нагрів до температури 400...650 °С без втрати експлуатаційних характеристик. Структури зразків штампової сталі 4Х5МФ1С після іонного азотування і нанесення одношарового покриття TiN показані на рис. 4.

На поверхню роликів і матричних кілець після процесу азотування проводилось осадження багатшарових покриттів TiZrN/NbN, TiN/CrN.

Структура сталі після нанесення багатшарового покриття показана на рис. 5.

Збільшення кількості шарів в покритті приводить до збільшення міцності і твердості інструменту, оскільки міжшарові межі перешкоджають зсуву дислокацій і знижують пластичну деформацію [11].

Для вивчення структурного стану, комплексу фізико-механічних властивостей, фазового складу, стану поверхневого шару інструменту і зразків використовували такі методи дослідження і випробувань (ТОВ «ВО Оскар»):

- металографічний аналіз виробів і зразків з використанням мікроскопів НЕОРНОТ-32 і МІМ-8.

- метод електронної мікроскопії з застосуванням англійського електронного мікроскопа EM6G (прискорювальна напруга 100 кВ).

- 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 кульку діаметром 1/16 "при навантаженні 1000 Н.

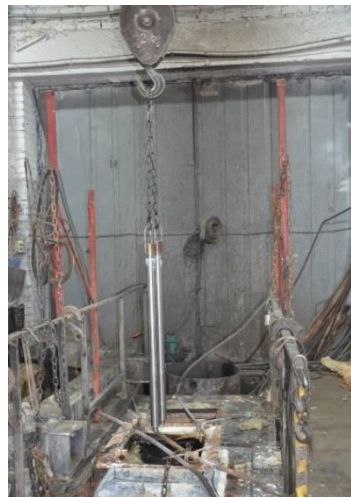


Рис. 3. Виконання технологічних операцій карбонітрації на «ТОВ КАРБАЗ» м.Суми

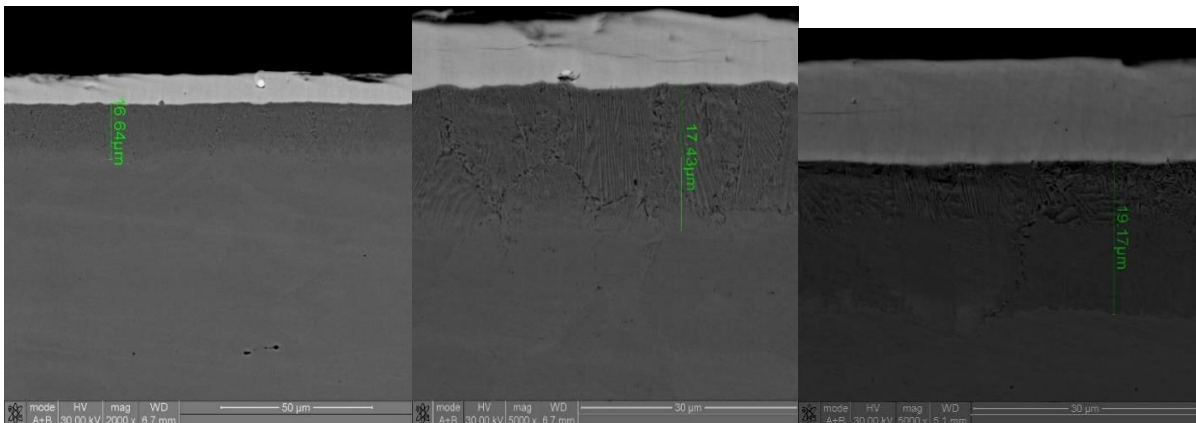


Рис. 4. Структури експериментальних зразків сталі 4X5MФ1С після іонного азотування і нанесення одношарового покриття при електронному дослідженні

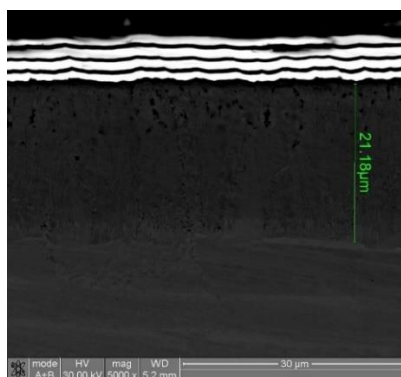


Рис. 5 Структура експериментального зразку сталі 4X5MФ1С після іонного азотування і нанесення багатшарового покриття при електронному дослідженні

Твердість вимірювали також на приладах Віккерса (при навантаженні 10 Н) і ПМТ-3 (для вимірювання твердості мікрооб'ємів з різною структурою на металографічних шліфах):

- випробування на розтягання на стандартних 5-кратних («Гагарінських») зразках діаметром 5 мм і 3 мм. Випробування проводили на машині ІМ-12 з механічним силовимірювачем і

масштабом деформації 100:1.

- ударну в'язкість визначали на зразках з U-подібним надрізом на копрі МК-30 з максимальною силою удару 300 Дж.

- замір твердості безпосередньо на деталях повинен виконуватися після відповідної підготовки поверхні, із застосуванням портативних електронних ультразвукових твердомірів (типу ТМ-40, ТКР-45 «Ультракон», ТКМ-459 «НВП Машпроект» та ін.) (Рис. 6).

Для вивчення штампових сталей широко використовувались в роботі дифрактометричні дослідження. Вони проводилися на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2.0 в кобальтовому Со-Ка випромінюванні із застосуванням Fe селективно поглинаючого фільтра. Дифрагване випромінювання реєструвалося сцинтиляційним детектором.

Дифрактометр ДРОН-2,0 (рис. 7) призначений для виконання широкого кола рентгеноструктурних досліджень монокристалів і полікристалів різних матеріалів. Застосування спеціальних

приставок уможливило проведення досліджень з охопленням області кутів, починаючи з 120; в температурних інтервалах від +20 до +2000 °С і від +20 до -180 °С.

Основними частинами дифрактометра ДРОН-2,0 є: особисто рентгенівський апарат, гоніометричний блок, блок автоматичного управління, електронно-обчислювальний пристрій, прилад виведення інформації [12].

Власне рентгенівський апарат призначений для отримання рентгенівського проміння і складається з рентгенівської трубки, пристроїв, призначених для регулювання і зміни напруги і струму, блокувань, що запобігають обслуговуючий персонал від ураження електричним струмом, а рентгенівську трубку від перевантаження (наприклад, від оплавлення анода при відключенні охолодження). Анод рентгенівської трубки і генератор високовольтного джерела живлення охолоджуються проточною водою з витратою не менше 3 л/хв.



Рис. 6. Замір твердості експериментальних зразків інструменту (м.Суми, ТОВ «Карбаз»)

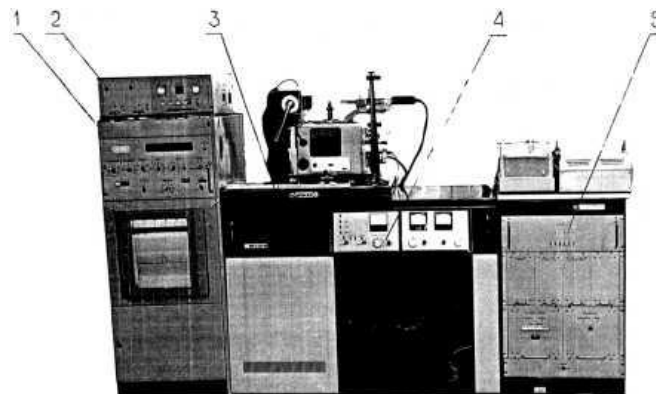


Рис. 7. Апарат рентгенівський ДРОН-2,0:

1 – прилад електронно-розрахунковий ЕВУ-1-4; 2 - блок автоматичного управління БАУ; 3 - стойка дифрактометрична з гоніометром ГУР-5 і рентгенівською трубкою; 4 - джерело живлення високовольтний ВИП-2-50-60М; 5 – прилад виводу інформації УВИ-3М-1 з цифроречатною машинкою і перфоратором

Теорія та аналіз отриманих результатів

Результати заміру мікротвердості експериментальних зразків сталей 4X5MΦ1C після іонного азотування наведені в таблиці 1.

Результати заміру мікротвердості експериментальних зразків сталей 4X5MΦ1C після

карбонітрації наведені в таблиці 2.

Результати заміру заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4X5MΦ1C після іонного азотування і нанесення покриття TiN наведені в таблиці 3.

Таблиця 1. Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4X5MΦ1C після іонного азотування

№ зразку	Зона	Діаметр відбитка	Середній діаметр відбитка, мкм	Навантаження, Г	Значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, Кг/мм ²
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

Таблиця 2. Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4X5MΦ1C після карбонітрації

№ зразку	Зона	Діаметр відбитка	Середній діаметр відбитка, мкм	Навантаження, Г	Значення мікротвердості МПа	Середнє значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, Кг/мм ²
1	30	14	14,176	100	8700		
2	30	14	14,248	100	8600		
3	30	15	15,94	100	8534		
4	30	14	14,636	100	8345	8545	855
5	50	15	15,632	100	7650		
6	50	15	15,404	100	7600		
7	50	15	15,94	100	7789		
8	50	14	14,632	100	7650	7672	767
9	150	17	17,556	100	6400		
10	150	17	17,48	100	6327		
11	150	18	18,864	100	6320		
12	150	18	18,788	100	6150	6299	630
13	250	19	19,8	100	5040		
14	250	20	20,8	100	5000		
15	250	22	22,724	100	4960		
16	250	21	21,184	100	4970	4930	493
17	центр	26	26,488	100	2594		
18	центр	27	27,412	100	2422		
19	центр	26	26,488	100	2594		
20	центр	26	26,488	100	2594	2551	255

Таблиця 3. Результати заміру мікротвердості на приборі ПМТ-3 зразків сталі 4X5MФ1С 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 ²
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

Для проведення рентгеноструктурного аналізу були взяті зразки сталі 4X5MФ1С після різних видів обробки:

1. 4X5MФ1С; іонне азотування; центр; 20,5x11,5x7,3мм;
2. 4X5MФ1С; іонне азотування; поверхня ; 22x13x8мм;
3. сталь 4X5MФ1С в початковому стані до азотування.

Діфрактограми зразків наведені на рис. 8 - 10, результати розрахунків зведені в табл. 4.

№1. Після іонного азотування сталі 4X5MФ1С в зразку (центр, рис. 8) виявлено 2 фази: ферит Fe- α і аустенит Fe- γ . У порівнянні з вихідним станом (зразок №3) після азотування в зразку з'явився аустенит. Відомо, що азот є стабілізатором аустеніту. Крім того, гранична розчинність азоту в фериті Fe- α становить всього 0,4% at; гранична розчинність азоту в аустениті Fe- γ значно більше - 10,5% at.

Тобто виявлений аустенит відноситься до азотованого шару (азот розчинився в аустенитній решітці без утворення нітридів). Параметр решітки аустеніту становить $a = 3,595\text{Å}$. Параметр решітки фериту відповідає вихідному стану (в межах похибки вимірювання).

№2. Після іонного азотування сталі 4X5MФ1С в зразку (поверхня, рис. 9) також виявлено 2 фази: ферит Fe- α і аустенит Fe- γ . Параметр решітки аустеніту становить $a = 3,595\text{Å}$. Параметр решітки фериту дорівнює $a = 2,868\text{Å}$. У порівнянні з центральною частиною (зразок №1) в досліджуваному об'ємі цього зразка міститься трохи менше аустеніту (2,4% wt).

№3. Зразок сталі 4X5MФ1С в початковому стані однофазний (рис. 10), складається з фериту Fe- α с параметром решітки $a = 2,869\text{Å}$.

Було проведено рентгеноструктурний аналіз досліджуваних зразків сталі 4X5MФ1С після карбонітрації. Діфрактометричні дослідження проводилися на рентгеновському дифрактометрі ДРОН-2.0 в кобальтовому Co-K α випромінюванні із застосуванням Fe селективно поглинаючого фільтра. Дифраговане випромінювання реєструвалося скінтіляційним детектором.

Зразки для дослідження:

4. 4X5MФ1С; Карбонітрація; центр; 20x20x7,5мм;

5. 4X5MФ1С; Карбонітрація; поверхня; 19,5x19,5x8мм;

Діфрактограми зразків наведені на рис. 11, 12, а результати розрахунків зведені в табл. 5.

Таблиця 4. Фазовий склад досліджених зразків

№ зразку	Фаза	Вміст, %wt	Параметри решітки a, Å
1	Fe- α	96,4	2,868
	Fe- γ	3,6	3,595
2	Fe- α	97,6	2,868
	Fe- γ	2,4	3,595
3	Fe- α	100	2,869

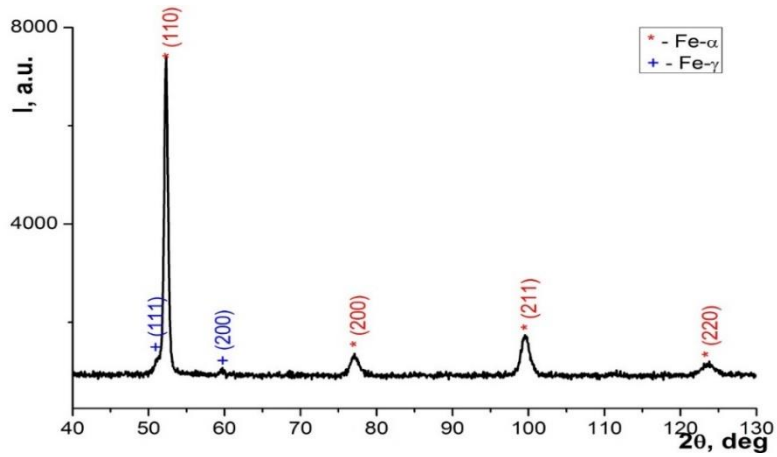


Рис. 8. Діфрактограма зразку №1

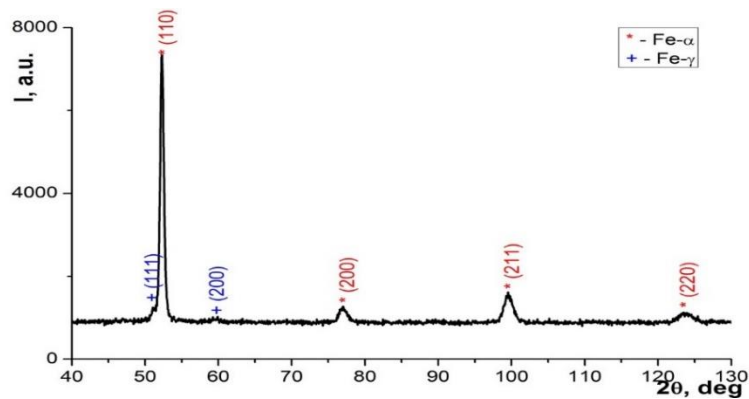


Рис. 9. Діфрактограма зразку №2

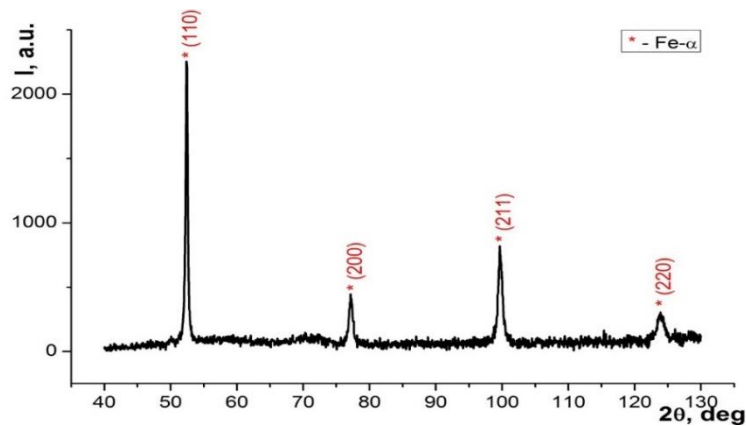


Рис. 10. Діфрактограма зразку №3

Таблиця 5 Фазовий склад досліджених зразків

№ зразку	Фаза	Вміст, %wt	Параметри решітки a, Å
4	Fe- α	96,7	2,869
	Fe ₃ Mo ₃ N	2,3	11,032
	Mo ₂ N	1,0	4,173
5	Fe- α	18,3	2,870
	Fe ₃ N	7,9	a=4,663; c=4,369
	Fe ₄ N	73,8	3,811

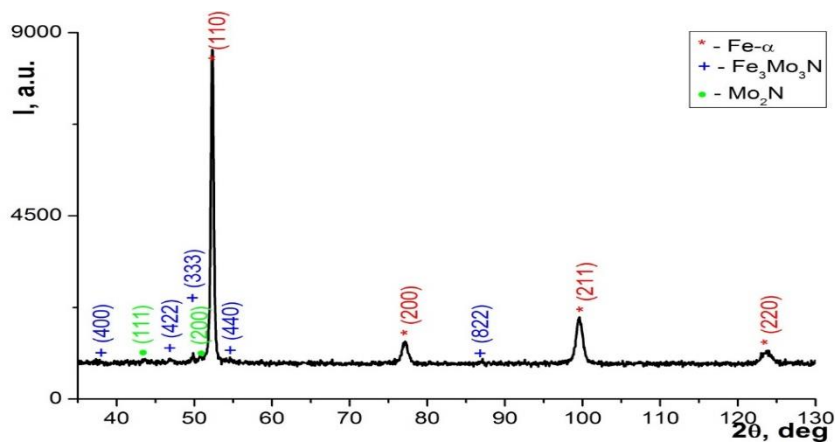


Рис. 11. Дифрактограма зразку №4

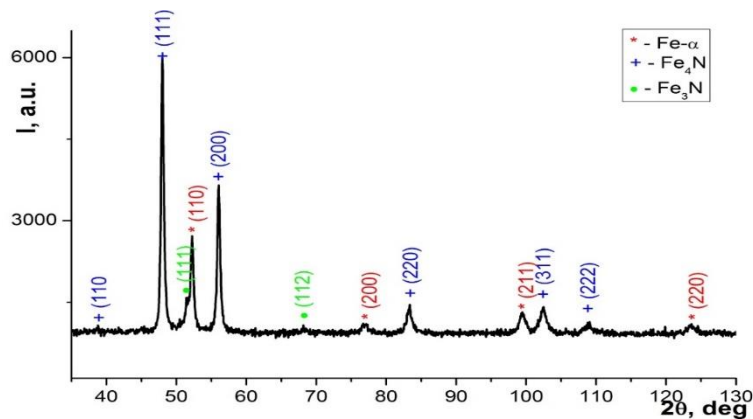


Рис. 12. Дифрактограма зразку №5

№4. Після карбонітрації сталі 4X5MФ1С в зразку (центр, рис. 11) виявлено 3 фази: ферит Fe- α , комплексний нітрид Fe₃Mo₃N і нітрид молібдену Mo₂N. Тобто азот (вуглець) взаємодіяв не тільки з основним елементом (залізом) сталі, але і з легуючим (молібден). Параметр решітки нітриду Fe₃Mo₃N (кубічна сингонія) становить a = 11,048Å. Варто відзначити, що нітрид Fe₃Mo₃N і карбід Fe₃Mo₃C мають близькі параметри решітки, тому, швидше за все, утворився карбонітрид Fe₃Mo₃(C, N). Параметр решітки кубічного нітриду молібдену Mo₂N дорівнює

a = 4,184Å. Параметр решітки фериту дорівнює a = 2,869Å.

№5. Після карбонітрації сталі 4X5MФ1С в зразку №4 (поверхня, рис. 12) також виявлено 3 фази: ферит Fe- α , комплексний нітрид Fe₃Mo₃N і нітрид молібдену Mo₂N. Параметр решітки нітриду Fe₃Mo₃N менше в порівнянні з попереднім зразком і становить a = 11,032Å. Параметр решітки нітриду молібдену Mo₂N також менше і дорівнює a = 4,173Å. Оскільки обидва нітриди мають область гомогенності, то можна стверджувати, що в даному зразку в нітриді міститься менше

азоту в порівнянні з зразком №3. Крім того, ваговий вміст нітридів в цьому зразку практично в два рази менше (в порівнянні зі зразком №3). Параметр решітки фериту не змінився і дорівнює $a = 2,869 \text{ \AA}$.

Рентгеноструктурні спектри багат шарових ZrN/TiN покриттів показані на рис. 13.

Найбільш універсальною характеристикою механічних властивостей покриттів є їх твердість (H) і модуль пружності (E) багат шарових покриттів TiN/ZrN в залежності від кількості шарів (нанесених за один й той же проміжок часу).

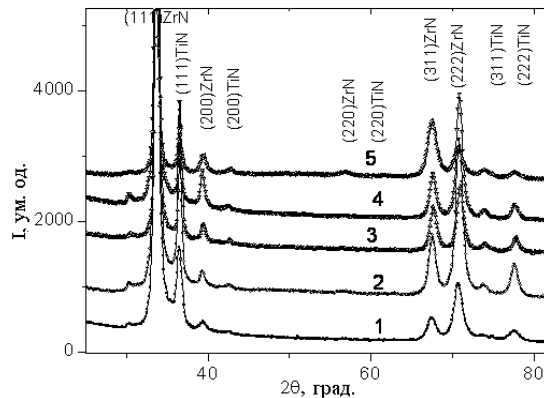


Рис. 13. Рентгеноструктурні спектри багат шарових ZrN/TiN покриттів

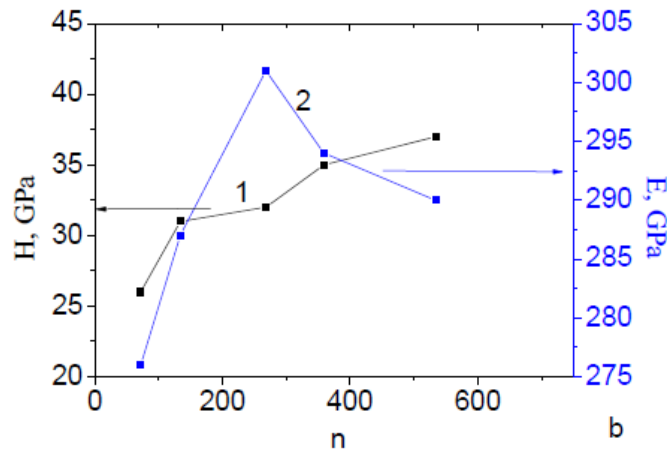


Рис. 14. Графік залежності твердості (1) і модуля пружності (2) від числа шарів в покриттях ZrN/TiN

В заводських умовах традиційна технологія термозміцнення прокатного інструменту (голок-оправок, матричних кілець, роликів, опорних планок станів ХПТР) з сталей 4Х5МФ1С і 5Х3В3МФС представляє собою загартування з наступним двох або трикратним відпуском для отримання твердості 50 – 54 HRC. Запропонована технологія термозміцнення передбачає проведення після загартування з відпуском іонного азотування, карбонітрації або проведення комбінованої обробки з нанесенням наноструктурних зносостійких покриттів з метою зміни структури й властивостей поверхневого шару і покращення експлуатаційних характеристик інструменту для

пресування і холодної прокатки.

В результаті сталь здобуває високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріванні до 600 – 650 °С, високий опір зношуванню, високу межу витривалості, корозійну стійкість. [13].

Висновки

В результаті проведених досліджень, експериментів і промислових випробувань виявлено наступне:

1. У зв'язку з низькою стійкістю трубногo 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 іонного азотування в плазмі ДВДР трубопресового інструменту (матричних кілець і голок-оправок) і інструменту для холодної прокатки корозійностійких труб (роликів і опорних планок) в 1,5-2 рази збільшує твердість поверхневого шару, що підтвердили результати металографічних, електронних, рентгеноструктурних досліджень. Причиною цього є утворення на поверхні азотованого шару, який складається з нітридної зони $Fe_{2-3}N$ (ϵ -фаза) і Fe_4N (γ' -фаза) і підслою азотистого ферита (α -фаза), в якому при охолодженні виділяються нітриди хрому, молібдену, алюмінія.[14]

3. Проведення карбонітрації трубопресового інструменту (матричних кілець і голок-оправок) в розплавах солів ціанатів і карбонатів збільшує зносостійкість, поверхневу твердість і корозійну стійкість поверхні, знижує коефіцієнт тертя в 1,5 – 5 раз. Якщо стійкість голок-оправок після звичайного термозміцнення складає 50 – 80 пресовок, то голки, додатково піддані хіміко-термічній обробці (карбонітрації) показали стійкість 100-130 пресовок внаслідок більш високої твердості, зносостійкості, теплостійкості, утворення особливої структури на поверхні внаслідок проведення карбонітрації в розплавах солів ціанатів і карбонатів. Якщо стійкість матричних кілець після звичайного термозміцнення складає 4 – 6 пресовок, то кільця, додатково піддані хіміко-термічній обробці (карбонітрації) показали стійкість 7 – 9 пресовок внаслідок більш високої твердості, теплостійкості.

4. 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 ХФТИ) 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.

Бібліографічний список

1. Логинов Ю. Н., Игнатович Ю. В. Инструмент для прессования металлов : учеб.пос. Екатеринбург : Уральский университет, 2014. 224 с.
2. Конспект лекций по технологии прессования / С. В. Беляев, И. Н. Довженко, Р. Е. Соколов, Э. А. Рудницкий, А. С. Пещанский. Красноярск, 2007.
3. Чечулин Ю. Б. Холодная прокатка труб: навч. посіб. М. : Металлургия, 2017. 332 с.
4. Технологии производства нержавеющей труб: сборник лекций / под об. ред. Е. Я. Лезинской; состав. К. М. Бильдин. Никополь : Сентравис, 2019. 89 с.
5. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2010. 528 с.
6. Фетисова Г. П. Металловедение и технология металлов. М. : Высшая школа, 2008. 640 с.
7. Арзамасов Б. Н., Братухин А. Г., Елисеев Ю. С., Панайоти Т. А. Ионная химико-термическая обработка сплавов в газовых средах : навч. посіб. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 400 с.
8. Андреев А. А., Саблев Л. П., Шулаев В. М., Григорьев С. Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия : навч. посіб. Харьков : ННЦ ХФТИ, 2005, 236 с.
9. Лахтин Ю. М. Современное состояние процесса азотирования : уч. посіб. М. : Металлургия, 1993. 172 с.
10. Chatterjee-Fisher R. Nitriding and carbonitriding : textbook. Per. with him. / R. Chatterjee-Fisher, F. Ayzell, edited by A. V. Supova. М. : Mrtallurgy, 1990.
11. Андреев А. А., Саблев Л. П., Шулаев В. М. О роли атомарного азота при химико-термической обработке сталей в газовом вакуумнодуговом разряде // Сб. докл. 5-й Межд. конф. «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов», Харьков : ННЦ ХФТИ, 2005, ч. 1. С. 246 - 250.
12. Лиопо В. А., Война В. В. Рентгеновская дифрактометрия: учебное пособие. Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2003. 171 с.
13. Большаков В. И. Оборудование термических цехов, технологии термической обработки

металлопродукції : Учебник. Днепропетровск : Днепр-VAL, 2010. 378 с.

14. Александров В. А., Богданов К. В. Азотирование инструмента из высокохромистых и быстрорежущих сталей. Техно Сфера. 2005. № 5. С. 14-20.

References

1. Loginov, Yu. N. & Ignatovich, Yu. V. (2014) / *Tool for pressing metals*. Textbook. Ekaterinburg: Uralskii universitet

2. Belyaev, S. V., Dovzhenko, I. N., Sokolov, R. E., Rudnitsky E. A. & Peshchansky A. S. (2007). *Abstract of lectures on pressing technology*. Krasnoyarsk.

3. Chechulin, Yu. B. (2017). *Cold rolling of pipes*. Moskva: Metallurgii

4. Lezinskaya, E. Ya. et al (2019). *Collection of lectures on the technology of production of stainless steel pipes*. Centravis.

5. Lakhtin, Yu. M. & Leontieva V. P. (2010). *Materials science*. Textbook for universities. Moskva: Mashinostroenie

6. Fetisova, G.P. (2008). *Metallurgy and technology of metals*. Moskva: Vysshaya shkola

7. Arzamasov, B. N., Bratukhin, A. G., Eliseev, Y. S. & Panayoti, T. A. (1999) *Ionic chemical-*

thermal treatment of alloys in gaseous media. Moskva: Izd. MGUM. im.N. E. Bauman

8. Andreev, A. A, Sablev, L. P., Shulaev, V. M & Grigorev, S. N. (2005). *Vacuum arc devices and coatings*. Kharkiv: NSC KIPT

9. Lakhtin, Yu.M. (1993). *The current state of the nitriding process*. Moskva: Metallurgii

10. Chatterjee-Fisher, R. & Ayzell, F. (1990). *Nitriding and carbonitriding*: Textbook. Ed. by Supova, A. V. Moskva: Metallurgii.

11. Andreev, A. A., Sablev, L. P. & Shulaev V. M. On the role of atomic nitrogen in the chemical-thermal treatment of steels in a gas vacuum-arc discharge. *Sb. report 5th Int. conf. "Equipment and technologies for heat treatment of metals and alloys"*, Kharkiv: NSC KIPT, 2005, Part 1, 246 - 250

12. Liopo, V.A. & Voyna V. V. (2003). *X-ray diffractometry*. Textbook. Grodno: Kupala State University of Grodno

13. Bolshakov, V. I. (2010). *Equipment of thermal shops, technologies of heat treatment of metal products*. Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL

14. Alexandrov, V. A. & Bogdanov, K. V. (2005). Nitriding of the tool from high-chromium and high-speed steels. *Techno Sphere*, (5), 14-20

Столбовой В'ячеслав Олександрович, доктор технічних наук, начальник лабораторії розробки і дослідження інтенсивних іонно-плазмових технологій Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства і технологій Національного центру Харківського фізико-технічного інституту Національної Академії наук України, м. Харків, Україна. ORCID ID: 0000-0001-7734-0642. E-mail: stolbovoy@kipt.kharkov.ua

Кривчик Лілія Сергіївна, магістр, аспірант кафедри матеріалознавства і термічної обробки металів, Український державний університет науки і технологій, м. Нікополь, Україна. ORCID ID: 0000-0002-7769-3808. E-mail: lcrivchik@gmail.com

Хохлова Тетяна Станіславівна, професор, кандидат технічних наук, професор кафедри матеріалознавства і термічної обробки металів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0002-6683-4572. E-mail: kh_gipo@ukr.net

Пінчук Вікторія Леонідівна, викладач-методист вищої категорії, Нікопольський фаховий коледж Український державний університет науки і технологій, м. Нікополь, Україна. ORCID ID: 0000-0001-8257-9252. E-mail: v.l.pinchuk@nmt.org.ua

Дейнеко Леонід Миколайович, професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри матеріалознавства і термічної обробки металів, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна. ORCID ID: 0000-0002-1177-3055. E-mail: leonid_deyneko@i.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ТЕРМІЧНОЇ І ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ І НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТЬ

Мета. Метою дослідження є використання сучасних видів хіміко-термічної обробки і нанесення наноструктурних зносостійких покриттів для зміцнення трубного інструменту для виробництва корозійно-стійких труб - трубопресового інструменту (голок-оправок і матричних кілець) і інструменту для холодної роликової прокатки особливотонкостінних труб – опорних планок і роликів.

Методика. Для проведення дослідження були виготовлені:

- голки-оправки трубопрофільного пресу зусиллям 16 МН у кількості 3 (трьох) штук з сталі 4Х5МФ1С діаметром 50 мм і довжиною 1300 мм і піддані зміцнюючій термічній обробці (ступеневе загартування з 1050 – 1070°C та двократному відпуску при 550 – 570° (1 відпуск) та 530 – 550°C (2 відпуск) в цехових умовах;

- матричні кільця трубопрофільного пресу зусиллям 16 МН у кількості 10 (десяти) штук: зі сталі 5Х3ВЗМФС (ДИ-23): 6 (шість) штук (1 штука діаметром 63,5 мм, 2 штуки діаметром 73,5 мм, 3 штуки діаметром 71,5 мм); зі сталі 4Х5МФ1С 4 (чотири) штуки діаметром 71,5 мм і 73,5 мм і піддані зміцнюючій термічній обробці (ступеневе загартування з 1080 – 1100°C та двократному відпуску при 550 – 570°C (1 відпуск) та 530 – 550°C (2 відпуск) в цехових умовах;

- ролики стану ХПТР у кількості 3 (трьох) штук з сталі 4Х5МФ1С шириною 65 мм під діаметр труби 16 мм і піддані зміцнюючій термічній обробці (ступеневе загартування з 1070 – 1080°C та двократному відпуску при 550 – 570°C (1 відпуск) та 530 – 550°C (2 відпуск) в цехових умовах;

- 6 (шість) опорних планок довжиною 210 мм, шириною 80 мм і висотою 47,42 мм і шириною дорожок 25 мм і 20 мм (під трубу діаметром 15-22 мм і 23-30 мм відповідно) з сталі 4Х5МФ1С і піддані зміцнюючій термічній обробці (ступеневе загартування з 1080 – 1100°C та двократному відпуску при 550 – 570°C (1 відпуск) та 530 – 550°C (2 відпуск) в цехових умовах;

Для проведення дослідження також з поковок діаметром 250 мм були вирізані зразки-свідки розміром 20×20×20 мм і піддані аналогічній термічній обробці дослідним зразкам інструменту.

Найбільш надійну оцінку результатів азотування, карбонітрації, комбінованої обробки з нанесенням зносостійких покриттів дають металографічні дослідження, які дають відомості про товщину і будову шару з'єднань і дифузійного шару.

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 азотування, карбонітрації, комбінованої обробки був виконаний за допомогою мікротвердоміра (мікроскопа) - типу ПМТ-3 при навантаженні 100гс НV_{0,1}

Рентгеноструктурний аналіз дослідних зразків інструменту був проведений на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2.0 в кобальтовому Со-Ка випромінюванні із застосуванням Fe селективно поглинаючого фільтра. Дифраговане випромінювання реєструвалося сцинтиляційним детектором.

Результати. Побудовані і досліджені графіки зміни мікротвердості від поверхні до центру зразків після хіміко-термічної і комбінованої обробки, запропонований оптимальний режим іонного азотування, карбонітрації, комбінованої обробки (що підтверджено результатами замірів мікротвердості) для отримання високих експлуатаційних властивостей трубопресового і трубопрокатного інструмента, проведено дослідження структури азотованого, карбонітрованого шару і шару покриттів (мікроструктурне і електронне), проведено рентгеноструктурний аналіз дослідних зразків інструменту. Результатом роботи є розробка оптимальних режимів термозміцнення трубного інструмента, які забезпечують його високі експлуатаційні характеристики. В результаті сталь здобуває високу твердість на поверхні НV_{0,1} 860-1150, що не змінюється при нагріванні до 600 – 650°C, високу опірність зношуванню, високі границі витривалості, корозійну стійкість.

Наукова новизна. Вперше науково обґрунтовано вибір більш ефективного режиму термозміцнення трубного інструмента (з проведенням мікро і рентгеноструктурних досліджень), що дозволяє його використовувати в реальних умовах виробництва корозійно-стійких труб на трубних підприємствах «ПрАТ Сентравіс Продакшн Юкрейн», «ТОВ ВО Оскар» та ін.

Практична цінність. Удосконалення технології термічної обробки трубного інструмента (загартування з відпуском і послідовним іонним азотуванням, карбонітрацією, комбінованою обробкою з нанесенням одно і багатшарових покриттів замість звичайної технології – загартування з відпуском)

дозволить збільшити стійкість інструмента на 30- 40% та знизити витрати по переробці виготовлення корозійностійких труб, а також покращити якість внутрішньої поверхні труб.

Ключові слова: голка-оправка, матричне кільце, ролики, опорні планки, пресування, холодна прокатка, термічна обробка, карбонітрація, іонне азотування, комбінована обробка

Столбовой Вячеслав Александрович, доктор технических наук, начальник лаборатории разработки и исследования интенсивных ионно-плазменных технологий Института физики твердого тела, материаловедения и технологий Национального центра Харьковского физико-технического института Национальной Академии наук Украины, г. Харьков, Украина. ORCID ID: 0000-0001-7734-0642. E-mail: stolbovoy@kipt.kharkov.ua

Кривчик Лилия Сергеевна, магистр, аспирант кафедры материаловедения и термической обработки металлов, Украинский государственный университет науки и технологий, г. Никополь, Украина. ORCID ID: 0000-0002-7769-3808. E-mail: lcrivchik@gmail.com

Хохлова Татьяна Станиславовна, профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры материаловедения и термической обработки металлов, Украинский государственный университет науки и технологий, г. Днепр, Украина. ORCID ID: 0000-0002-6683-4572. E-mail: kh_gipo@ukr.net

Пинчук Виктория Леонидовна, преподаватель-методист высшей категории Никопольского профессионального колледжа Украинского государственного университета науки и технологий, г. Никополь, Украина. ORCID ID: 0000-0001-8257-9252. E-mail: v.l.pinchuk@nmt.org.ua

Дейнеко Леонид Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой материаловедения и термической обработки металлов, Украинский государственный университет науки и технологий, г. Днепр, Украина. ORCID ID: 0000-0002-1177-3055. E-mail: leonid_deyneko@i.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБНОГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Цель. Целью исследования является использование современных видов химико-термической обработки и нанесение наноструктурных износостойких покрытий для упрочнения трубного инструмента для производства коррозионностойких труб – трубопрессового инструмента (игл-оправок и матричных колец) и инструмента для холодной роликовой прокатки особотонкостенных труб – опорных планок и роликов.

Методика. Для проведения исследования были изготовлены:

- иглы-оправки трубопрофильных прессу усилием 16 МН в количестве 3 (трех) штук с стали 4Х5МФ1С диаметром 50 мм и длиной 1300 мм и подвергнуты упрочняющей термической обработке (ступенчатая закалка с 1050 - 1070°C и двукратном отпуска при 550 - 570°C (1 отпуск) и 530 – 550 °C (2 отпуск) в цеховых условиях;

- матричные кольца трубопрофильных прессу усилием 16 МН в количестве 10 (десяти) штук: из стали 5Х3ВЗМФС (ДИ-23): 6 (шесть) штук (1 штука диаметром 63,5 мм, 2 штуки диаметром 73,5 мм, 3 штуки диаметром 71,5 мм); из стали 4Х5МФ1С 4 (четыре) штуки диаметром 71,5 мм и 73,5 мм и подвергнуты упрочняющей термической обработке (ступенчатая закалка с 1080 - 1100°C и двукратном отпуска при 550 - 570°C (1 отпуск) и 530 - 550°C (2 отпуск) в цеховых условиях;

- ролики стана ХПТР в количестве 3 (трех) штук с стали 4Х5МФ1С вместо стали 60С2ХФА шириной 65 мм под диаметр трубы 16 мм и подвергнуты упрочняющей термической обработке (ступенчатая закалка с 1070 - 1080°C и двукратном отпуска при 550 - 570°C (1 отпуск) и 530 – 550 °C (2 отпуск) в цеховых условиях;

- 6 (шесть) опорных планок длиной 210 мм, шириной 80 мм и высотой 47,42 мм и шириной дорожек 25 мм и 20 мм (под трубу диаметром 15-22 мм и 23-30 мм соответственно) с стали 4Х5МФ1С вместо стали 60С2ХФА и подвергнуты упрочняющей термической обработке (ступенчатая закалка с

1080 – 1100 °С и двукратном отпуска при 550 - 570°С (1 отпуск) и 530 - 550°С (2 отпуск) в цеховых условиях;

Для проведения исследования также из поковок диаметром 250 мм были вырезаны образцы-свидетели размером 20 × 20 × 20 мм и подвергнуты аналогичной термической обработке исследовательским образцам инструмента.

Наиболее надежную оценку результатов азотирования, карбонитрации, комбинированной обработки с нанесением износостойких покрытий дают металлографические исследования, дающие сведения о толщине и строении слоя соединений и диффузионного слоя.

Также были проведены электронные исследования металлографических шлифов (выходные шлифы были порезаны на тонкие образцы по 5 мм), приготовлены и подвергнуты изучению на растровом электронном микроскопе (РЭМ), высокая разрешенная способность (до 60 А) и исключительная глубина резкости которого делают его почти незаменимым для металлографических исследований.

Замер твердости поверхности образцов после азотирования и карбонитрации был выполнен с помощью микротвердомера (микроскопа) - типа ПМТ-3 при нагрузке 100гс HV_{0,1}

Рентгеноструктурный анализ опытных образцов инструмента был произведен на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0 в кобальтовом Co-Kα излучении с применением Fe селективно поглощающего фильтра. Дифрагированное излучение регистрировалось сцинтилляционным детектором.

Результаты. Построены и исследованы графики изменения микротвердости от поверхности к центру образцов после химико-термической и комбинированной обработки, предложен оптимальный режим ионного азотирования, карбонитации, комбинированной обработок (что подтверждено результатами замеров микротвердости) для получения высоких эксплуатационных свойств трубопрессового и трубопрокатного инструмента, проведено исследование структуры карбонитрированного слоя и слоя покрытий (микроструктурное и электронное), проведен рентгеноструктурный анализ опытных образцов инструмента. Результатом работы является разработка оптимальных режимов термоупрочнения трубного инструмента, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики. В результате сталь приобретает высокую твердость на поверхности HV_{0,1} 860-1150, не изменяющуюся при нагревании до 600 – 650°С, высокую сопротивляемость износу, высокие пределы выносливости, коррозионную стойкость.

Научная новизна. Впервые научно обоснован выбор более эффективного режима термоупрочнения трубного инструмента (с проведением микро и рентгеноструктурных исследований), что позволяет его использовать в реальных условиях производства коррозионностойких труб на трубных предприятиях «ЧАО Сентравис Продакшн Юкрейн», «ООО ПО Оскар» и др.

Практическая ценность. Усовершенствование технологии термической обработки трубного инструмента (закалки с отпуском и последующим ионным азотированием, карбонитрацией, комбинированной обработкой с нанесением одно и многослойных покрытий вместо обычной технологии – закалки с отпуском) позволит увеличить стойкость инструмента на 30- 40% и снизить расходы по переработке, а также улучшить качество внутренней поверхности труб.

Ключевые слова: игла-оправка, матричное кольцо, ролики, опорные планки, прессование, холодная прокатка, термическая обработка, карбонитрация, ионное азотирование, комбинированная обработка

Vyacheslav Stolbovy, Doctor of Engineering, Head of the Laboratory of Development and Research of Intensive Ion-Plasma Technologies of the Institute of Solid State Physics, Materials Science and Technologies of the National Center of the Kharkiv Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. ORCID ID: 0000-0001-7734-0642. E-mail: stolbovoy@kipt.kharkov.ua

Lilia Kryvchyk, Master, Postgraduate Student, Department of Materials Science and Heat Treatment of Metals, Ukrainian State University of Science and Technology, Nikopol, Ukraine. ORCID ID: 0000-0002-7769-3808. Email: lcryvchik@gmail.com

Tetyana Khokhlova, Professor, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Materials Science and Heat Treatment of Metals, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0002-6683-4572. E-mail: kh_gipo@ukr.net

Victoria Pinchuk, teacher-methodologist of the highest category, Nikopol Vocational College Ukrainian State University of Science and Technology, Nikopol, Ukraine. ORCID ID: 0000-0001-8257-9252. E-mail: v.l.pinchuk@nmt.org.ua

Leonid Deineko, Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Materials Science and Heat Treatment of Metals, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine. ORCID ID: 0000-0002-1177-3055. E-mail: leonid_deyneko@i.ua

INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF STAMP STEEL FOR MANUFACTURE OF PIPE TOOLS AFTER CONDUCTING STRENGTHENING THERMAL THERMAL AND THERMAL

Purpose. The aim of the research is to use modern types of chemical-heat treatment and application of nanostructured wear-resistant coatings to strengthen pipe tools for corrosion-resistant pipes - pipe press tool (needle-mandrels and matrix rings) and tool for cold roller rolling of special-thin pipes - support bars and rollers.

Methods. For the study were made:

- needles-mandrels of a pipe-profile press with a force of 16 MN in the amount of 3 (three) pieces of steel - 4H5MF1S with a diameter of 50 mm and a length of 1300 mm and subjected to hardening heat treatment (step hardening from 1050 - 1070°C and double tempering at 550 - 570° (1 tempering) and 530 - 550°C (2 temperings) in shop conditions;

- matrix rings of a pipe-profile press with a force of 16 MN in number of 10 (ten) pieces: from steel 5X3V3MFS (DI-23): 6 (six) pieces (1 piece with a diameter of 63,5 mm, 2 pieces with a diameter of 73.5 mm, 3 pieces with a diameter 71.5 mm); made of steel 4X5MF1S 4 (four) pieces with a diameter of 71.5 mm and 73.5 mm and subjected to hardening heat treatment (step hardening from 1080 - 1100°C and double tempering at 550 - 570°C (1 tempering) and 530 - 550° C (2 1 temperings) in the shop;

- rollers of the HPTR mill in the amount of 3 (three) pieces of steel 4X5MF1S instead of steel 60S2HFA 65 mm wide under the diameter of the pipe 16 mm and subjected to hardening heat treatment (step hardening with 1070 - 1080°C and double tempering at 550 - 570 °C(1 tempering) and 530 - 550 °C (2 temperings) in shop conditions;

- 6 (six) support bars 210 mm long, 80 mm wide and 47.42 mm high and track widths 25 mm and 20 mm (under a pipe with a diameter of 15-22 mm and 23-30 mm, respectively) made of steel 4H5MF1S instead of steel 60S2HFA and subjected to hardening heat treatment (step hardening with 1080 - 1100°C and double tempering at 550 - 570°C (1 tempering) and 530 - 550°C (2 temperings) in shop conditions;

For the study, also from forgings with a diameter of 250 mm were cut witness samples with a size of 20 × 20 × 20 mm and subjected to a similar heat treatment to experimental samples of the tool. Goal. The aim of the research is to use modern types of chemical-heat treatment and application of nanostructured wear-resistant coatings to strengthen pipe tools for corrosion-resistant pipes - pipe press tool (needle-mandrels and matrix rings) and tool for cold roller rolling of special-thin pipes - support bars and rollers.

Electronic studies of metallographic sections (original sections were cut into thin samples of 5 mm), prepared and studied on a scanning electron microscope (REM), high resolution (up to 60 Å) and exceptional depth of field which made it almost indispensable for metallographic research.

Measurement of the surface hardness of the samples after nitriding, carbonitriding, combined treatment was performed using a microhardness tester (microscope) - type PMT-3 at a load of 100 gs HB_{0,1}

X-ray diffraction analysis of the experimental samples of the instrument was performed on an X-ray diffractometer DRON-2.0 in cobalt Co-K α radiation using Fe selectively absorbing filter. The diffracted radiation was recorded by a scintillation detector.

Results. Graphs of change of microhardness from the surface to the center of samples after chemical-thermal and combined processing are constructed and investigated, the optimum mode of ionic nitriding, carbonitration, combined treatments is offered, carbonated layer and coating layer (microstructural and electronic), X-ray diffraction analysis of prototypes of the tool. The result is the development of optimal modes of thermal strengthening of the pipe tool, which provide its high performance. As a result, the steel acquires high hardness on the surface HV_{0,1} 860-1150, which does not change when heated to 600- 650° C, high wear resistance, high endurance limits, corrosion resistance.

Originality. For the first time, the choice of a more efficient mode of heat strengthening of a pipe tool (with micro and X-ray structural studies) has been scientifically substantiated, which allows its use in real conditions of corrosion-resistant pipe production at pipe enterprises PJSC CentraVis Production Ukraine, Oscar LLC and others.

Practical implications. Improving the technology of heat treatment of pipe tools (hardening with tempering and subsequent ionic nitriding, carbonitriding, combined treatment with single and multilayer coatings instead of the usual technology - tempering with tempering) will increase tool life by 30-40% and reduce processing costs, as well as improve the quality of the inner surface of the pipes.

Key words: needle-mandrel, matrix ring, rollers, support bars, pressing, cold rolling, heat treatment, carbonitration, ionic nitriding, combined treatment

Рукопис надійшов 15.06.2021 р.