

Г.О. Сребрянський, Л.С. Кривчик, Т.С. Хохлова, А.М. Головачов, С.М. Підгорний

Зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб нанесенням покриттів аморфних сплавів

Grigory Srebryansky, Lilia Krivchik, Tatiana Khokhlova, Artem Holovachov, Serhii Pidhorneyi

Strengthening of pipe pressing tools for production of corrosion-resistant pipes by application of amorphous alloys

Мета. Створення й обробка високопродуктивних, стійких в експлуатації інструментів для виробництва труб із корозійностійких сталей на трубопресових установках, які могли б протистояти жорстким умовам роботи.

Методика. Аналітичні та експериментальні дослідження в умовах ТОВ ВО «ОСКАР». Мікротвердість зразків отриманих на основі вториннотвердіючих напівтеплостійких сталей мартенситного класу 4Х5МФ1С і 5Х3В3МФС вимірювали на приладі ПМТ-3 на підготовленій поверхні покриття. Для вивчення структурного стану, комплексу фізико-механічних властивостей, фазового складу, стану поверхневого шару інструменту зразків використовували такі методи дослідження і випробувань: металографічний аналіз виробів і зразків з використанням оптичного металографічного мікроскопу «Axiovert 200 MAT Zeiss»; метод електронної мікроскопії з застосуванням растрового електронного мікроскопу «РЕМ-106И» (прискорювальна напруга 100кВ).

Результати. Внаслідок запропонованої технології підвищуються міцність, зносостійкість, а також твердість до $HV_{0,1} 980 \div 1150$ для сталей 5Х3В3МФС (ДИ-23) і $HV_{0,1} 860 \div 980$ для 4Х5МФ1С (в порівнянні із $HV 587 - 590$ за існуючою технологією термічної обробки в заводських умовах). Також трубний інструмент здобуває високу твердість поверхні, що в комплексі забезпечує роботу інструменту при нагріванні до $600 \div 650^\circ\text{C}$.

Наукова новизна. В роботі запропонована технологія термозміцнення трубопресового інструмента (матричних кілець складних матриць) горизонтальних пресів зі сталей 4Х5МФ1С і 5Х3В3МФС, яка виключає третій відпуск і використовує нанесення покриття із порошків аморфних сплавів товщиною $100 \div 150$ мкм.

Практична значущість. Показано, що газоплазмове нанесення покриттів з аморфного сплаву на основі системи Fe - Si - B збільшує твердість поверхні матриць в $1,6 \div 2,2$ рази і їх стійкість на $\sim 40 \div 60\%$.

Ключові слова: Пресування, інструмент, теплостійкість, легування, покриття, стрічка, зносостійкість, матриця.

Purpose. Creation and processing of high-performance, durable tools for the production of pipes from corrosion-resistant steels on pipe presses that could withstand harsh working conditions.

Methodology. Analytical and experimental research in the conditions of "OSKAR" LLC. The microhardness of the samples obtained on the basis of secondary hardening semi-heat-resistant steels of the martensitic class 4X5MF1C and 5X3B3MFS was measured on the PMT-3 device on the prepared surface of the coating. To study the structural state, the complex of physical and mechanical properties, phase composition, the state of the surface layer of the tool and samples, the following research and testing methods were used: metallographic analysis of products and samples using an optical metallographic microscope "Axiovert 200 MAT Zeiss"; the method of electron microscopy using the scanning electron microscope "REP-106Y" (accelerating voltage 100kV).

Results. The proposed technology increases strength, wearing and heat resistance, as well as hardness up to $HV_{0,1} 980 \div 1150$ for steels 5X3B3MFS (DI-23) and $HV_{0,1} 860 \div 980$ for 4X5MF1C in comparison with $HV 587 \div 590$ according to the existing technology of heat treatment in the factory). Also the pipe tool acquires high hardness of a surface that provides work of the tool at heating to $600 \div 650^\circ\text{C}$.

Scientific novelty. The paper proposes a technology for thermal strengthening of tube press tools (matrix rings of complex matrices) of horizontal presses made of 4X5MF1C and 5X3B3MFS steels, which excludes the third temper and uses the application of a coating of amorphous alloy powders with a thickness of $100 \div 150$ microns.

Practical value. It is shown that gas-plasma application of amorphous alloy coatings based on the Fe - Si - B system increases the hardness of the surface of the matrices in $1.6 \div 2.2$ times and their stability by $\sim 40 \div 60\%$.

Keywords: Pressing, tool, heat resistance, alloying, coating, tape, wear resistance, matrix.

Вступ. Труби із корозійностійких сталей знаходять широке використання в авіації, ракетобудуванні, атомній енергетиці, суднобудуванні та інших відповідальних галузях промисловості. Їх виготовляють, в основному, методом пресування на трубопрофільних пресах. В процесі виробництва таких труб використовують велику кількість трубного інструменту, вартість якого становить до 25% від вартості всього технологічного процесу в трубопресовому цеху. Методом пресування виробляється велика кількість напівфабрикатів, виготовлених з чорних і кольорових металів. Продуктив-

ність прес-установок, якість і вартість готової продукції залежить, значною мірою, від властивостей пресового інструменту [1]. Робочий інструмент працює в умовах високих температур, інтенсивних швидкостей ковзання і значного питомого тиску, що зумовлює необхідність використання високолегованих теплостійких інструментальних сталей, які мають підвищену в'язкість і міцність [2]. Умови роботи пресового 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. Матриця є найбільш навантаженим інструментом, в якому змінюється форма заготовки, тому вона – найбільш зношена частина пресового інструменту. Основні причини руйнування матриць: втрата форми і розмірів каналу, крихке руйнування і розгарні тріщини (рис. 1). Тиск на гравюру матриць досягає 1000 МПа [2]. Умови експлуатації матриць ставлять до її матеріалу такі вимоги: висока теплостійкість, в'язкість, висока розгаростійкість, зносостійкість, жаростійкість, висока теплопровідність [3].

Тому створення високопродуктивного і стійкого в експлуатації трубного інструменту зв'язане, у першу чергу, із одержанням і обробкою таких матеріалів, які могли б протистояти жорстким умовам роботи. Високі механічні властивості інструменту і його теплостійкість (червоність) досягаються спеціальним легуванням і термічною обробкою, але ці методи не завжди дають бажаний результат. Тому певний інтерес представляє вдосконалення і коректування технологій термічної обробки і нанесення спеціальних покриттів для підвищення зносостійкості інструменту.



Рисунок 1. Фото зносу матриці трубопрофільного пресу

Комплекс властивостей, якими повинен володіти пресовий інструмент, досягається використанням при його виготовленні жароміцних сталей аустенітного і мартенситного класів, легуваних хромом, вольфрамом, нікелем, молібденом. Для виготовлення матричних кілець збірних матриць горизонтальних трубопрофільних пресів використовують вториннотвердіючі сталі 5ХЗВЗМФС і 4Х5МФ1С, які піддають термічній обробці [4].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. При експлуатації інструменту одним з основних видів руйнування є знос (зношування) поверхні. Встановлено, що 85 ÷ 90 % інструменту, що використовується в процесах пресування, виходить з ладу в результаті зносу і тільки 10 ÷ 15 % з інших причин [5].

Знос – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні інструменту і (або) накопичення його залишкової деформації при терті, який проявляється у поступовому зміні розмірів і (або) форми інструменту (ГОСТ 23002-78). Він пов'язаний з ковзанням заготовки, яка деформується, по поверхні інструменту при наявності тертя між ними. Як показує практика, стиранню сприяють нор-

мальні і дотичні напруження, що діють спільно або роздільно. При зносі поверхня інструменту набуває нерегулярного поглиблення, що переходить в наступній стадії в сітку тріщин. Дотичні напруження є причиною утворення канавок, що тягнуться вздовж напрямку течії деформованого металу [6].

Основним видом зміцнення трубного інструменту є використання термічної і хіміко-термічної обробки (ХТО). Можна виділити наступні основні напрямки розвитку процесів ХТО:

- розробка ресурсозберігаючих технологій ХТО на основі застосування вакууму, киплячого шару, циклічної обробки в замкнутому просторі, джерел з високою концентрацією енергії (тліючого, дугового розрядів, електронного та лазерного нагріву, СВЧ-технології);

- розробка нових маловідходних технологій отримання композиційних металевих малозносних і корозійностійких покриттів, зокрема осадженням з газової фази [7].

В даний час з технологій такого виду широко застосовуються іонна ХТО в тліючому розряді (іонне азотування, цементація, нітроцементація) і в киплячому шарі (цементація, нітроцементація).

- вакуумна хіміко-термічна обробка: азотування, цементації і нітроцементації в вакуумі. Ці технології значно простіше в апаратурному оформленні в порівнянні з обробкою в тліючому розряді. При цьому в 2 ÷ 3 рази зменшується споживання насичуючих газів, створюються умови для регулювання будови дифузійного шару в широких межах [8];

- хіміко-термічна обробка в замкнутому просторі. Вона проводиться шляхом циклічної (імпульсної) подачі компонента в робочий простір печі: азотування, нітроцементації і цементації в замкнутому просторі. Витрата насичуючих газів скорочується в 3 ÷ 10 разів, можливо регулювання будови шару в широких межах [9];

- застосування для ХТО атмосфери на основі повітря і сумішей, що регенерують, які на основі повітря випробувані при азотуванні (при цьому розбавлення аміачної атмосфери до 30-50% повітрям прискорює насичення в 1,5 рази) [10];

- лазерна хіміко-термічна обробка – проводиться в режимі розплавлення поверхні (за рахунок введення легуючих елементів в зону плавлення можна цілеспрямовано змінювати хімічний склад поверхні і обробляти матеріали, які не мають фазових перетворень і мало зміцнюються традиційними методами термічної і хіміко-термічної обробки) [11].

Одним з перспективних напрямків підвищення стійкості інструменту є його зміцнення зносостійкими покриттями. Нанесення покриттів проводять методом конденсації речовини з катодно-іонним бомбардуванням (метод КІБ) на установках «Булат» і «Пуск», а також методом осадження з газової фази. Методом КІБ наносять різні за складом покриття [12]. Найбільшого поширення набули покриття з нітриду і карбіду титану, рідше застосовуються покриття з нітриду і карбіду молібдену, цирконію, ванадію, ніобію і ін. Методом КІБ не можна зміцнювати внутрішні приховані поверхні. Слід зазначити також високу початкову вартість устаткування і складність його експлуатації [12]. Методом осадження з газової фази наносять покриття з карбідів хрому, титану, ніобію, ванадію, цирконію. Після покриття сталевий інструмент піддається термообробці, яка його зміцнює. Метод відрізняється простотою і невисокою вартістю пристроїв, які застосовують [13].

Також відомі засоби нанесення зносостійких порошкових покриттів на основі нікелю і добавками кремнію, вуглецю та хрому на плазмових установках УПУ-3Д на різні деталі з метою підвищення їх зносостійкості [14], в тому числі наноструктурних [15].

Новий клас металургійних матеріалів – аморфні сплави, які мають високі механічні властивості: високу міцність, твердість та зносостійкість [16]. Найбільш продуктивним і широко розповсюдженим засобом отримання цих матеріалів є загартування із розплаву у вигляді стрічки [17]. Комплекс властивостей цих матеріалів доцільно було б за-

стосувати в якості покриттів, але аморфна стрічка сплавів на основі заліза пластична і з неї важко отримати порошок фракції - 100 мкм. Зазвичай порошки мікрокристалічних і аморфних сплавів виробляють розпиленням розплаву [18]. Цей спосіб найбільш продуктивний і економічний у порівнянні з іншими способами, але він має два недоліки: навіть при розпилюванні інертними газами поверхня частинок порошку містить оксиди, розміри одержаних часток від 3 до 300 мкм, тобто, дуже великий розкид по швидкості охолодження. Оксиди погіршують властивості покриттів деталей і одержаних виробів, а великий розкид розмірів частинок обумовлює анізотропію їх властивостей через різницю швидкостей охолодження [19].

Цих недоліків можна позбутися при отриманні порошків аморфних сплавів розмелом аморфної стрічки [19]. По-перше, швидкості охолодження при розпилюванні розплаву не перевищують $10^3 \div 10^4$ К/с, а при отриманні стрічок або волокон – до $\sim 10^6 \div 10^7$ К/с. Таке збільшення швидкості охолодження при загартуванні розплаву на кілька порядків скорочує час перебування розплаву в рідкому стані, тим самим практично виключаючи окислення поверхні стрічки [19].

По-друге, розміри частинок порошку, одержаного розпиленням, збігається з товщиною аморфних стрічок. Сумарна площа поверхні стрічки буде в ~ 6 разів менше сумарної площі порошкових частинок, що отримуються з однакового об'єму розплаву. При цих умовах охолодження обидві поверхні стрічки практично не встигнуть окислюватися, тому в вихідному матеріалі (стрічці) для отримання аморфного порошку кількість оксидів буде дуже мала, а однорідність аморфної стрічки по товщині ($\pm 1 - 2$ мкм) сприяє однакової швидкості охолодження всього об'єму розлитого металу [14].

Зносостійкі покриття з аморфних сплавів застосовують на машинобудівних підприємствах, наприклад, при відновленні і зміцненні зношених поверхонь валів і зубчастих коліс, при відновленні колінчастих і розподільних валів, зміцненні головок клапанів транспортних засобів, тощо [18]. В поліпшенні експлуатаційних властивостей високонавантажених деталей і вузлів тертя прокатного і трубопрокатного обладнання зносостійкі покриття, зокрема з аморфних сплавів, не знайшли широкого використання, окрім досліджень, проведених в роботі [20]. Тому проблема використання порошків аморфних сплавів для зміцнення трубного інструменту є недостатньо вивченою, хоча і має широкі перспективи використання і значні переваги.

Мета і завдання дослідження. Традиційна технологія зміцнення термічною і хіміко-термічною обробкою пресового інструменту із вказаних сталей майже вичерпала свої можливості по подальшому підвищенню його експлуатаційних властивостей. Тому метою даного дослідження є удосконалення методів зміцнення основного трубопресового інструменту – матричних кілець складних матриць горизонтальних трубопрофільних пресів для

пресування корозійностійких труб, які важко деформуються, шляхом нанесення аморфного покриття для підвищення стійкості в експлуатації.

Матеріали та методи досліджень. Для виготовлення важконавантаженого трубопресового інструменту (матричних кілець збірних матриць горизонтальних трубопрофільних пресів) найчастіше використовують вториннотвердіючі напівтеплостійкі сталі мартенситного класу 4Х5МФ1С і

5ХЗВЗМФС, які піддають термічній обробці (загартуванню з відпуском). З метою зміцнення інструменту в роботі запропоновано після загартування з відпуском виконати газоплазмове нанесення на робочу поверхню кілець нанопорошків аморфного сплаву на основі системи Fe-Si-B, товщиною 100 ÷ 150 мкм.

Хімічний склад сталей наведено в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1. Хімічний склад сталі 4Х5МФ1С, % по масі (ГОСТ 5950-73) [3]

C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
0,32	0,90	0,20	4,50	0,30	1,20	Не більше			
0,40	1,20	0,50	5,50	0,50	1,50	0,35	0,30	0,30	0,03

Таблиця 2. Хімічний склад сталі 5ХЗВЗМФС, % по масі (ГОСТ 5950-73) [3]

C	Si	W	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
0,45-0,55	0,8-1,1	2,8-3,3	0,15-0,45	2,5-3,5	0,3-0,5	1,2-1,5	Не більше			
							0,35	0,30	0,03	0,03

Характерною рисою сталей 4Х5МФ1С і 5ХЗВЗМФС є комплексне легування і схильність до дисперсійного твердіння. Високий рівень легування сприятливо впливає на міцність, прогартуваність, теплостійкість сталі і дає можливість використовувати її для інструментів, що розігріваються в процесі роботи до 600 °С. Дисперсійне твердіння забезпечує гарні деформуючі властивості інструмента [21].

Для проведення досліджень були виготовлені матричні кільця трубопрофільного пресу у кількості 8 (восьми) штук: зі сталі 5ХЗВЗМФС (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 2 (дві) штуки діаметром 71,5 мм і 73,5 мм. Кільця виготовлені на ТОВ «Метінсервіс Груп» (м. Нікополь) і піддані зміцнюючій термічній обробці (ступеневе загартування з 1080 ÷ 1100 °С

та двократному відпуску при 550 ÷ 570 °С (1 відпуск) та 530 ÷ 550 °С (2 відпуск).

Внаслідок низької стійкості матричних кілець (до 5 ÷ 6 пресувань) запропонована удосконалена технологія зміцнення кілець – після загартування з відпуском на робочі поверхні кілець виконали газоплазмове нанесення нанопокриття аморфного сплаву на основі системи Fe-Si-B для отримання шару 0,1 ÷ 0,15 мм і твердістю HV_{0.1} 980-1150.

Стрічку в аморфному стані товщиною від 15 до 100 мкм отримали подачею розплаву на поверхні обертового барабана-кристалізатора в Інституті фізики металів АН України. При такому способі скорочується загальна поверхня (у порівнянні із порошком такої самої маси), внаслідок чого практично відсутнє окислення але швидкість охолодження за рахунок підвищення теплопровідності значно вище, і однакова по всій довжині стрічки. Хімічний склад стрічки наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Хімічний склад (вагова доля, %) порошку на основі Ni і Fe

Елемент	Ni	Cr	Si	B	C	Fe	Mo	Co	P
Хімічний склад	9,49	2,1	1,14	1,09	1,46	Інше	7,75	7,15	5,63

Відпал і розмел стрічки були виконані на кафедрі електрометалургії Національної металургійної академії України. Ефективність розмелювання стрічки була забезпечена низькотемпературним відпалом (180 ÷ 200 °С) [22], в процесі якого відбувається так звана структурна релаксація [23, 24], коли аморфний стан зберігається, але стрічка стає крихкою і легко перемелюється у порошок.

Плазмове нанесення порошкового покриття товщиною 100 ÷ 150 мкм на робочі поверхні кілець і експериментальних зразків вказаних марок сталей виконали на установці УПУ-3Д лабораторії плаз-

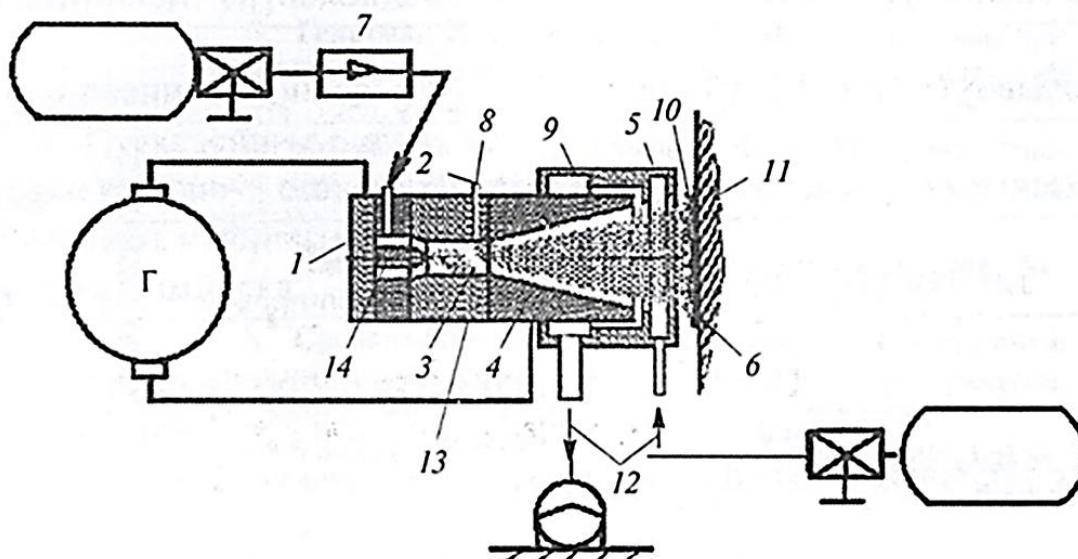
мових технологій кафедри матеріалознавства і обробки матеріалів Придніпровської державної Академії будівництва і архітектури.

В газоплазмовій промисловій установці (рис. 2) порошок 8, що напильють, транспортується газом 2, подається перпендикулярно в плазмовий потік 3 і далі через сопло 9 на поверхню інструменту 11, що обробляється. Нагріті стінки насадки 4 з конічною порожниною, яка захищає частки, які напильються від кисню, що міститься в навколишньому середовищі, підвищують швидкість нагрівання частинок, які напильються. Компенсатор 5 на тор-

ці сопла 9 усуває тепловий вплив плазмового потоку 3 на покриття 6 і інструмент.

Технологія газоплазмового напилення полягає в наступному: матеріал, що наноситься на поверхню інструменту, пластифікують нагріванням, роз-

ганяють потоком газу і транспортують до поверхні інструменту. При ударі шорсткої поверхні інструменту, частки розплавленого матеріалу впроваджуються в поверхневий шар, утворюючи покриття [20].



1 – плазмотрон з іонізуючим газом; 2 – аморфний порошок; 3 – плазмовий потік; 4 – спеціальна насадка; 5 – компенсатор теплового впливу плазми; 6 – готове покриття на робочій поверхні технологічного інструменту; 7 – іонізуючий газ; 8 – порошок; 9 – сопло; 10 – шар, що напилюється; 11 – інструмент; 12 – захисний газ; 13 – анод; 14 – катод.

Рисунок 2. Схема газоплазмового покриття робочої поверхні інструменту преса

Контроль якості напиленого покриття проводили візуально за наявністю відшарувань та сколів. Технологічні розміри контролювали за допомогою засобів вимірювання. Мікротвердість зразків вимірювали на приладі ПМТ-3 на підготовленій поверхні покриття [25]. Для вивчення структурного стану, комплексу фізико-механічних властивостей, фазового складу, стану поверхневого шару інструменту і зразків використовували такі методи дослідження і випробувань:

- металографічний аналіз виробів і зразків з використанням оптичного металографічного мікроскопу «Axiovert 200 MAT Zeiss»;
- метод електронної мікроскопії з застосуванням растрового електронного мікроскопу «РЕМ - 106И» (прискорювальна напруга 100кВ) [26].

Результати досліджень. Режими термозміцнення матричних кілець і дослідних зразків наведені в таблиці 4.

В технологічний процес зміцнення матричних кілець для пресування корозійностійких труб нанесенням покриттів з аморфного сплаву входили наступні операції:

- виплавка вихідної заготовки аморфного сплаву потрібного складу;
- отримання з заготовки аморфної стрічки;
- низькотемпературний відпал стрічки ($180 \pm 200^\circ\text{C}$);
- розмел крихкої стрічки після відпалу на стандартних млинах;
- стандартне розділення отриманого порошку на фракції;
- безпосереднє нанесення покриття з використанням плазми.

Таблиця 4. Режими термічної обробки інструменту і дослідних зразків

Режим обробки	Температура відпуску, $^\circ\text{C}$			Твердість, $\text{HV}_{0,1}$
	I	II	III	
1 – загартування+відпуск	560 - 580	550 - 560	520 - 530	587 - 590
2 – 5ХЗВЗМФС (ДИ-23) загартування+відпуск+покриття	560 - 580	550 - 560	-	980 - 1145

3 – 4X5МФ1С загартування +відпуск+покриття	560 - 580	550 - 560	-	860 - 980
---	-----------	-----------	---	-----------

Заготівка аморфного сплаву виплавлялась у вакуумній індукційній печі. Потім вона розміщувалась у кварцовому тиглі з соплом в нижній його часті. В подальшому здійснювали розплавлення заготовки в полі індуктору і подавали в тигель інертний газ під тиском, за рахунок чого із сопла витікав калібрований потік розплаву, який формувався на обертовій поверхні барабану у стрічку. Реалізована швидкість охолодження ($\sim 10^5 \div 10^6$ K/c) забезпечувала аморфний стан стрічки.

Для плазмового напилення поверхні кілець використовували мелений порошок фракцією $50 \div 150$ мкм. Для проведення розсіювання порошоків на фракції застосовували сітки металеві, ткані з квадратними комірками нормальної точності по ГОСТ 6613-86.

Перед застосуванням проводили сушку порошок у сушильній шафі при температурі $150 \div 200$ °C протягом $2 \div 3$ годин. Порошок сушили на листах з корозійностійкої сталі, періодично перемішуючи. Товщина шару засипки була не більше 20 мм. Просушування дозволяє видалити з порошку адсорбовану вологу, яка є джерелом дифузійного водню, що викликає підвищену пористість і появу тріщин в покритті [27].

Попередня підготовка поверхні кілець полягала в активації поверхні і наданні їй необхідної шорсткості методом пневмо-абразивної обробки електророкундом марки F-16 при тиску 0,5 МПа. Вона обов'язкова і проводиться з метою забезпечення необхідної адгезійної міцності [28].

Після пневмо-абразивної обробки кілець, їх обдували сухим стислим повітрям для видалення часток абразиву з поверхні. Оброблена поверхня мала бути матовою, сірого кольору, без блискучих ділянок. Перерва між пневмо-абразивною обробкою і нанесенням покриттів не повинна перевищувати $2 \div 4$ години [29].

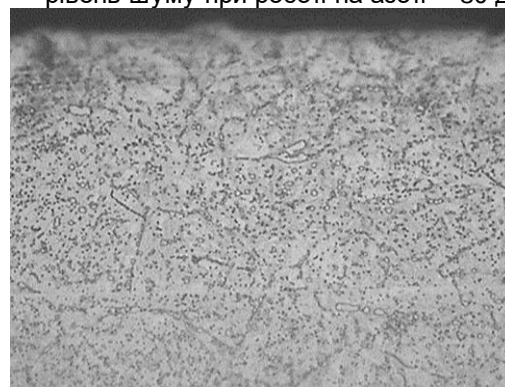
Покриття наносили на універсальній плазмовій установці УПУ-ЗД, призначеній для нанесення зносостійких, фрикційних, ізоляційних і інших спеціальних покриттів на поверхні деталей методом плазмового напилення порошкових матеріалів [30, 31].

Технічні характеристики установки УПУ-ЗД для плазмового напилення:

- витрата плазмоутворюючого газу: аргону – $25 \div 30$ л/хв; азоту – $5 \div 10$ л/хв;
- максимальний струм – 400 А;
- напруга холостого ходу – 160 В;
- фракція порошку, що напилюється – $40 \div 315$ мкм;
- продуктивність напилення – до 2-х кг/год;
- ресурс роботи сопла на технічному азоті – до 140 год;
- витрата води на охолодження плазмотрона – до 7 л/хв;
- тиск води на вході в плазмотрон – не менше 0,2 МПа;
- температура води на виході з плазмотрону – не більше 50°C;
- ККД установки – 60 %;
- рівень шуму при роботі на азоті – 80 дБ.



а



б

Рисунок 3. Мікроструктура поверхні зразків сталі 4X5МФ1С після плазмового нанесення покриттів (оптичні дослідження) : а - $\times 200$; б - $\times 800$

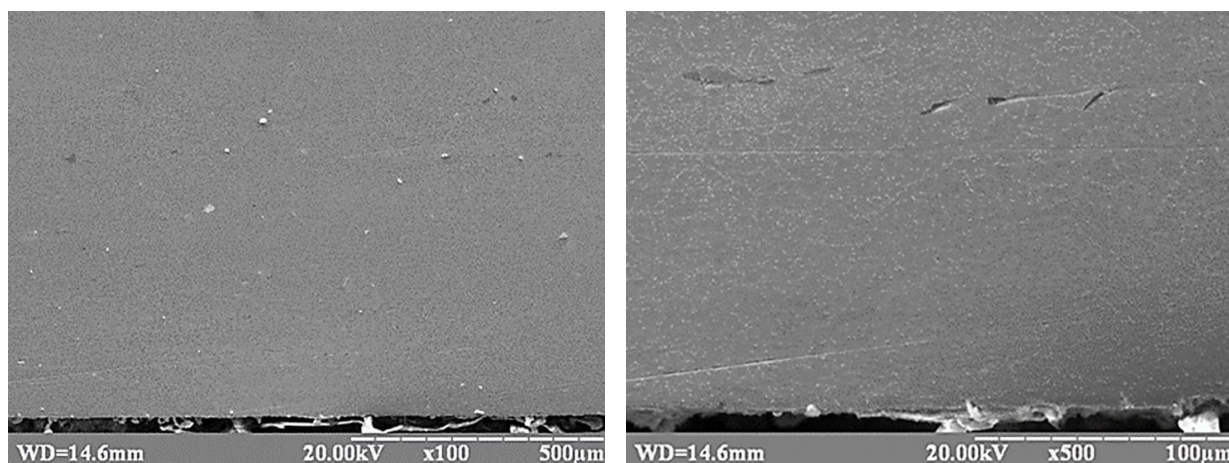


Рисунок 4. Мікроструктура поверхні зразків сталі 4X5MФ1C після плазмового нанесення покриття (електронне дослідження) : а - $\times 100$; б - $\times 500$

Мікроструктури зразків сталей (оптичні і електронні дослідження) наведені на рис. 3 і 4. На поверхні зразків – покриття аморфного сплаву, а серцевина і перехідний шар – мартенсит відпущений та карбіди хрому, вольфраму, молібдену, ванадію.

Випробування кілець проведено на пресовій дільниці ТОВ ВО «ОСКАР» м. Дніпро на горизонтальному трубопрофільному пресі зусиллям 16 МН показало підвищення їх механічних властивостей. Якщо стійкість матричних кілець після звичайного термозміцнення складає $5 \div 6$ пресувань, то кільця, додатково піддані газоплазмовому нанесенню покриття з аморфного сплаву на основі системи Fe-Si-B показали стійкість $9 \div 10$ пресувань внаслідок більш високої твердості (збільшення твердості в $1,6 \div 2,2$ рази), теплостійкості, зносостійкості.

Висновки. Проведено аналіз літературних даних по засобам підвищення зносостійкості поверхні інструменту, зокрема трубопресового.

Досліджені матричні кільця зі сталей 4X5MФ1C і 5X3B3MФC, на які наносили покриття з аморфних

сплавів. Запропонована технологія, що включає отримання аморфної стрічки системи Fe-Si-B, порошку з неї і нанесення його на поверхню матричних кілець.

Випробування в заводських умовах матричних кілець з нанесеним покриттям показало збільшення їх стійкості на $25 \div 30\%$ (з $5 \div 6$ пресувань до $9 \div 10$) в порівнянні з технологією, що використовується на підприємствах та покращення якості внутрішньої поверхні труб.

Запропонована технологія термозміцнення і додаткового нанесення плазмовим напиленням на робочу поверхню кілець нанопокриття із аморфних сплавів товщиною $100 \div 150$ мкм виключає третій відпуск, змінює структуру і властивості поверхневого шару, підвищує міцність, зносо- і теплостійкість і твердість до $HV_{0,1} 980 \div 1150$ для сталі 5X3B3MФC (ДИ-23) і до $HV_{0,1} 860 \div 980$ для сталі 4X5MФ1C (в порівнянні з $HV 587-590$ по існуючій технології). В результаті сталь здобуває високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріванні до $600 \div 650^\circ\text{C}$.

Бібліографічний опис

1. Каргин В.Р., Каргин Б.В. Теория и технология прессования, прокатки и волочения: учеб. пос. Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 72 с.
2. Шерба В. Н., Райтбарг Л. Х. Технология прессования металлов: учеб. пос. М.: Металлургия, 1995. – 153 с.
3. Технологии производства нержавеющей труб: сборник лекций / за об. ред. Е.Я. Лезинской; состав. К. М. Бильдин. Никополь: Сентравис, 2019. – 89 с.
4. Смольников Е.А. Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах: учеб. пос. М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
5. Космацкий Я.И. Исследование процесса износа трубопресового инструмента и разработка технических решений, направленных на повышение его эксплуатационного ресурса: квалиф. работа / за общ. научн. ред. Я.И. Космацкого, Е.В. Королева: Россия, Челябинск, 2017. – 165 с.
6. Semenov M.Yu. Control of the structure of carburized layers of refractory steels, Part 1, «Metallurgy and heat treatment of metals», №5 (695), May 2013 year.
7. Semenov M.Yu. Control of the structure of carburized layers of refractory steels, Part 2, «Metallurgy and heat treatment of metals», №6 (696), June 2013 year.
8. E.V. Korbut "Modern Methods of Surface Hardening of Tools" // Problems of Grating and Construction. - 2010. - VIP. 54. - p. 149 - 153.
9. LG Voroshnin "Prospects for the development of chemical-thermal treatment", "Strengthening technologies and coatings", №1 (37), January 2008, page 5 - 8.
10. Y. Sun, A. Bloyce and T. Bell. Finite element analysis of plastic deformation of various TiN coating/substrate systems under normal contact with a rigid sphere // Thin Solid Films. 1995, v. 271, p. 122 - 131.

11. M. Bader, H.-J. Spies, K. Hock, E. Broszeit, H.-J. Schroder. Properties of duplex treated (gas-nitriding and PVD-TiN, Cr2N) low alloy steel // Surface and Coatings Technology. 1998, v. 98, p.891-896.
12. T. Bell, H. Dong and Y. Sun. Realising of the potential of duplex surface engineering // Tribology International. 1998, v.31, № 1-3, p.127 - 137.
13. Andre Anders. Handbook of plasma immersion ion implantation and deposition. John Wiley & Sons, inc, 2000.
14. Гельтман И.С. Порошковые материалы для газотермического нанесения покрытий / И.С. Гельтман, Е.М. Рабинович // Сталь. – 1985. - №4. – С. 78 - 81.
15. Панин В.Е. Наноструктурирование поверхностных слоев, нанесение наноструктурных покрытий – эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов / В.Е. Панин, В.П. Сергеев, А.В. Панин // Физика металлов и металловедение. – 2007. - т.104, №6. - С. 650 - 660.
16. Аморфные сплавы. Судзуки К., Фудзимори Х. / Под ред. Масумото Ц. Пер. с япон. – М.: Металлургия. – 1987. – 328 с.
17. Сребрянский Г.А., Стародубцев Ю.Н. Основные принципы совершенствования технологии производства аморфной ленты // Сталь, 1991, № 9. С. 73 - 78.
18. Селиванов М.В., Давыдова Н.М. Микрористаллические сплавы за рубежом. – Черная металлургия. – 1988. - №1. С. 27 - 43.
19. Сребрянский Г.А., Стовпченко А.П. Новый подход к получению порошковых материалов / Materialy V Miedzynarodowa Sasja Naukowa "Nowe Technologie i osiagniecia w metalurgii inzynierii materialowej", (Польша), Politechnika Czestochowska, Wydawnictwo Wipmifs, 2004. P. 618 – 621.
20. Рахманов С. Р. Повышение износостойкости прессового инструмента с помощью покрытий из аморфных сплавов / С.Р. Рахманов, Г.А. Сребрянский, А.Н. Головачев, А.Т. Мамедов, Н.В. Орос // Вестник машиностроения. – 2018. - №1. – С. 55-60.
21. Problem of the synergetic, deformation, wear, and entropy of metallic materials polyanov, metal science and heat treatment, т. 36, выпуск 3-4, С. 148-152. DOI: 10.1007/BF01398846 опубл. MAR- APR 1994; тип документа: Article.
22. Большаков В.И. Оборудование термических цехов, технологии термической обработки металлопродукции: Учебник. Днепропетровск: Днепр-VAL, 2010. 378 с.
23. Сверхбыстрая закалка жидких сплавов: Сб. научн. трудов. Под ред. Германа Г. Пер. с англ. Жураховского Е.А., Федорова В.В. / Под ред. Борисова В.Т. – М.: Металлургия. – 1986. – 375 с.
24. Кекало И.Б. Атомная структура аморфных сплавов и ее эволюция: Учеб. пособие. – М.: Изд. «Учеба» МИСиС. – 2006. – 340 с.
25. Ас. СССР № 1535064. Способ плазменного напыления / Калита В.И., Кудинов В.В., Верниковский Б.К., Коптева О.Г.
26. Кудинов В.В., Калита В.И., Коптева О.Г. Исследование процесса формирования макро- и микроструктуры частиц газотермических покрытий. Физхим, 1992, № 3, С. 88 - 92.
27. Ивлев А.А., Горбатенко Л.А., Калита В.И., Кудинов В.В., Верниковский Б.К. Форма и структура быстрозакаленных порошков на никелевой основе. Порошковая металлургия (Киев), 1990, №8, С. 1 - 5.
28. Sawateev N.N., Pocholok K.V., Kudinov V.V., Kalita V.I., Kopteva O.G. Investigation of amorphous Fe80B20 coatings by the NGR method. International Symposium on nuclear-spectroscopical investigations of hyperfine interactions, USSR, Uzhgorod, 1991, p.172. Abstracts.
29. Калита В.И., Кекало И.Б., Комлев Д.И., Тараничев В.Е. Структура и свойства массивных аморфных магнитно-мягких покрытий, получаемых плазменным напылением. ФММ. т. 80, вып. 2., 1995, С. 35 - 48.
30. Тимофеев В.Н. Калита В.И. Комлев Д.И. Формирование покрытий с аморфной структурой при плазменном напылении. ФХОМ, 1996, №4, С. 47 - 49.
31. Калита В.И., Комлев Д.И. Особенности формирования структуры аморфно-кристаллических покрытий при плазменном напылении. ФХОМ, 1996, №4, С. 43 - 46.

References

1. Kargin V.R., Kargin B.V. Theory and technology of pressing, rolling and drawing: textbook. way. Samara: Izd-vo SSAU, 2014. - 72 p.
2. Sherba V.N., Reitberg L.H. Technology of metal pressing: textbook. way. M.: Metallurgiya, 1995. - 153 p.
3. Technologies for the production of stainless steel pipes: a collection of lectures / for about. ed. E.Ya. Лезинской; ?-position. KM Bildin. Nikopol: Centavis, 2019. – 89 p.
4. Smolnikov EA Thermal and chemical-thermal treatment of tools in salt baths: ucheb.pos. M.: Mashinostroyeniye, 1989. – 312 p.
5. Kosmatsky Ya.I. Research of process of wear of the pipe-press tool and development of the technical decisions directed not increase of its operational resource: qualif. Work. / For the general. Science. ed. Я.И. Космачко, Е.В. Королева. : Россия, Челябинск: 2017. – 165 p.
6. Semenov M.Yu. Control of the structure of carburized layers of refractory steels, Part 1, «Metallurgy and heat treatment of metals», №5 (695), May 2013 year.
7. Semenov M.Yu. Control of the structure of carburized layers of refractory steels, Part 2, «Metallurgy and heat treatment of metals», №6 (696), June 2013 year.
8. E.V. Korbut "Modern Methods of Surface Hardening of Tools" // Problems of Grating and Construction. - 2010. - VIP. 54. - P. 149-153.
9. L.G. Voroshnin "Prospects for the development of chemical-thermal treatment", "Strengthening technologies and coatings", №1 (37), January 2008, - P. 5-8.
10. Y. Sun, A. Bloyce and T. Bell. Finite element analysis of plastic deformation of various TiN coating/substrate systems under normal contact with a rigid sphere // Thin Solid Films. 1995, v. 271, - P. 122 - 131.

11. M. Bader, H.-J. Spies, K. Hock, E. Broszeit, H.-J. Schroder. Properties of duplex treated (gas-nitriding and PVD-TiN, Cr₂N) low alloy steel // *Surface and Coatings Technology*. 1998, v. 98, - P. 891-896.
12. T. Bell, H. Dong and Y. Sun. Realising of the potential of duplex surface engineering // *Tribology International*. 1998, v.31, № 1-3, - P. 127-137.
13. Andre Anders. Handbook of plasma immersion ion implantation and deposition. John Wiley & Sons, inc, 2000.
14. Geltman I.S. Powder materials for gas thermal coating // *IS Geltman, E.M. Rabinovich // Steel*. - 1985. - №4. - P. 78 - 81.
15. Panin V.E. Nanostructuring of surface layers, application of nanostructured coatings - an effective way to strengthen modern structural and tool materials / V.E. Panin, V.P. Sergeev, A.V. Panin // *Physics of Metals and Metallurgy*. - 2007. - v.104, №6. - P. 650-660.
16. Amorphous alloys. Suzuki K., Fujimori H. / Ed. Masumoto C. Per. with Japanese. - M.: Metallurgy. - 1987. - 328 p.
17. Srebryansky G.A., Starodubtsev Yu.N. Basic principles of improving the technology of production of amorphous tape // *Steel*, 1991, № 9. - P. 73 - 78.
18. Selivanov M.V., Davydova N.M. Microcrystalline alloys abroad. - *Ferrous metallurgy*. - 1988 - №1. - P. 27-43.
19. Srebryansky G.A., Stovpchenko A.P. A new approach to obtaining powder materials / *Materialy V Miedzynarodowa Sasja Naukowa "New Technologie i osiagniecia w metallurgii inzynierii materialowej"*, (Poland), Politechnica Czestochowska, Wydawnictwo Wipmifs, 2004. - P. 618 - 621.
20. S.R. Rakhmanov, G.A. Srebryansky, A.N. Golovachev, A.T. Mammadov, N.V. Oros // Increase in wear resistance of the press tool by means of coverings from amorphous alloys // *Vestnik mechanical engineering*. - 2018. - №1. - P. 55 - 60.
21. Problem of the synergetic, deformation, wear, and entropy of metallic materials polyanov, metal science and heat treatment, vol. 36, issue 3-4, pp. 148-152. DOI: 10.1007 / BF01398846 publ. MAR - APR 1994; document type: Article.
22. Bolshakov V.I. Equipment of thermal shops, technologies of heat treatment of metal products: Textbook. Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL, 2010. - 378 p.
23. Ultrafast hardening of liquid alloys: Sat. scientific Trudov. Under the editorship of Herman G. Per. with English Zhurakhovsky E.A., Fedorova V.V. / Ed. Borisova V.T. - M.: Metallurgy. - 1986. - 375 p.
24. Kekalo I.B. Atomic structure of amorphous alloys and its evolution: Textbook. allowance. - M.: Izd. "Study" MISiS. - 2006. - 340 p.
25. A.s. USSR № 1535064. Plasma spraying method / Kalita V.I., Kudinov V.V., Vernikovsky B.K., Kopteva O.G.
26. Kudinov V.V., Kalita V.I., Kopteva O.G. Investigation of the process of formation of macro- and microstructure of particles of gas-thermal coatings. *Fizhom*, 1992, № 3, - p. 88 - 92.
27. Mev A.A., Gorbatenko L.A., Kalita V.I., Kudinov V.V., Vernikovsky B.K. Form and structure of fast-hardened nickel-based powders. *Powder Metallurgy (Kiev)*, 1990, №8, - p. 1 - 5.
28. Sawateev N.N., Pocholok K.V., Kudinov V.V., Kalita V.I., Kopteva O.G. Investigation of amorphous Fe₈₀B₂₀ coatings by the NGR method. *International Symposium on nuclear-spectroscopic investigations of hyperfine interactions, USSR, Uzgorod*, 1991, - p.172. Abstracts.
29. Kalita V.I., Kekalo I.B., Komlev D.I., Taranichev V.E. Structure and properties of massive amorphous magnetic soft coatings obtained by plasma sputtering. *FMM. t.80, issue. 2, 1995, C. 35 - 48*.
30. Timofeev V.N., Kalita V.I., Komlev D.I. Formation of coatings with amorphous structure by plasma spraying. *FHOM*, 1996, №4, - p. 47 - 49.
31. Kalita V.I., Komlev D.I. Peculiarities of the formation of the structure of amorphous-crystalline coatings during plasma sputtering. *FHOM*, 1996, №4, - p. 43 - 46.