

Корисна модель належить до галузей металургії, машинобудування та ін., а саме до термічної обробки легованих інструментальних штампових сталей і може бути використана при виготовленні трубопресового інструмента, в тому числі матричних кілець складних матриць, експандерів, призначених для гарячого пресування труб на трубопрофільних гідравлічних пресах.

Трубопресовий інструмент піддається інтенсивному зносу. За умовами експлуатації матриці, експандери належать до важконавантаженого інструмента, оскільки контактують з металом, що пресується. Процес пресування відбувається при високих температурах, тисках та інтенсивному терті.

Зносостійкість загартованих інструментальних сталей для виготовлення пресового інструмента сильно залежить від твердості структури, кількості карбідів, їх форми, розмірів, розподілу, твердості і величини зерна (з підвищенням твердості і кількості та розмірів карбідів підвищується міцність, але при цьому знижується в'язкість і втомна міцність).

З урахуванням умов експлуатації до матеріалу ставляться такі вимоги: висока міцність, теплостійкість; в'язкість; висока розгаростійкість; зносостійкість; жаростійкість; висока теплопровідність.

Для штамів гарячого пресування доцільно застосовувати сталі підвищеної теплостійкості. У деяких випадках для таких штамів застосовується сталь 3Х2В8Ф, теплостійкість якої зберігається до 650 °С. Але наявність значної кількості карбідів вольфраму у складі сталі знижує в'язкість сталі. Тому частіше використовуються сталі з вищою теплостійкістю та міцністю при робочих температурах порівняно зі сталями помірної теплостійкості 5ХМН та 5ХМВ. Їх використовують для виробництва трубопресового інструмента для пресування корозійностійких сталей, які важко пресуються (матричні кільця, голки-оправки, експандери, штемпельні головки).

Відома технологія термічної обробки високохромистої інструментальної сталі на вторинну твердість, що включає загартування від температури 1200 °С і багаторазовий відпуск при 520-540 °С (Виницький А.Г. та ін. Вплив структури на зносостійкість штамів зі сталі Х12М // Матеріалознавство і термічна обробка металів. - 1972. - № 2. - С. 74-76).

Однак внаслідок надзвичайно високого легування аустеніту при нагріванні під загартування до 1200 °С, загартування та після багаторазового відпуску загартованих виробів (5-6 разів при 520-540 °С) дисперсійне твердіння не забезпечує отримання високої твердості інструмента на рівні, що вимагається умовами роботи інструмента при гарячому пресуванні та холодній і теплій деформації.

Також відомий спосіб термічної обробки високохромистої інструментальної сталі на вторинну твердість, що включає підігрівання, загартування від температури 1100-1140 °С з охолодженням в маслі і багаторазовий відпуск при температурі 490-530 °С по одній годині. Загартування від температури 1100-1140 °С приводить до значного легування аустеніту хромом за рахунок розчинення первинних карбідів. При багаторазовому відпуску (4-5 разів) твердість металу досягає HV 674-697 внаслідок розпаду залишкового аустеніту і виділення вторинних карбідів хрому (Cr_7C_3 і Cr_{23}C_6) (Позняк Л.А., Скринченко Ю.М., Тиша С.І. Штампові сталі. - М.: Металургія, 1980. - С. 169). Основним недоліком даного способу термічної обробки високохромистої інструментальної сталі на вторинну твердість є незадовільна експлуатаційна стійкість інструмента внаслідок низьких значень твердості і міцності. Так, низька твердість інструмента обумовлена тим, що вибрана температура аустенітизації приводить до високого рівня легування аустеніту хромом і отримання великих зерен аустеніту, які ускладнюють виділення великої кількості дисперсних вторинних карбідів хрому, тобто дисперсійне твердіння здійснюється до недостатнього рівня нормованих властивостей металу.

Найближчим аналогом запропонованої корисної моделі як найбільш близьким за своєю технічною суттю і результатом, який вирішується, є спосіб термічної обробки високохромистої інструментальної сталі на вторинну твердість (Патент РФ № 2200201, МКП С21D 9/22, С23С 8/24. Спосіб термической обработки высокохромистой инструментальной стали на вторичную твердость. Опубл. 10.03.2003, Бюл. № 7), що включає підігрівання, загартування з охолодженням в маслі і багаторазовий відпуск по одній годині, при цьому загартування виконують від температури 1070-1080 °С, потім здійснюється проміжний відпуск при 400- 420 °С протягом години, а багаторазовий відпуск (три рази) здійснюють при 520-540 °С. Останній відпуск можливо поєднувати з хіміко-термічною обробкою. Недоліками даного способу термічної обробки високохромистої інструментальної сталі на вторинну твердість є також незадовільні значення твердості (HV 720-746), що приводить до звуження меж його застосування для виготовлення трубного інструмента.

Основним недоліком даного способу термічної обробки високохромистої інструментальної сталі на вторинну твердість є незадовільна схема структуроутворення в металі загартованої сталі при наступних відпусках. Після загартування в легованих сталях в умовах завершення процесу примусового охолодження інструмента при температурах не нижче 130-1500 °С (для попередження тріщиноутворення і жолоблення) в металі залишається частка аустеніту залишкового, який є стійким до γ - α перетворення. Перший після загартування проміжний відпуск при 400-420 °С протягом години не забезпечує ефективного перетворення аустеніту залишкового (температура першого відпуску вище раціональної), а використовується для забезпечення ефекту дисперсійного твердіння (за рахунок часток цементиту або легованого цементиту). Наступними є багаторазові відпуски, які здійснюють три рази при 520-540 °С з можливістю поєднувати останній відпуск з азотуванням. При цьому для отримання високого рівня зміцнення за рахунок реалізації максимального ефекту вторинного твердіння потрібно збільшити температуру відпуску. Тому даний відомий спосіб термічної обробки не

є ефективним для виготовлення трубопресового інструмента з штампових сталей.

Відомо, що іонне азотування (порівняно з пічним) має наступні переваги: прискорює дифузійні процеси в 1,5-2 рази; дозволяє отримати дифузійний шар регульованого складу і будови; характеризується незначними деформаціями виробів і високим класом чистоти поверхні; дає можливість азотувати корозійностійкі жароміцні і мартенситно-старіючі сталі без додаткової депасивуючої обробки; значно скорочує загальний час процесу за рахунок зменшення часу нагрівання та охолодження садки; має значну економічність, підвищує коефіцієнт використання електроенергії, скорочує витрату насичуючих газів; процес нетоксичний і відповідає вимогам щодо захисту навколишнього середовища. Азотування в плазмі двоступеневого дугового розряду має ряд переваг. Одна 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. Дослідження показали, що відмінною рисою мікроструктури азотованого шару після іонно-плазменого азотування є наявність дисперсної дуже міцної ϵ -фази, а також сполуки Fe_4N , розчину азоту в залізі $\alpha\text{-Fe}$ і також нітридів легуючих елементів. Завдяки цьому поверхнева твердість азотованих деталей вище майже на HV 160-180 порівняно з процесом газового азотування. До того ж після газового азотування деталі визнають великі деформації, а іонне азотування знижує деформації інструмента настільки, що фінішна шліфівка виключається.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу зміцнення трубопресового інструмента зі штампових сталей з проведенням іонного азотування. Задача має вирішуватися шляхом зміни режиму обробки інструмента для підвищення експлуатаційних властивостей інструментальної сталі за рахунок збільшення рівня її властивостей (зносоустійкості, твердості, в'язкості).

Поставлена задача вирішується тим, що в способі зміцнення трубопресового інструмента зі штампових сталей з проведенням іонного азотування включає підігрівання, загартування з охолодженням в маслі і багаторазовий відпуск, при цьому загартування виконують від температури 1070-1080 °C, а останній відпуск поєднують з азотуванням, згідно з корисною моделлю, перший відпуск проводять при температурі не вище 240-250 °C з витримкою більшою або рівною 1 годині з подальшим нагрівом до температури другого відпуску не вище 350-380 °C з витримкою більшою або рівною 1 годині та нагрівом до температури азотування, яке поєднане з третім відпуском при температурі не вище 580 °C з витримкою більшою або рівною 2 годинам, а охолодження проводять в атмосфері аміаку з піччю до 200 °C і далі на повітрі.

Додатково загартування здійснюється у водному розчині полімеру або хлориду.

На обробленій таким чином поверхні забезпечується присутність азотованого шару з твердістю 9 ГПа, тобто вище звичайної для загартованої і відпущеної 5 даної марки сталі -7 ГПа (традиційна технологія обробки).

Технічним результатом є покращення експлуатаційної стійкості інструмента за рахунок підвищення вторинної твердості і міцності основного металу виробу та поверхневого зміцненого шару.

Запропонована корисна модель має з найближчим аналогом наступні спільні ознаки: - нагрів до температури 1070-1080 °C; - загартування; - багаторазовий відпуск; - останній відпуск поєднують з азотуванням.

Вирішення технічного результату забезпечується набором нових відмінних ознак, а саме тим, що загартування здійснюється у водному розчині полімеру або хлориду,

- перший відпуск проводять при температурах не вище 240-250 °C з витримкою більшою або рівною 1 годині, це пояснюється тим, що при загартуванні легованих інструментальних сталей (для попередження розтріскування інтенсивне охолодження металу припиняють при температурах не нижче ~150-170 °C) в металі залишається до 28-30 % аустеніту залишкового, який стійкий до перетворення при наступних відпусках. Тому доцільно перший відпуск робити в інтервалі виділення з мартенситу і аустеніту залишкового вуглецю, який утворює велику кількість часток нестабільного карбїду (типу ϵ -карбїду), які рівномірно розміщені у металі (тобто як на границях, так і в тілі зерен) і зменшує рівень напружень в металі;

- другий відпуск проводять при температурі не вище 350-380 °C з витримкою більшою або рівною 1 годині - відомо, що при розпаді мартенситу при температурах відпуску вище ~250 °C (для вуглецевих сталей частки нестабільного карбїду розчиняються або перетворюються у частки цементиту до цієї температури), а для легованих при більш високих температурах відпуску утворюються частки цементиту або легovanого цементиту), які рівномірно розміщені у металі (тобто як на границях, так і в тілі зерен) і зменшує рівень напружень в металі;

- третій відпуск, поєднаний з азотуванням, проводять при температурі не вище 580 °C з витримкою більшою або рівною 2 годинам - відомо, що в легованих сталях температура виділення спеціальних карбїдів починається при температурах більших 480-490 °C, тому доцільно створити умови для процесів структуроутворення, при яких в металі виникне велика кількість часток спеціальних карбїдів, рівномірно розташованих по об'єму металу і які не зможуть збільшитися при цьому відпуску у розмірах. Для азотування залежно від схеми легування інструментальної сталі та кількості карбїдоутворюючих елементів вибирається раціональна температура азотування при температурі не вище 580 °C з витримкою більшою або рівною 2 годинам, а охолодження проводять в атмосфері аміаку з піччю до 200 °C і далі на повітрі.

Всі зазначені ознаки корисної моделі взаємопов'язані між собою і сприяють вирішенню поставленої задачі.

Порівняльний аналіз запропонованої корисної моделі з найближчим аналогом дозволяє виявити відмінності, які полягають в тому, що спосіб термічної обробки інструментальної сталі, який запропонований, дозволяє отримати інструмент з більш високим рівнем зносостійкості і твердості за рахунок конкретного набору операцій обробки та їх параметрів, а також дозволяє зробити висновок, що всі запропоновані ознаки є відмінними.

Аналіз патентної і науково-технічної інформації не виявив рішень, що мають аналогічну сукупність ознак, за якими вирішувався б подібний результат - отримання високих значень зносостійкості та твердості інструментальної сталі.

Приклад опробування способу зміцнення трубопресового інструмента зі штампових сталей з проведенням іонного азотування

На випробування були надані експандери трубопресової установки зусиллям 16 МН у кількості 3 (трьох) штук: зі сталі 4Х4ВМФС діаметром 120 мм і довжиною 195 мм. Експандери виготовлені на ТОВ "Метінсервіс Груп" (м. Нікополь) і піддані загартуванню з трикратним відпуском для зміцнення, а третій відпуск поєднаний з іонним азотуванням в плазмі ДВДР на установці "Булат-6" лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ (м. Харків).

Експандери були встановлені в модернізовану вакуумно-дугову установку типу "Булат-6". Вакуумну камеру 1 відкачували до тиску $P=1,3 \cdot 10^{-3}$ Па. Іонне очищення з активацією поверхні підкладок проводилася прискореними іонами азоту в газовій плазмі дугового розряду при тиску азоту 0,66 Па. Для створення газового розряду в робочому об'ємі камери необхідно ввімкнути випарник і при цьому створюється газо-металева плазма, яка через екран буде емітером електронів для газового розряду в об'ємі робочої камери. При подачі на корпус вакуумно-дугового випарника позитивного потенціалу перемикачем від джерела живлення дуги в присутності азоту при тиску 0,05-0,5 Па в робочому об'ємі камери виникає газовий дуговий розряд. При подачі на підкладку, а отже, і на деталі високого негативного потенціалу - 1000-1300 В відбувається її розігрів за рахунок бомбардування іонами азоту до температури 480-540 °С, що забезпечує процеси азотування на поверхні зразків. У даному випадку розігрів підкладки регулювали на рівні 520-530 °С (не вище 540 °С).

Температура підкладок надалі підтримується зміною величини негативного постійного потенціалу. Тривалість процесу азотування залежить від необхідної товщини шару і температури підкладки, в даному випадку час азотування - 2 години.

Результати випробувань на горизонтальному гідравлічному пресі зусиллям 16 Мн: якщо стійкість експандерів зі сталі 4Х4ВМФС після звичайного термозміцнення (загартування з відпуском) складає до 100 пресовок, то інструмент, підданий додатково хіміко-термічній обробці - іонному азотуванню в плазмі ДВДР, показали стійкість 130-140 пресовок внаслідок більш високої твердості, теплостійкості, утворення раціонального структурного стану як в основному металі, так і в поверхневому шарі внаслідок проведення іонного азотування. Після проведення термічної обробки на всіх зразках проводили заміри твердості із застосуванням портативного електронного ультразвукового твердоміру (типу "Ультракон") і мікротвердоміру ПМТ-3. Отримані результати наведені в таблицях 1,2.

Таблиця 1

Режими зміцнення трубопресового інструмента зі штампових сталей
з проведенням іонного азотування дослідних зразків

Режим обробки	Температура	відпуску, °С	Температура азотування, °С	Твердість, HV _{0,1}
	I	II		
1 - за найближчим аналогом	560-580	550-560	530-550 °С	985-1015

Таблиця 2

Режими зміцнення трубопресового інструмента зі штампових сталей
з проведенням іонного азотування дослідних зразків

Марка сталі	Обробка	HV _{0,1}
4Х4ВМФС	загартування з відпуском (1) + іонне азотування (2)	1045,1053, 1033
4Х4ВМФС	загартування з відпуском(i) + іонне азотування (2)	1030,1035, 1045
4Х5МФ1С	загартування з відпуском(i) + іонне азотування (2)	1040, 1035,1030

Результати опробування запропонованого способу зміцнення трубопресового інструмента зі

штампових сталей з проведенням іонного азотування свідчать, що за рахунок такої обробки відбувається підвищення міцності основного металу і значне підвищення твердості поверхневих шарів інструмента, яке з властивостями матриці буде сприяти покращенню експлуатаційної стійкості трубопресового інструмента, призначеного для виготовлення труб, що виготовляються шляхом гарячого пресування.

Застосування пропонованої корисної моделі дозволяє впровадити удосконалену технологію зміцнення трубопресового інструмента зі штампових сталей з проведенням іонного азотування, яка включає нагрів до температури 1070-1080 °C, загартування в водному розчині полімеру або хлориду і триразовий відпуск, коли останній поєднують з азотуванням, при цьому перший відпуск проводять при температурі не вище 240-250 °C з витримкою більшою або рівною 1 годині з подальшим нагрівом до температури другого відпуску не вище 350-380 °C з витримкою більшою або рівною 1 годині та нагрівом до температури азотування, яке поєднане з третім відпуском, при температурі не вище 580 °C з витримкою більшою або рівною 2 годинам, а охолодження проводять в атмосфері аміаку з піччю до 200 °C і далі на повітрі замість поширеної технології за найближчим аналогом, що дозволить значно підвищити твердість поверхневого шару і тим самим збільшити стійкість трубного інструмента на 20-30 % та знизити витрати при виготовленні труб з легованих марок сталей.