



### **АКТ № 1 від 12 серпня 2020 р.**

**проведення промислового випробування пресового інструменту для виробництва нержавіючих труб ( матричних кілець ) на підприємстві «ТОВ ВО ОСКАР» після удосконалення технології їх термічної обробки шляхом проведення після термозміцнення хіміко-термічної обробки – карбонітрації на підприємстві «ТОВ КАРБАЗ» м. Суми )**

#### ***Характеристика інструменту***

На випробування подано матричні кільця трубопрофільного пресу у кількості 8 ( восьми ) штук: з 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 ); з 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 ).

Матриця є найбільш важливим 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. Канал матриці зношується нерівномірно. Найбільш інтенсивне зношування відзначається в місцях переходу вхідної частини матриць до калібруючого пояску, на виступах формуючої частини

отвору. Це пов'язано з місцевим збільшенням напружень в деформованому металі і підвищеним місцевим розігрівом металу інструменту. Знос робочого (калібруючого) пояса виражається в розвитку процесу схоплювання, пластичної деформації очка, що супроводжується відділенням і винесенням часток металу і утворенням рисок, задирів, напливів. Неправильне калібрування матриць призводить до затруднень в окремих місцях течіння металу та інтенсивного зносу. Динамічне навантаження матриць забезпечує появу тріщин в місці концентрації напружень і температурних градієнтів, а також наступні хрупкі руйнування. В результаті дії температурних і структурних напружень на робочих поверхнях матриць з'являються сітки розгарних тріщин, які поступово розширюються і заповнюються пресованим металом, що в подальшому призводить до руйнування матриць.

При виборі матеріалу слід враховувати вимоги, що пред'являються до експлуатаційних і технологічних властивостей. До експлуатаційних відносять властивості матеріалу готового інструменту після остаточної обробки: *теплостійкість* – здатність матеріалу зберігати твердість при підвищених температурах; *розгаростійкість* – опір термічній втомі; *жаростійкість* – стійкість проти окислення при високих температурах; *зносостійкість*; *міцність* – опір пластичній деформації; *в'язкість* – опір крихкому руйнуванню; *втомну міцність*; теплопровідність та твердість. До технологічних відносять властивості матеріалу, що забезпечують можливість обробки інструменту з заданими експлуатаційними властивостями при мінімальних витратах: прогартованість, що характеризує глибину загартованого шару, здатність до обробки, викривлення – деформацію деталей при термічній обробці, схильність до знеуглецювання, здатність до шліфування.

Внаслідок низької стійкості матричних кілець (до 5 – 6 пресувань) була запропонована удосконалена технологія термозміцнення кілець – виконання після загартування з відпуском хіміко-термічної обробки – карбонітрації (на ТОВ «Карбаз» м. Суми) в розплавах солей ціанатів і карбонатів при 570 – 580°C для отримання шару товщиною 0,1 – 0,2 мм і твердістю 1000 – 1150 HV.

Для виконання термозміцнення кілець було заключено договір від 10 травня 2020 р. між Національною металургійною академією України, підприємством ТОВ «Карбаз» (м. Суми), підприємством ТОВ «Метінсервіс Груп» (м. Нікополь)

та підприємством ТОВ «ВО Оскар». Карбонітрація загартованих і відпущених кілець була проведена в липні 2020 р на ТОВ «Карбаз» (м. Суми). Випробування проведені 12 серпня 2020 р. на ТОВ «ВО Оскар» (м. Дніпро).

**Мета випробування:** оцінити доцільність проведення карбонітрації термозміцнених матричних кілець з метою покращення їх стійкості, твердості, теплостійкості, витривалості.


**Результати випробувань:** 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, утворення особливої структури на поверхні внаслідок проведення карбонітрації в розплавах солей ціанатів і карбонатів.

### **ПРОПОЗИЦІЇ:**

Матричні кільця можуть бути піддані карбонітрації після проведення додаткових серійних випробувань. Азот і вуглець, присутні в карбонітрованому шарі, сповільнюють процеси перетворення твердих розчинів і коагуляцію карбонітридних фаз, внаслідок чого висока твердість карбонітрованого шару зберігається до температур вище 650°C.

Голова комісії:

Начальник трубопресової дільниці ТОВ «ВО ОСКАР»  Щепелев І.В.

В.о. майстра трубопресової дільниці ТОВ «ВО ОСКАР»  Ковтун О.Ю.

Члени комісії від НМетАУ :

Професор кафедри термічної обробки металів, к.т.н.  Хохлова Т.С.

Аспірант кафедри термічної обробки металів  Кривчик Л.С.

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

**Начальник трубопресового виробництва  
«ТОВ ВО ОСКАР» (м. Дніпро)**



О.М. Куценко

2021 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

**Технічний директор ТОВ «Метінсервіс  
Груп» (м. Нікополь)**



К.О. Думенко

2021 р.

### **АКТ № 7 від 23 червня 2021 р.**

**проведення промислового випробування пресового інструменту для виробництва корозійностійких труб (матричних кілець) на підприємстві ТОВ ВО «ОСКАР» після удосконалення технології їх термічної обробки шляхом проведення після термозміцнення хіміко-термічної обробки – іонного азотування в плазмі ДВДР в лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ ( м. Харків).**

На випробування подано матричні кільця трубопрофільного пресу у кількості 3 (трьох) штук: зі сталі 4X5MФ1С діаметром 73,5 мм. Кільця виготовлені на ТОВ «Метінсервіс Груп» (м. Нікополь) 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). Іонне азотування кілець в плазмі ДВДР було виконано на установці «Булат-6» лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ (м. Харків).

## *Характеристика інструменту*

Матриця є найбільш важливим 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. Канал матриці зношується нерівномірно. Найбільш інтенсивне зношування відзначається в місцях переходу вхідної частини матриць до калібруючого пояску, на виступах формуючої частини отвору. Це пов'язано з місцевим збільшенням напружень в деформованому металі і підвищеним місцевим розігрівом металу інструменту. Знос робочого (калібруючого) пояска виражається в розвитку процесу схоплювання, пластичної деформації очка, що супроводжується відділенням і винесенням частинок металу і утворенням рисок, задирів, напливів. Неправильна калібровка матриць призводить до затруднень в окремих місцях течіння металу і інтенсивного зносу. Динамічне навантаження матриць забезпечує появу тріщин в місці концентрації напружень і температурних градієнтів, а також наступні хрупкі руйнування. В результаті дії температурних і структурних напружень на робочих поверхнях матриць з'являються сітки розгарних тріщин, які поступово розширюються і заповнюються пресованим металом, що в подальшому призводить до руйнування матриць.

При виборі матеріалу слід враховувати вимоги, що пред'являються до експлуатаційних і технологічних властивостей. До експлуатаційних відносять властивості матеріалу готового інструменту після остаточної обробки: *теплостійкість* – здатність матеріалу зберігати твердість при підвищених температурах; *розгаростійкість* – опір термічній втомі; *жаростійкість* – стійкість проти окислення при високих температурах; *зносоустійкість*; *міцність* – опір пластичній деформації; *в'язкість* – опір крихкому руйнуванню; *втомну міцність*; теплопровідність та твердість. До технологічних відносять властивості матеріалу, що забезпечують можливість обробки інструменту з заданими експлуатаційними властивостями при мінімальних витратах: прогартованість,

що характеризує глибину загартованого шару, здатність до обробки, викривлення – деформацію деталей при термічній обробці, схильність до знеуглецювання, здатність до шліфування.

Внаслідок низької стійкості матричних кілець (до 5 – 6 пресувань) була запропонована удосконалена технологія термозміцнення кілець – виконання після загартування з відпуском хіміко-термічної обробки – іонного азотування в плазмі ДВДР в лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ (м. Харків).

Для виконання термозміцнення кілець було заключено договір від 10 травня 2020 р. між Національною металургійною академією України, підприємством ННЦ ХФТІ (м. Харків), підприємством ТОВ «Метінсервіс Груп» (м. Нікополь) та підприємством ТОВ «ВО Оскар». Іонне азотування в плазмі ДВДР загартованих і відпущених кілець було проведене в червні 2021 в лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ (м. Харків).

Схема модернізованої установки «Булат» лабораторії плазмових технологій ННЦ ХФТІ (м. Харків) показана на рис.1. Камеру відкачували до  $1 - 10^{-3}$  Па, напускали в неї азот до тиску 0,1 ... 0,5 Па, включали випарник 2 і подавали на катод випарника 4 позитивної напруги від джерела 7 (положення II перемикача 9). При цьому між корпусом вакуумної камери і катодом випарника 4, в даному випадку анодом, запалюється дуговий газовий розряд, який підтримується джерелом 7. Струм газового розряду 200 А.

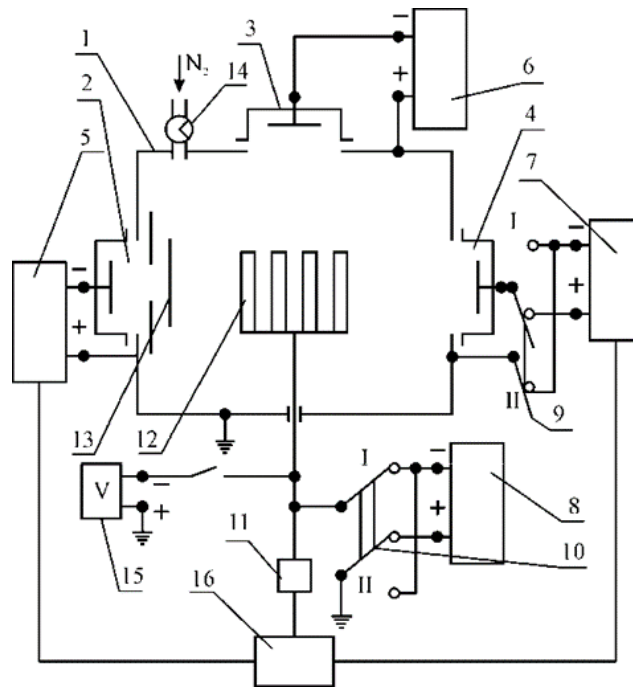


Рис. 1. Схема вакуумно-дугової установки для проведення іонного азотування:

1 – корпус вакуумної камери; 2, 3, 4 – вакуумно- дугові випарники; 5, 6, 7 – джерела живлення випарників; 8 – джерело живлення підкладки; 9, 10 – перемикачі; 11 – поворотний пристрій; 12 – інструменти для оброблення; 13 – екран, прозорий для газу і електронів; 14 – система автоматичної підтримки тиску газу; 15 – генератор високовольтних імпульсів; 16 – блок автоматичного управління осадженням багаточарових покриттів.

На інструменти подавали позитивну напругу перемикачем 10, регулюючи величину струму в джерелі 8 в межах декількох десятків ампер з метою підтримки температури інструментів на рівні 450 ... 500°C. Електронне бомбардування забезпечувало нагрів і азотування інструментів. Азотування при позитивному потенціалі дозволяє істотно зменшити ймовірність виникнення на інструментах мікродуг і уникнути іонного розтруювання їх поверхні. Після досягнення необхідної товщини азотованого шару (~ 30 мкм) на інструмент подавали негативну напругу. При триваючому азотуванні одночасно відбувалася очистка поверхні іонами азоту.

Після закінчення азотування і очищення поверхні інструментів бомбардуванням іонами азоту відключали випарник 2, припиняли напуск азоту, камеру відкачували до тиску  $\sim 1 - 10^{-3}$  Па, перемикач 9 встановлювали в положення I, на інструмент подавали негативну напругу 1000 В і по черзі короткочасно, включаючи випарники 3 і 4, виробляли його очищення бомбардуванням іонами титану протягом декількох хвилин .

Під час очищення температура інструменту не перевищувала 450°C. Після очищення на роликах встановлювали негативну напругу 220 В, напускали азот до 0,2 Па, включали обидва випарника титану (3 і 4) і осаджували покриття TiN протягом 30 ... 60 хв. Під час цієї обробки поворотний пристрій, на якому встановлені інструменти, було включено.

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

Іонна очистка 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 включити випарник 2 і при цьому створюється газо-металева плазма, яка через екран (3) буде емітером електронів для газового розряду в обсязі робочої камери (1) (Рис. 3.53). При подачі на корпус вакуумно-дугового випарника 6 позитивного потенціалу перемикачем 8 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 (4), а отже і на деталі високого негативного потенціалу -1000 ... -1300 В відбувається її розігрів за рахунок бомбардування іонами азоту до температури 480 ... 540°C, що забезпечує процеси азотування на поверхні зразків. Температура підкладок надалі підтримується зміною величини негативного постійного потенціалу 9. Тривалість процесу азотування залежить від необхідної товщини шару і температури підложки, в даному випадку час азотування 1 година.

Випробування кілець проведені 21 червня 2021 р. на ТОВ «ВО Оскар» (м. Дніпро).

**Мета випробування:** оцінити доцільність проведення іонного азотування в плазмі ДВДР термозміцнених матричних кілець з метою покращення їх стійкості, твердості, теплостійкості, витривалості.

**Результати випробувань:** якщо стійкість матричних кілець зі сталі 5Х3ВЗМФС (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) показали стійкість 9 – 10 пресовок внаслідок більш високої твердості, теплостійкості, утворення особливої структури на поверхні внаслідок проведення іонного азотування.

### **ПРОПОЗИЦІЇ:**

Матричні кільця можуть бути виготовлені з безвольфрамової сталі 4Х5МФ1С замість сталі 5Х3В3МФС (ДИ-23) і піддані іонному азотуванню в плазмі ДВДР після проведення додаткових серійних випробувань. Азот і вуглець, присутні в азотованому шарі, сповільнюють процеси перетворення твердих розчинів і коагуляцію карбонітридних фаз, внаслідок чого висока твердість азотованого шару зберігається до температур вище 650°С.

Голова комісії:

Начальник пресової дільниці  
ТОВ «ВО ОСКАР»



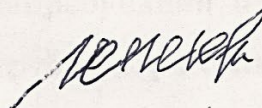
І.В. Щепелев

В.о. майстра пресової дільниці  
ТОВ «ВО ОСКАР»



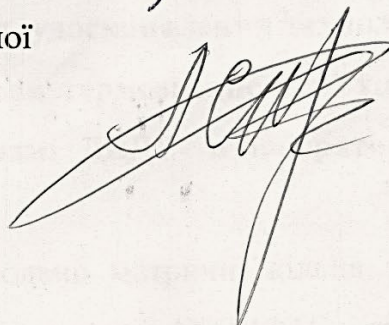
О.Ю. Ковтун

Члени комісії від НМетАУ :  
Професор кафедри термічної  
обробки металів, к.т.н.



Т.С. Хохлова

Аспірант кафедри термічної  
обробки металів



Л.С. Кривчик