

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ  
№ 95071

СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ІОННО-  
ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ РЕЖУЧОГО І  
ФОРМОТВОРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.12.2014.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



1. Спосіб формування зносостійкого іонно-плазмового покриття для ріжучого і формотворного інструменту, який включає обробку виходу лущом іонів титану і алюмінію в середовищі азоту, який відрізняється тим, що баратоконтентне покриття (Ti-Al-Mo-Cr-V-Si) N утворюють шляхом введення в плазмову фазу іонів молибдену, хрому, ванадію з сплавленого титанового катода, а іони кремнію вводять із сплавленого алюмінієвого катода.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що введення легуючих іонів виконують при струмі розряду  $I_p (A) = 100-120 A$ ,  $I_p (Ti) = 90-100 A$ , напрузі зміщення  $U_c = 50-150 B$  і тиску азоту  $P_{N_2} = (1,33-4,0) \cdot 10^{-1} Па$ .

(57) Формула корисної моделі:

**СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ РІЖУЧОГО І ФОРМОТВОРНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

(54) Назва корисної моделі:

Саралович Владислав  
 Вікторович,  
 вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м.  
 Харків, 61108, UA,  
 Саралович Олексій  
 Владиславович,  
 вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м.  
 Харків, 61108, UA,  
 Остапчук Дмитро Павлович,  
 вул. Гацева, 1, кв. 123, м.  
 Харків, 61108, UA

(73) Власники:

Саралович Владислав  
 Вікторович, UA,  
 Саралович Олексій  
 Владиславович, UA,  
 Остапчук Дмитро Павлович,  
 UA

(72) Винахідники:

- (21) Номер заявки: u 2014 06979
- (22) Дата подання заявки: 20.06.2014
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.12.2014
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.12.2014, Бюл. № 23

(11) 95071

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою  
2 арк.  
10.12.2014



Уповноважена особа

(підпис)



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **95071** (13) **U**  
(51) МПК  
**C23C 14/24** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2014 06979</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>20.06.2014</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.12.2014</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.12.2014, Бюл.№ 23</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Сагалович Владислав Вікторович (UA), Сагалович Олексій Владиславович (UA), Остапчук Дмитро Павлович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Сагалович Владислав Вікторович, вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м. Харків, 61108 (UA), Сагалович Олексій Владиславович, вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м. Харків, 61108 (UA), Остапчук Дмитро Павлович, вул. Гацева, 1, кв. 123, м. Харків, 61108 (UA)</b></p> <p>(74) Представник: <b>Серюгіна Алла Сергіївна, реєстр. №63</b></p>
--	--

**(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ РІЖУЧОГО І ФОРМОТВОРНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

**(57) Реферат:**

Спосіб формування зносостійкого іонно-плазмового покриття для ріжучого і формотворного інструменту включає обробку виробу пучком іонів титану і алюмінію в середовищі азоту. Як агатокомпонентне покриття (Ti-Al-Mo-Cr-V-Si) N утворюють шляхом введення в плазмову фазу іонів молібдену, хрому, ванадію з сплавного титанового катода, а іони кремнію вводять із сплавного алюмінієвого катода.

UA 95071 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування, зокрема до технології отримання іонно-плазмових покриттів із зносостійкими властивостями шляхом вакуум-дугового осадження. Такі покриття можуть використовуватися в машинобудуванні, авіабудуванні, металургії та інших галузях промисловості при створенні конструкцій із захисними, зміцненими, зносостійкими, ерозиційностійкими покриттями, зокрема, для підвищення стійкості ріжучого, формотворного, вирубного інструменту.

Відомий спосіб отримання багат шарового покриття для ріжучого інструменту [див. опис до патенту РФ № 2430990, М.кл. С23С 14/24], який включає формування тришарового покриття вакуумно-дуговим методом, при якому нижній шар з нітриду титану і цирконію формують при температурі 600 °С і тиску азоту  $7,5 \cdot 10^{-4}$  Па, проміжний шар формують з такого ж нітриду, легованого хромом при температурі 550 °С, і тиску азоту  $4,3 \cdot 10^{-3}$ , а як верхній шар формують шар нітриду титану і хрому при температурі 500 °С і тиску  $4,3 \cdot 10^{-3}$  МПа.

Описаний вище спосіб дозволяє отримати покриття більш стійке в порівнянні з покриттями тієї ж школи (див. № 2297473).

Однак, як і описані вище технічні рішення, останнє, в кінцевому підсумку, виявляється менш ефективним і може бути використане в основному при виготовленні інструменту, призначеного для обробки різанням конструкційних сталей.

Відомі способи отримання багат шарового покриття для ріжучого інструменту, які включають вакуумно-полум'яне формування багат шарових покриттів з не менш ніж трьох шарів, кожен з яких включає нітрид двох або трьох металів, вибраних з групи Ti, Zr, Al, при 2 різних вагових відносинах [див. патент РФ № 2495959, М.кл. С23С14/24, опубл. 03.07.2012; № 2503742, М.кл. С23С 14/24, опубл. 26.06.2013; № 2366747, М.кл. С23С14/14, опубл. 23.05.2008 р.] в присутності трьох катодів відповідного складу.

Кожне із згаданих вище технічних рішень змінює, на думку авторів, технічні характеристики способів тієї ж школи, збільшуючи або зносостійкість, або адгезійну здатність, або твердість. Однак, оскільки такі технічні характеристики як твердість або зносостійкість знаходяться в суперечності з такими технічними характеристиками як адгезійна здатність і тріщиностійкість, спроби зменшити ці протиріччя призводять до ускладнення технології виготовлення і підвищення вартості металообробного інструменту.

Найбільш близьким до технічного рішення, що заявляють, за призначенням, технічною суттю та результату, що досягають при використанні, є спосіб виготовлення ріжучих пластин, що включає осадження вакуумно-плазмовим методом на тверду основу двошарового покриття, в якому як нижній шар наносять нітриди титану та алюмінію [див. писання до патенту РФ № 2502827, М.кл. С23С 14/24, опубл. 27.12.2013], а як верхній шар - леговані цирконієм нітриди ніобію і молібдену або ніобію і алюмінію. Обидва шари наносять при температурі 600 °С і тиску азоту  $4,3 \cdot 10^{-4}$  Па і після нанесення кожного шару з камери відкачують азот, впускають повітря і охолоджують камеру разом з ріжучими пластинами. Описаний вище спосіб формування покриття забезпечує більш високі технічні показники щодо зносостійкості.

Однак досягнуті значення основних технічних характеристик покриттів, отриманих описаним вище способом, внаслідок зазначеної вище протиріччя виявляються недостатніми. Це особливо помітно при їх використанні не тільки як покриттів для ріжучого інструменту, а й для формотворного, вирубного інструменту, тобто для інструменту, що працює при підвищених динамічних навантаженнях.

Тому метою пропонованого технічного рішення є комплексне підвищення основних технічних характеристик покриття, таких як міцність, зносостійкість, адгезійна сумісність покриття з основою.

В основу технічного рішення, що заявляють, поставлена задача удосконалення способу формування покриття, що містить нітрид виду Ti-Al-N, в якому внаслідок виконання шару нітриду, легованого іонами Mo, Cr, V, Si і утворення багатокомпонентного покриття виду (Ti, Al, Mo, Cr, V, Si) N, шляхом введення в плазмову фазу іонів молібдену, хрому, ванадію із сплавного титанового катода і іонів кремнію із сплавного алюмінієвого катода, забезпечується новий технічний результат.

Новизна технічного результату полягає в утворенні покриття, в якому легований нітридовий шар в результаті введення до складу покриття Ti-Al-N додаткових легуючих елементів (Mo, Cr, V, Si) в умовах, що забезпечують утворення високотвердих, міцних, високоентальпійних нітридних сполук ( $MO_2N$ , CrN, VN,  $Si_3N_4$ ), забезпечує суттєве підвищення зносостійкості та інших механічних властивостей покриття.

Поставлена задача вирішується також тим, що у відомому способі формування покриття, що містить нітрид виду (Ti-Al-N), згідно з корисною моделлю, шар нітриду виконують легуванням іонами Mo, Cr, V, Si, що утворює багатокомпонентне покриття виду (Ti, Al, Mo, Cr, V, Si) N,

шляхом введення в плазмову фазу іонів молібдену, хрому, ванадію із сплавного титанового катода при струмі розряду, а іони кремнію вводять з сплавного алюмінієвого катода.

Згідно з корисною моделлю, введення легуючих іонів виконують при струмі розряду  $I_p(Al) = 100-120$  А,  $I_p(Ti) = 90-100$  А, напрузі зсуву  $U_c = 50-150$  В і тиску азоту  $P_{N_2} = (1,33-4,0) \cdot 10^{-1}$  Па.

5 Як видно з викладу суті заявленого технічного рішення, воно відрізняється від прототипу і, отже, є новими.

Технічні рішення відрізняється від відомих принципово, як зазначено вище, тим, що в результаті введення до складу покриття Ti-Al-N додаткових легуючих елементів (Mo, Cr, V, Si) в умовах, що забезпечують утворення високотвердих, міцних, високоентальпійних нітридних сполук виду ( $MO_2N$ , CrN, VN,  $Si_3N_4$ ), забезпечується суттєве підвищення зносостійкості та інших механічних властивостей покриття.

Технічне рішення, що заявляють, промислово застосовне і може бути використане у виробництві інструментів для обробки твердих сплавів, зокрема інструментальних сталей.

15 У таблиці 1 показана залежність складу, одержуваних покриттів, від технологічних параметрів і деякі властивості покриттів.

Таблиця 1

Покриття	Технологічні параметри				Склад покриття, (%)							Мікротв., $H_v$ , кг/мм <sup>2</sup>	Товщ., мкм	Адгезія
	$I_p(Ti)$ , А	$I_p(Al)$ , А	$U_c$ , В	$P_{N_2}$ , $10^{-1}$ Па	Ti	Mo	V	Cr	Al	Si	N			
1	80	100	80	1,5	ін.	4,4	4,4	1,4	6,9	2,3	13,6	3500	10	добра
2	90	100	100	2,0	ін.	4,5	4,6	1,5	7,5	2,5	14,4	4200	10	дуже добра
3	100	120	120	2,0	ін.	4,6	4,7	1,5	6,1	2,1	14,6	4500	10	дуже добра
4	100	130	120	3,0	ін.	4,7	4,7	1,6	4,3	1,5	16,0	4600	10	добра
5 Ti-N	100	-	100	2,0	ін.	-	-	-	-	-	18,0	1800	10	добра
6 Ti-Al-N	100	100	100	2,0	ін.	-	-	-	8,0	-	18,0	3000	10	добра

Для порівняння в табл. 1 (пп. 5, 6) наведені характеристики покриттів Ti-N і Ti-Al-N, отриманих на тому ж обладнанні, але не із сплавних, а із чистих катодів.

20 Спосіб формування покриття на металевій підкладці полягає в наступному. Покриття отримують способом вакуум-дугового осадження з плазмової фази в середовищі реакційного газу азоту з іонним бомбардуванням. Осадження ведуть з двох катодів - сплавного титанового катода, до складу якого входять домішки молібдену, хрому, ванадію в наступному співвідношенні компонентів, (%) (табл. 2) і сплавного алюмінієвого катода, до складу якого входять домішки кремнію в наступному співвідношенні компонентів, (%) (табл. 3):

Таблиця 2

Вміст елемента в катоді, (%)	Ti	V	Cr	Mo
	інше	4-5.5	0.5-1.5	4-5.5

Таблиця 3

Вміст елемента в катоді, (%)	Si	Al
	20-22	інше

30 Перед розміщенням у вакуумній камері виробу, що покривають, та контрольні зразки промивають у бензині і протирають спиртом і встановлюють у гнізда поворотного-планетарного механізму столу вакуум-дугового блока установки Avinit, що розташовані по колу. Як матеріали катодів, що розпилюють, використовували Сплавний титановий катод і Сплавний алюмінієвий катод.

35 Реакційну камеру вакуумували до тиску  $6,6 \cdot 10^{-3}$  Па, напускали аргон до тиску  $2 \cdot 10^{-1}$  Па, підпалювали тліючий розряд і встановлювали струм розряду 20 А. Очищення в тліючому розряді аргону проводили при плавному підвищенні потенціалу зміщення на деталях, що покривали, від 20 В до 1000 В протягом 30 хв.

Потім проводили обробку виробів у високощільній плазмі аргону. Для цього напускали аргон до тиску  $2 \cdot 10^{-1}$  Па через газовий плазмоденератор, підпалювали газовий розряд, встановлювали

струм газового розряду 20 А, плавно підвищуючи потенціал зміщення на деталях, що покривали, від 20 В до 400...500 В, нагрівали деталі до 400...500 °С і проводили очищення в газовому розряді аргону протягом 30 хв.

Після цього аргон замінювали на азот при тому ж робочому тиску в камері  $P_{N_2} = (1,33-4,0) \cdot 10^{-1}$  Па і підпалювали дуговий розряд на обох катодах з технологічними параметрами, що наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Покриття	Технологічні параметри				Склад покриття, (%)								Мікротв., H <sub>v</sub> , кг/мм <sup>2</sup>	Товщ., мкм	Адгезія
	Ip(Ti), А	Ip(Al), А	Uc, В	P <sub>N<sub>2</sub></sub> , 10 <sup>-1</sup> Па	Ti	Mo	V	Cr	Al	Si	N				
1	80	100	80	1,5	Інш.	4,4	4,4	1,4	6,9	2,3	13,6	3500	10	добра	
2	90	100	100	2,0	Інш.	4,5	4,6	1,5	7,5	2,5	14,4	4200	10	дуже добра	
3	100	120	120	2,0	Інш.	4,6	4,7	1,5	6,1	2,1	14,6	4500	10	дуже добра	
4	110	130	120	3,0	Інш.		4,7	1,6	4,3	1,5	16,0	4600	10	добра	
5 Ti-N	100	-	100	2,0	Інш.	-	-	-	-	-	18,0	1800	10	добра	
6 Ti-Al-N	100	100	100	2,0	Інш.	-	-	-	8,0	-	18,0	3000	10	добра	

При обробці в плазмі титану при струмі розряду Ip (Ti) = 80-120 А і алюмінію при струмі розряду Ip (Al) = 90-140 А і потенціалі зміщення Uc=50-150 В у середовищі азоту  $P_{N_2} = (1,33-4,0) \cdot 10^{-1}$  Па плазмова фаза поряд з іонами титану і алюмінію додатково містить іони молібдену, хрому, ванадію і кремнію, які і входять до складу покриття.

Нанесення покриття проводили протягом 120 хвилин. Товщина покриття досягає 8...10 мкм.

Вимірювання мікротвердості проводили мікротвердоміри ПМТ-3 на контрольному зразку після нанесення покриттів при навантаженні на алмазну піраміду 0,2 Н.

У табл. 4 показана залежність складу одержуваних покриттів від технологічних параметрів і деякі властивості покриттів.

Для порівняння в табл. 4 (пп. 5, 6) наведені характеристики покриттів Ti-N і Ti-Al-N, отриманих на тому ж обладнанні, але не із сплавних, а із чистих катодів.

Реалізацію покриттів для зміцнення ріжучого і формотворного інструменту, отриманого за запропонованим способом, ілюструють такі приклади.

Приклад 1.

Проведені порівняльні випробування твердосплавного ріжучого інструменту з багатокомпонентними покриттями у виробничих умовах високошвидкісного фрезерування. Випробування проводилися на твердосплавних фрезах виробництва фірми "FRAISA", які в початковому стані покриття не мали, і на таких же фрезах з багатокомпонентними покриттями, нанесеними згідно способу, що заявляють.

Випробування проводилися методом порівняння величини зносу на ефективному діаметрі покритої і не покритої фрез, що працюють в однакових умовах на заготовлі зі сталі 45 з твердістю HRC 45. Величина зносу ріжучої кромки Н визначалася за допомогою мікроскопа при збільшенні в 30 разів. Результати випробувань наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Позначення фрези	Покриття	Режими різання			Час роботи, хв.	Величина зносу
		Оберти (об/хв.)	Подача (мм/хв.)	Глибина різання a <sub>p</sub> (мм)		
5280.140 Ø2 R1	Покриття (табл. 3, п. 2)	42000	1680	0,04	53	0,04
	Без покриття	42000	1680	0,04	53	0,12
5280.220 Ø4 R2	Покриття (табл. 3, п. 3)	42000	4200	0,05	21	0,03
	Без покриття	42000	4200	0,05	21	0,08-0,1
5280.300 Ø6 R3	Покриття Avinit (табл. 3, п. 4)	42000	5880	0,12	30	0,05
	Без покриття	42000	5880	0,12	30	0,15-0,2

Результати порівняльних випробувань показали, що на однакових режимах високошвидкісного фрезерування знос фрез, покритих за пропонуваним способом при оптимальних параметрах процесу (табл. 1, п. 2-4) багатокомпонентними покриттями в 2,6-4 рази менше, ніж не покритих.

5 Приклад 2.

Проведені виробничі випробування сфероциліндричних фрез R15, зміцнених згідно з заявленим способом (табл. 1, п. 3).

Умови проведення випробувань:

10 Операція - фрезерування профілю лопатки. Обладнання - обробний центр мод. 2204BM1Ф4. Оброблювана деталь - лопатка апарату Б90010160, що спрямляє; матеріал - EP479 (15 x 16H2AMШ).

15 Інструмент: фреза 9336-1239 (серійно вживана): 030 мм; R15 MM; Z=6; матеріал - P6M5K5MP (HRC66); передній кут -  $\gamma = 10^\circ$ ; задній кут -  $\alpha = 12^\circ$ . Режими різання: число обертів -  $n = 200$  об / хв; подача -  $S=250$  мм / хв; глибина обробки -  $1=2 \dots 3$  мм; охолодження - масляна СОЖ "Асфол-2".

Як показали результати виробничих випробувань, зміцнення інструменту типу сфероциліндричні фрези 9336-1239 за заявленим способом забезпечує підвищення стійкості інструменту в 1,5...1.8 рази при підвищенні якості обробленої поверхні.

Приклад 3.

20 Згідно з заявленим способом, як і в прикладі 1, були нанесені багатокомпонентні покриття на формозмінюючі частини штампів, що використовуються для вібропросічки на діропробивних пресах з ЧПУ "Behrens".

25 Порівняльні випробування в умовах промислового виробництва на штампах  $\varnothing 12$  мм, які використовують для найбільш навантажених і жорстких режимів вібропросічки на діропробивних пресах з ЧПУ "Behrens", показали, що при однакових умовах і режимах роботи стійкість штампів з багатокомпонентними покриттями значно більше, ніж без покриття (коефіцієнт зміцнення від 5 до 40 разів), при цьому підвищується якість оброблюваних матеріалів (табл. 6).

Таблиця 6

Позначення штампа	Покриття	Товщина оброблен. матеріалу	Кількість ударів	Величина зносу, мм	Швидкість зносу, мм/удар	Коеф. зміцнення
Пуансони $\varnothing 12$ мм	Покриття t (табл. 3, п. 2)	1 мм	161805	0,02	$1,24 \cdot 10^{-7}$	19
	Без покриття		46230	0,11	$2,38 \cdot 10^{-6}$	
Матриці $\varnothing 12,07$ мм	Покриття t (табл. 3, п. 2)		161805	0,004	$2,47 \cdot 10^{-7}$	43
	Без покриття		46230	0,05	$1,1 \cdot 10^{-6}$	
Пуансони $\varnothing 12$ мм	Покриття t (табл. 3, п. 1)	3 мм	62030	0,03	$4,8 \cdot 10^{-7}$	12
	Без покриття		26140	0,15	$5,7 \cdot 10^{-6}$	
Матриці $\varnothing 12,45$ мм	Покриття t (табл. 3, п. 1)		62030	0,04	$6,4 \cdot 10^{-7}$	5
	Без покриття		26140	0,08	$3,0 \cdot 10^{-6}$	

30 Особливо ефективно працює покриття при вирубці листових металів: сталей, латуні, міді. Стійкий до ушкоджень покриття на крайках штампа виконує ті ж функції, що й на фрезах при ударних навантаженнях. Покриття оберігає виробу від задирок під час рубки, так як навіть при зносі покриття по вирубній кромці зберігається тривалий час на прилеглих поверхнях матриці і пуансона. Підвищує довговічність штампа в 3 і більше разів.

35 Приклад 4.

Багатошарові покриття (табл. 1, п. 2) були нанесені на твердосплавні ріжучі пластини з сплаву ВК6.

40 Як показали результати промислових випробувань, при обробці торців зварних труб ( $\varnothing=25-75$  мм) зі сталі Ст.3 кп (умови різання: швидкість різання  $V=20-25$  м/хв, глибина різання 3 мм), стійкість різальних пластин з багатошаровими покриттями збільшується в 2,6-3 разів.

Як видно з наведених прикладів, найкращі результати по зміцненню різних типів інструментів досягаються для покриттів, зазначених у табл. 1, п. 2.

Оптимальні технологічні параметри процесу такі:  $I_p (Ti)=90$  А,  $I_p (Al)=110$  А,  $U_c=110$  В,  $P_{N_2}=2,0 \cdot 10^{-1}$  Па (табл. 1, п. 2).

45 При цьому формуються покриття з наступним співвідношенням компонентів, (%):

Таблиця 7

Ti	Al	V	Cr	Mo	Si	N
решта	7,5	4,6	1,5	4,5	2,5	14,4

- Таким чином, запропонований спосіб дозволяє досягти багаторазового збільшення зносостійкості і терміну служби ріжучого і формотворного інструменту. Ефект досягається нанесенням дуже тонких (0,5-10 мкм) зносостійких покриттів на робочі поверхні деталей.
- 5 Операція нанесення покриттів є фінішною, не впливає на попередній процес виготовлення деталей. Мала товщина покриттів не вимагає зміни величини допусків на їх розміри. Надвисока твердість покриттів і виключно висока міцність зчеплення покриттів із всілякими підкладками забезпечують підвищення зносостійкості різального, формотворного інструменту і деталей машин в 3-30 разів, штампів в 5-100 разів, деталей, що труться об абразивні матеріали, в 10-100 разів.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб формування зносостійкого іонно-плазмового покриття для ріжучого і формотворного інструменту, який включає обробку виробу пучком іонів титану і алюмінію в середовищі азоту, який **відрізняється** тим, що багатоконпонентне покриття (Ti-Al-Mo-Cr-V-Si) N утворюють шляхом введення в плазмову фазу іонів молібдену, хрому, ванадію з сплавного титанового катода, а іони кремнію вводять із сплавного алюмінієвого катода.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що введення легуючих іонів виконують при струмі розряду  $I_p (Al) = 100-120 \text{ A}$ ,  $I_p (Ti) = 90-100 \text{ A}$ , напрузі зміщення  $U_c = 50-150 \text{ В}$  і тиску азоту  $P_{N_2} = (1,33-4,0) \cdot 10^{-1} \text{ Па}$ .

---

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601