



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **153741** (13) **U**
(51) МПК (2023.01)
B23H 9/00
B23H 1/00
C23C 8/60 (2006.01)
C23C 10/48 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2022 04557</p> <p>(22) Дата подання заявки: 05.12.2022</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 24.08.2023</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 23.08.2023, Бюл.№ 34</p>	<p>(72) Винахідник(и): Гапонова Оксана Петрівна (UA), Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Жиленко Тетяна Іванівна (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): Тарельник Наталія В'ячеславівна, вул. Сумсько-Київських дивізій, 20, кв. 70, м. Суми, 40030 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
---	--

(54) СПОСІБ АЛІТУВАННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Заявлений спосіб алітування сталевих деталей, в якому алітування здійснюють алюмінієвим електродом в два етапи, при енергії розряду на першому етапі $W_p=0,52-6,8$ Дж. На першому етапі алітування проводять при продуктивності $0,2-0,7$ см²/хв. На другому етапі здійснюють наступне алітування алітованого шару тим же алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-2,6$ Дж і продуктивності $0,2-0,4$ см²/хв.

UA 153741 U

Корисна модель належить до галузі електрофізичної та електрохімічної промисловості, зокрема стосується електроіскрового легування (ЕІЛ) поверхонь сталевих деталей алюмінієм (алітування), і може бути застосована для обробки термооброблених сталевих деталей для підвищення їх твердості, зносостійкості і опору атмосферній корозії.

5 Відомий спосіб алітування сталевих деталей електроерозійним легуванням (ЕЕЛ) алюмінієвим електродом, в якому обробку проводять спочатку ЕЕЛ алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-6,8$ Дж і продуктивності $1,0-3,0$ $\text{см}^2/\text{хв.}$, а потім здійснюють наступне ЕЕЛ алітованого шару тим же алюмінієвим електродом, але при енергії розряду $W_p=0,52-4,6$ Дж і продуктивності $1,1-2,7$ $\text{см}^2/\text{хв.}$ [UA № 119707 U, C23C 10/48, B23H 9/00, 2017].

10 Відомий спосіб алітування сталевих деталей методом електроерозійного легування алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-6,8$ Дж і продуктивності $1,0-3,0$ $\text{см}^2/\text{хв.}$, в якому перед електроерозійним легуванням алюмінієвим електродом на поверхню деталі, що підлягає алітуванню, наносять консистентну речовину, яка містить сірку і алюмінієву пудру, після чого проводять процес алітування, не чекаючи висихання консистентної речовини [UA № 130157 U, B23H 1/00, B23H 9/00, C23C 10/48, C23C 8/60, 2018].

15 Відомий також спосіб обробки поверхонь сталевих деталей методом електроерозійного легування графітовим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-6,8$ Дж і продуктивності $1,0-3,0$ $\text{см}^2/\text{хв.}$, в якому перед електроерозійним легуванням на поверхню деталі, що підлягає обробці, наносять консистентну речовину, яка містить сірку і алюмінієву пудру, після чого, не чекаючи висихання консистентної речовини, проводять процес електроерозійного легування [UA № 121346 C2, B23H 1/06, B23H 9/00, C23C 12/02, 2020].

Зазначені аналоги мають недостатню якість поверхневого шару.

25 Найближчим аналогом до корисної моделі, що заявляється, є спосіб обробки сталевих деталей електроерозійним легуванням (теж що і ЕІЛ) алюмінієвим електродом, при якому обробку проводять спочатку ЕІЛ алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-6,8$ Дж і продуктивності $1,0-3,0$ $\text{см}^2/\text{хв.}$, а потім здійснюють наступне ЕІЛ алітованого шару тим же алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-4,6$ Дж і продуктивності $1,1-2,7$ $\text{см}^2/\text{хв.}$ (прототип) [UA № 119316 U, C23C 10/48, B23H 9/00, 2017].

Недоліки зазначеного способу:

30 - низька суцільність алюмінієвого покриття, при енергії розряду в межах: $W_p=0,52-4,6$ Дж, суцільність знаходиться в діапазоні 60-95 %;
 - відносно невелика товщина білого шару;
 - відносно невелика мікротвердість білого шару і дифузійної зони;
 - висока шорсткість поверхні.

35 В основу корисної моделі поставлена задача створення способу алітування сталевих деталей, який би підвищив параметри якості поверхневого шару: суцільність, товщину "білого" шару і дифузійної зони, мікротвердість і шорсткість поверхні.

40 Поставлену задачу вирішують тим, що у способі алітування сталевих деталей, в якому алітування здійснюють алюмінієвим електродом в два етапи, при енергії розряду на першому етапі $W_p=0,52-6,8$ Дж, згідно з корисною моделлю, на першому етапі алітування проводять при продуктивності $0,2-0,7$ $\text{см}^2/\text{хв.}$, а на другому етапі здійснюють наступне алітування алітованого шару тим же алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-2,6$ Дж і продуктивності $0,2-0,4$ $\text{см}^2/\text{хв.}$

45 На поверхню, яка зазнала алітування на першому етапі, перед подальшим алітуванням алюмінієвим електродом наносять консистентну речовину, що складається з алюмінієвої пудри - 90 % і вазеліну - 10 % або графітового порошку - 45 % і алюмінієвої пудри - 45 %.

50 Алітована сталева поверхня набуває високої окалинотійкості (до 850-950°C), оскільки під час нагрівання на поверхні алітованих деталей утворюється щільна плівка окису алюмінію Al_2O_3 , що оберігає метал від окислення. Твердість алітованого шару на поверхні становить до 500 HV, зносостійкість найбільш висока.

При зростанні енергії розряду з 0,52 до 6,8 Дж на першому етапі обробки сталі товщина "білого" шару і дифузійної зони у міру збільшення енергії розряду збільшується, відповідно, зростають мікротвердість і шорсткість поверхні, а суцільність дорівнює 100 %.

55 Здійснення на другому етапі наступного алітування алітованого шару тим же алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-2,6$ Дж і продуктивності $0,2-0,4$ $\text{см}^2/\text{хв.}$ дозволяє знизити шорсткість поверхні до $R_a=1,1$ мкм.

60 Нанесення перед другим етапом консистентної речовини з алюмінієвої пудри сприяє зниженню шорсткості поверхневого шару і підвищенню його суцільності, а нанесення консистентної речовини з алюмінієвої пудри і графітового порошку сприяє, крім цього, і збільшенню мікротвердості поверхневого шару.

Аналіз робіт по алітуванню методом ЕІЛ показав, що при дослідженні параметрів роботи обладнання установок ЕІЛ в широкому діапазоні досліджувалась енергія розряду (W_p), а продуктивність приймалась згідно з рекомендаціями Таблиці 1.

Залежність продуктивності ЕІЛ від енергії розряду

5

Таблиця 1

Енергія розряду (W_p), Дж	0,52	1,3	2,6	4,6	6,8
Продуктивність, $см^2/хв$	1,0-1,3	1,3-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0

Параметри продуктивності, представлені в Таблиці 1, більш підходять при використанні як матеріалу електрода-інструмента з твердих зносостійких і тугоплавких металів (ванадій, титан, вольфрам та ін.), а алюміній - легкоплавкий метал, тому існує наукова та практична доцільність в проведенні досліджень впливу продуктивності ЕІЛ в більшому діапазоні часу легування на параметри якості сформованого поверхневого шару при використанні електрода-інструмента з алюмінію.

Спосіб здійснюють наступним чином:

1-й етап - обробку проводять алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-6,8$ Дж і продуктивності $0,2-0,7$ $см^2/хв$;

2-й етап - на поверхню, що зазнала алітування на 1-му етапі перед подальшим електроіскровим легуванням (ЕІЛ) алюмінієвим електродом наносять консистентну речовину, яка містить алюмінієву пудру або графітовий порошок і алюмінієву пудру, після чого, не чекаючи висихання консистентної речовини, проводять процес алітування при енергії розряду $0,52-2,6$ Дж і продуктивності $0,2-0,4$ $см^2/хв$, при цьому енергію розряду і продуктивність вибирають таку, при якій шорсткість поверхні зменшується в 4 рази.

Використання способу, що заявляється, пояснюється на конкретних прикладах.

З метою визначення впливу енергетичних параметрів обладнання ЕІЛ на якісні параметри покриттів виготовляли зразки зі сталі 20 та 40 розміром $15 \times 15 \times 8$ мм, на які на першому етапі наносили покриття алюмінієвим електродом на установці моделі "Елітрон 52А" з використанням різних режимів. Причому кожному режиму електроіскрового легування (ЕІЛ) відповідає своя енергія розряду та продуктивність - площа сформованого покриття в одиницю часу.

На сформоване на першому етапі алюмінієве покриття наносили консистентну речовину, яка складалась з вазеліну (10 %) і алюмінієвої пудри (90 %) або алюмінієвої пудри (45 %) та порошку графіту (45 %).

З метою зниження шорсткості поверхні після ЕІЛ алюмінієм на першому етапі проводили алітування тим же алюмінієвим електродом, не чекаючи висихання консистентної речовини з вазеліну і алюмінієвої пудри, але на менших режимах.

З метою зниження шорсткості поверхні і підвищення мікротвердості в поверхневому шарі після ЕІЛ алюмінієм на першому етапі проводили алітування тим же електродом, не чекаючи висихання консистентної речовини з алюмінієвої пудри і вазеліну або алюмінієвої пудри і порошку графіту, але також на менших режимах.

Шорсткість поверхні визначали на приладі профілографі-профілометрі мод. 201 заводу "Калібр" шляхом зняття та обробки профілограм. Структури поверхневого шару вивчали на оптичному мікроскопі "Неофот-2", де проводили оцінку якості шару, його суцільності, товщини "білого" шару та будови зон підшару. Одночасно на мікротвердомірі ПМТ-3 проводили дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі і по глибині шліфа від поверхні.

При дослідженні впливу продуктивності процесу ЕІЛ сталевих зразків зі сталі 20 і сталі 40 використовували два варіанти зменшення продуктивності відносно вказаної в Таблиці 1.

В Таблиці 2 представлені дані цих варіантів:

перший, коли продуктивність була зменшена ~ в два рази;

другий, коли продуктивність була зменшена ~ в чотири рази.

Залежність продуктивності ЕІЛ від енергії розряду

50

Таблиця 2

Енергія розряду (W_p), Дж		0,52	1,3	2,6	4,6	6,8
Продуктивність, $см^2/хв$	1-й варіант	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-1,0	1,0-1,2	1,2-1,5
	2-й варіант	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7

Корисна модель пояснюється ілюстраціями.

На Фіг. 1 зображено ділянку структури поверхневого шару сталі 20 після ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом при $W_p=0,52$ Дж;

на Фіг. 2 - ділянку структури поверхневого шару сталі 20 після ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом при $W_p=1,3$ Дж;

на Фіг. 3 - ділянку структури поверхневого шару сталі 20 після ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом при $W_p=2,6$ Дж;

на Фіг. 4 - ділянку структури поверхневого шару сталі 20 після ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом при $W_p=4,6$ Дж;

на Фіг. 5 - ділянку структури поверхневого шару сталі 20 після ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом при $W_p=6,8$ Дж;

на Фіг. 6 - розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 20 при ЕІЛ алюмінієвим електродом;

на Фіг. 7 - розподіл мікротвердості в поверхневому шарі сталі 40 при ЕІЛ алюмінієвим електродом.

1-й етап

На Фіг. 1-Фіг. 5 зображені різні ділянки структури поверхневого шару зразка сталі 20 після ЕІЛ алюмінієвим електродом з енергією розряду, відповідно $W_p=0,52; 1,3; 2,6; 4,6; 6,8$ Дж.

У результаті аналізу структури сформованого поверхневого шару, структура якого змінилась, слід зазначити, що його суцільність практично при кожній енергії розряду зростає до 100 %.

Товщина "білого" шару і дифузійної зони у міру збільшення енергії розряду збільшується з 25 до 65 і з 40 до 65 мкм, відповідно при збільшенні W_p з 0,52 до 2,6 Дж, а потім практично не змінюється при $W_p=4,6$ Дж і навіть зменшується, відповідно при $W_p=6,8$ Дж до 70 і до 110 мкм.

Шорсткість поверхні при зменшенні продуктивності ЕІЛ незначно зменшилась відносно величини шорсткості, яка відповідає продуктивності, вказаній в Таблиці 1. При зменшенні продуктивності процесу ЕІЛ збільшується час обробки 1см^2 площини поверхні. При цьому кристалізація кожного наступного шару відбувається повільніше за рахунок акумулювання тепла розплавом легкоплавкого металу (алюмінію), але процес зменшення шорсткості не такий інтенсивний. Це можна пояснити тим, що з кожним наступним "проходом" електрода-інструмента з алюмінію різниця між кількістю алюмінію і сталі в покритті все менше відрізняється від попереднього варіанта.

Результати дюрOMETричного аналізу поверхневих шарів, структури яких представлені на Фіг. 1-Фіг. 5, зведені в Таблиці 3 і представлені на Фіг. 6-Фіг. 7.

Результати дюрOMETричного аналізу поверхневих шарів сталі 20 і сталі 40, структури яких представлені на Фіг. 1-Фіг. 5

Таблиця 3

Енергія розряду, Дж	Розподіл мікротвердості (H_v) в поверхневому шарі у міру поглиблення при кроку вимірювання 30 мкм.								
	30	60	90	120	150	180	210	240	270
Сталь 20									
0,52	2200±20	1800±50	1700±50						
1,30	2250±20	1900±50	1800±50	1700±50					
2,60	2900±20	2570±50	2250±50	2000±70	1700±50				
4,60	5300±20	4800±50	4100±50	3100±70	2550±90	1800±90	1700±80		
6,8	7400±20	5700±50	4800±50	3550±70	2790±90	2530±90	1950±80	1700±70	
Сталь 40									
0,52	2400±20	2100±50	1700±50						
2,60	3150±20	2620±50	2350±50	1900±70	1700±50				
6,8	7450±20	5750±50	4870±50	3600±70	2890±90	2550±90	2000±80	1700±70	

У результаті аналізу Табл. 3 і Фіг. 6 - Фіг. 7 встановлено, що при збільшенні енергії розряду збільшується мікротвердість поверхневого шару як в "білому" шарі, так і в перехідній (дифузійній) зоні. Таким чином, зі збільшенням енергії розряду зростає зона підвищеної мікротвердості. Максимальна мікротвердість знаходиться на поверхні сформованих шарів і у міру поглиблення плавно знижується до мікротвердості основи.

При заміні сталі 20 на сталь 40 відбуваються незначні зміни з боку підвищення мікротвердості як в білому шарі, так і в перехідній (дифузійній) зоні (Табл. 3).

У таблицях 4 і 5 представлені зведені дані результатів параметрів якості поверхневих шарів сталі 20 і сталі 40 після ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом при зміні енергії розряду з 0,52 до 6,8 Дж і продуктивності з 0,2-0,3 см²/хв при Wp=0,52 Дж до 0,6-0,7 см²/хв. при Wp=6,8 Дж.

5 Якісні параметри поверхневих шарів сталі 20 зразків після ЕІЛ алюмінієвим електродом

Таблиця 4

Енергія розряду, Дж	Продуктивність, см ² /хв	Товщина, мкм		Максимальна мікротвердість, МПа		Шорсткість, мкм			Суцільність "білого" шару, %
		"білого" шару	перехідної зони	"білого" шару	перехідної зони	Ra	Rz	Rmax	
Сталь 20 (продуктивність згідно з табл. 1)									
0,52	1,0-1,3	До 12	До 30	2000±20	1900±50	1,3	2,3	9,3	60
1,3	1,3-1,5	До 50	До 40	2050±20	1850±80	1,9	6,2	21,6	80
2,6	1,5-2,0	До 50	До 50	2700±20	2000±200	3,3	9,3	23,2	85
4,6	2,0-2,5	До 70	До 60	5010±20	2250±200	6,2	16,3	40,6	95
6,8	2,5-3,0	До 70	До 130	7270±20	2370±70	9,0	18,1	58,3	100
Сталь 20									
0,52	0,2-0,3	До 25	До 40	2250±20	1980±50	1,0	2,0	8,5	100
1,30	0,3-0,4	До 55	До 40	2300±20	2000±80	1,7	6,0	15,6	100
2,60	0,4-0,5	До 65	До 65	2950±20	2050±50	3,0	8,8	18,1	100
4,60	0,5-0,6	До 75	До 90	5300±20	2000±50	5,9	15,0	31,2	100
6,8	0,6-0,7	До 70	До 110	7400±20	2150±50	8,7	17,1	43,3	100

*- консистентна речовина складалась з алюмінієвої пудри та порошку графіту

Якісні параметри поверхневих шарів сталі 40 зразків після ЕІЛ алюмінієвим електродом

Таблиця 5

Енергія розряду, Дж	Продуктивність, см ² /хв	Товщина, мкм		Максимальна мікротвердість, МПа		Шорсткість, мкм			Суцільність "білого" шару, %
		"білого" шару	перехідної зони	"білого" шару	перехідної зони	Ra	Rz	Rmax	
Сталь 40 (продуктивність згідно з табл. 1)									
0,52	1,0-1,3	До 15	До 35	2350±20	2000±50	1,2	3,0	8,1	50
2,60	1,5-2,0	До 70	До 70	3500±20	4500±50	1,9	4,1	11,6	70
6,8	2,5-3,0	До 130	До 150	7400±20	2390±70	8,1	17,3	49,0	100
Сталь 40 (другий варіант)									
0,52	0,2-0,3	До 15	До 45	2450±20	2130±50	1,6	3,0	6,1	100
2,60	0,4-0,5	До 70	До 90	3250±20	4650±50	1,9	4,1	7,7	100
6,8	0,6-0,7	До 120	До 130	7300±20	2030±70	8,1	17,3	39,1	100

10

2-й етап

На другому етапі на поверхню, що зазнала алітування на 1-му етапі, після нанесення консистентної речовини, яка містить алюмінієву пудру і порошок графіту проводили подальше ЕІЛ алюмінієвим електродом при енергії розряду 0,52-2,6 Дж і продуктивності 0,5-0,7 см²/хв. Алюмінієва пудра і порошок графіту заповнювали всі мікронерівності шорсткості поверхні, яка була отримана після алітування на 1-му етапі. На другому етапі алітування процес ЕІЛ відбувався між торцевою поверхнею алюмінієвого електрода-інструмента (анодом) і виступами шорсткості поверхні, залишеними після 1-го етапу алітування (катодом), а також алюмінієвою пудрою і порошком графіту, що знаходились між цими виступами. При цьому виступи шорсткості деформувались, розплавлялись разом з алюмінієвою пудрою і частково розтікались заповнюючи западини, мікропори і інші недосконалості поверхні, що алітують. В результаті шорсткість поверхні знижується. В результаті контактування торцю алюмінієвого електрода-інструмента з порошком графіту (вуглецем) в поверхневому шарі підвищується мікротвердість

15

20

"білого" шару, що є результатом процесів, пов'язаних із загартуванням і створенням карбідів.
 У Таблиці 6 представлені енергія розряду та продуктивність при другому етапі алітування.
 Залежність продуктивності ЕІЛ від енергії розряду на 2-му етапі алітування

Таблиця 6

Енергія розряду (W_p), Дж	0,52	1,3	2,6
Продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$	1,0-1,3	1,3-1,5	1,5-2,0

5

Таким чином, у результаті проведених досліджень при зростанні енергії розряду з 0,52 до 6,8 Дж на першому етапі обробки сталі 20 і сталі 40 товщина "білого" шару і дифузійної зони у міру збільшення енергії розряду збільшується з 20 до 85 мкм і з 35 до 140 мкм, відповідно, зростають мікротвердість і шорсткість поверхні, а суцільність дорівнює 100 %.

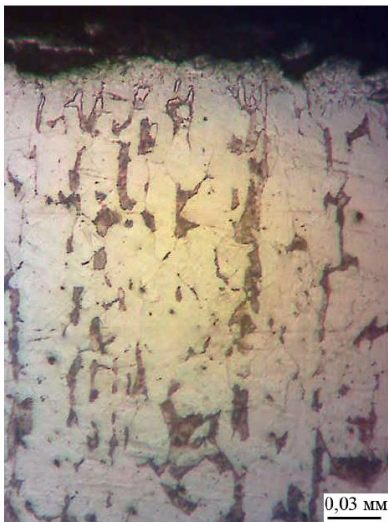
10

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

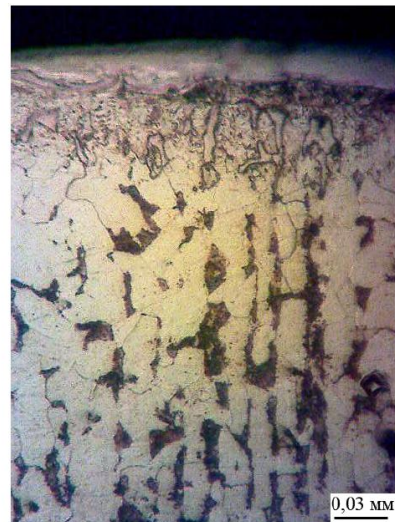
1. Спосіб алітування сталевих деталей, в якому алітування здійснюють алюмінієвим електродом в два етапи, при енергії розряду на першому етапі $W_p=0,52-6,8$ Дж, який **відрізняється** тим, що на першому етапі алітування проводять при продуктивності $0,2-0,7 \text{ см}^2/\text{хв}$., а на другому етапі здійснюють наступне алітування алітованого шару тим же алюмінієвим електродом при енергії розряду $W_p=0,52-2,6$ Дж і продуктивності $0,2-0,4 \text{ см}^2/\text{хв}$.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що на поверхню, яка зазнала алітування на першому етапі, перед подальшим алітуванням алюмінієвим електродом наносять консистентну речовину, що складається з алюмінієвої пудри - 90 % і вазеліну - 10 % або графітового порошку - 45 % і алюмінієвої пудри - 45 %.

15

20



Фіг.1



Фіг.2



Fig.3

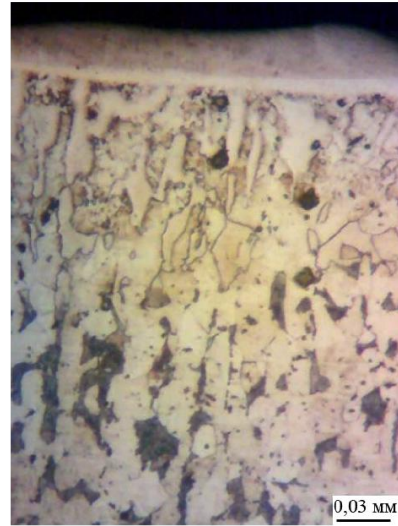


Fig.4

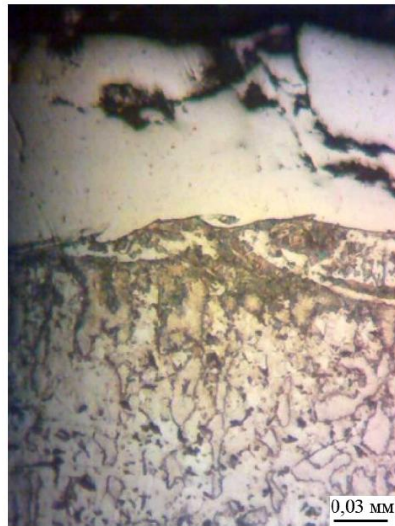
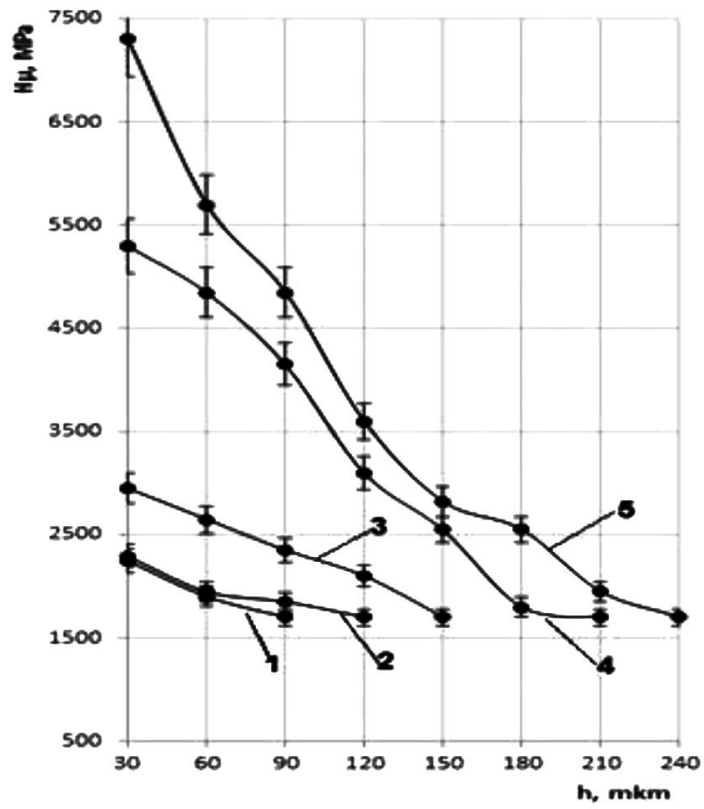
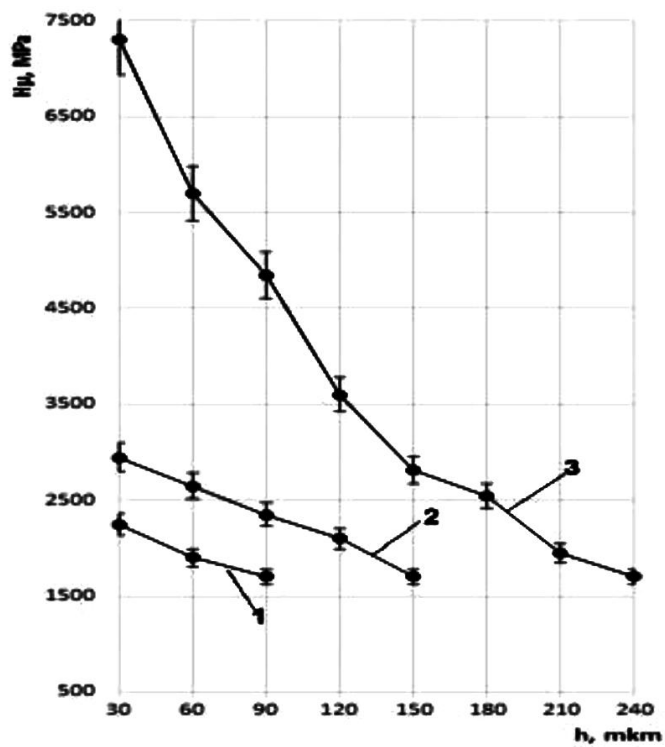


Fig.5



Фиг.6



Фиг.7