



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **126517** (13) **C2**
(51) МПК

B23H 1/06 (2006.01)
B23H 5/02 (2006.01)
F16C 33/04 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2021 01425</p> <p>(22) Дата подання заявки: 22.03.2021</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 20.10.2022</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 28.09.2022, Бюл.№ 39</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 19.10.2022, Бюл.№ 42</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Антошевський Богдан (PL), Роп'як Любомир Ярославович (UA), Саржанов Олександр Анатолійович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Мікуліна Марина Олександрівна (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Поливаний Антон Дмитрович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 105965 C2, 10.07.2014 RU 2299790 C1, 27.05.2007 UA 109229 U, 25.08.2016 UA 64613 A, 16.02.2004 SU 1146154 A1, 23.03.1985 RU 2422690 C1, 27.06.2011 GB 2527368 B, 06.05.2020 CN 111394719 A, 10.07.2020 US 6357917 B1, 19.03.2002 US 10274011 B2, 30.04.2019</p>
---	--

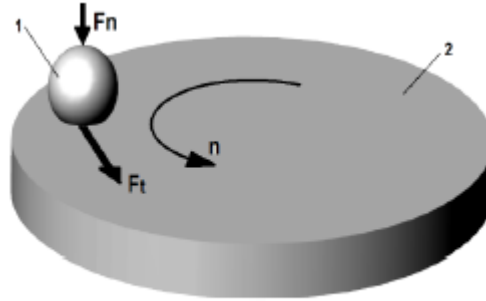
UA 126517 C2

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ БРОНЗОВИХ ВКЛАДИШІВ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ (ВАРІАНТИ)

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроіскрового легування, і може застосовуватися для обробки поверхонь бронзових вкладишів підшипників ковзання. Заявлений спосіб включає сульфідкування і нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП) електродами-інструментами з формуванням шарів у послідовності: срібло - м'який метал (свинець або олово) - срібло, при цьому шар срібла наносять при енергії імпульсу $W_u=0,52-4,6$ Дж, шар свинцю або олова наносять на шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,13-4,6$ Дж або $W_u=0,36-4,6$ Дж, відповідно, на шар свинцю або олова наносять ще один шар срібла

при енергії імпульсу $W_u=0,05-0,36$ Дж, причому оброблювані поверхні сульфідують перед кожним нанесенням шару срібла. Запропонована технологія отримання КЕІП дозволяє забезпечити товщину покриття $0,19-1,31$ мм, що спрощує подальшу механічну обробку поверхонь. Вирішена задача поліпшення умов припрацьовування вкладишів підшипників ковзання, підвищено їх довговічність та надійність у роботі.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроіскрового (електроерозійного) легування, і може застосовуватися для обробки поверхонь вкладишів підшипників.

Відомо спосіб електроіскрового легування (ЕІЛ) поверхні, тобто процес перенесення матеріалу на оброблювану поверхню іскровим електричним розрядом [Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976].

Спосіб характеризується такими специфічними особливостями:

матеріал анода (легуючий матеріал) може утворювати на поверхні катода (легованій поверхні) шар покриття, надзвичайно міцно зчеплений з поверхнею, при цьому відсутня не тільки межа розділу між нанесеним матеріалом і металом основи, але наявною є навіть дифузія елементів анода в катод;

легування може здійснюватися лише в зазначених місцях, не захищаючи при цьому решту поверхні деталі.

Відомо також спосіб обробки бронзових вкладишів (БВ) підшипників ковзання (ПК), що включає нанесення на вкладиші методом електроіскрового легування за допомогою електродів-інструментів електроіскрового покриття із срібла при енергіях імпульсу 0,01-0,05 Дж, потім – електроіскрового покриття з міді при енергіях імпульсу 0,01-0,5 Дж, після цього – електроіскрового покриття з олов'яного бабіту при енергіях імпульсу 0,01-0,06 Дж для отримання комбінованого електроіскрового покриття (КЕІП) [RU № 2299790 С1, В23Н 1/00. Способ обработки вкладышей подшипников / В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, В.А. Пчелинцев / опубл. 27.05.2007, бюл. № 15].

Незважаючи на можливість виготовлення КЕІП, сформованих у послідовності срібло→мідь→бабіт товщиною до 250 мкм, до практичного застосування можна рекомендувати тільки покриття товщиною до 25-30 мкм. Подальше збільшення товщини шару призводить до різкого збільшення шорсткості поверхні з $Ra=0,8-1,0$ мкм до $Ra=11,0-12,0$ мкм і зниження суцільності з 95-100 % до 40-50 %.

Отже, застосування бронзових вкладишів підшипників, оброблених зазначеним способом, не завжди приводить до бажаного результату через малу товщину покриття. З причини необхідності компенсування погрешностей установлення підшипників за посиленних умовах роботи (велика кількість обертів і високий питомий тиск), під час припрацьовування можуть відбутися задирки робочої поверхні вкладиша підшипника через недостатню товщину антифрикційного шару.

Найближчим до винаходу, що заявляється, є спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання, що включає нанесення на робочі поверхні вкладишів методом ЕІЛ комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП) електродами-інструментами з формуванням на робочих поверхнях послідовності шарів: срібло – м'який метал – срібло. При цьому спочатку наносять шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,1-0,3$ Дж, далі на шар срібла наносять шар покриття зі свинцю при енергії імпульсу $W_u=0,3-0,4$ Дж, після чого на шар свинцю наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,04-0,10$ Дж, причому, продуктивність процесу становить 0,2-2,0 см /хв, товщина шару знаходиться в межах 80-120 мкм, а шорсткість (R_z), відповідно – 18-24 мкм [UA № 105965 C2, В23Н 5/00. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання / Марцинковський В.С., В.Б. Тарельник, О.В. Дзюба / опубл. 10.07.2014, бюл. № 13].

Слід зазначити, що КЕІП, сформовані в послідовності срібло→свинець→срібло, мають шорсткість поверхні (R_z) на окремих ділянках до 24 мкм, значну хвильність до $W_{max}=70$ мкм і суцільність до 85 %. Такі антифрикційні покриття при нанесенні на вкладиші бронзових ПК потребують подальшої обробки для покращення параметрів якості поверхні і запобігання схоплюванню контактуючих поверхонь, причому товщини 120 мкм недостатньо для подальшої обробки будь-яким відомим способом: розточуванням, фрезеруванням, обробкою поверхневим пластичним деформуванням (ППД), безабразивною ультразвуковою фінішною обробкою (БУФО) та ін. Таким чином, процес формування припрацьовувальних покриттів на робочих поверхнях бронзових вкладишів підшипників ковзання потребує подальшого вдосконалення.

В основу винаходу поставлено задачу поліпшення умов припрацьовування вкладишів підшипників ковзання, підвищення їх надійності і довговічності в роботі.

Поставлену задачу вирішують тим, що у способі обробки бронзових вкладишів підшипника ковзання, який включає нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування комбінованих електроіскрових покриттів електродами-інструментами з формуванням шарів у послідовності: срібло – м'який метал – срібло, згідно з винаходом, шар срібла наносять при енергії імпульсу $W_u=0,52-4,6$ Дж, шар свинцю наносять на шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,13-4,6$ Дж, на шар свинцю наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,05-0,36$ Дж, при цьому оброблювані поверхні сульфідують перед кожним нанесенням шару срібла.

Поставлену задачу також вирішують тим, що у способі обробки бронзових вкладишів підшипника ковзання, який включає нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування комбінованих електроіскрових покриттів електродами-інструментами з формуванням на робочих поверхнях послідовності шарів: срібло – м'який метал – срібло, згідно з винаходом, шар срібла наносять при енергії імпульсу $W_{\text{и}}=0,52-4,6$ Дж, шар олова наносять на шар срібла при енергії імпульсу $W_{\text{и}}=0,36-4,6$ Дж, на шар олова наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $W_{\text{и}}=0,05-0,36$ Дж, при цьому оброблювані поверхні сульфідують перед кожним нанесенням шару срібла.

В обох варіантах способу при сульфидуванні застосовують сірчану мазь з концентрацією сірки 33,3 %.

Також в обох варіантах забезпечують товщину покриття 0,19-1,31 мм.

Запропонована технологія отримання КЕІП дозволяє забезпечити товщину покриття 0,19-1,31 мм, що спрощує подальшу механічну обробку поверхонь. Вирішена задача поліпшення умов припрацювання вкладишів підшипників ковзання, підвищено їх довговічність та надійність у роботі.

Винахід пояснюється кресленнями, де:

на Фіг. 1 показано схему пари тертя трибологічного тестера Т-01 М, де 1 – кулька, 2 – диск;

на Фіг. 2 – мікроструктуру після травлення у солянокислому розчині хлорного заліза зразка № 1;

на Фіг. 3 – розподіл мікротвердості поверхневого шару після травлення у солянокислому розчині хлорного заліза зразка № 1;

на Фіг. 4 – мікроструктуру після травлення у солянокислому розчині хлорного заліза зразка № 2;

на Фіг. 5 – розподіл мікротвердості поверхневого шару після травлення у солянокислому розчині хлорного заліза зразка № 2;

на Фіг. 6 – мікроструктуру після травлення у солянокислому розчині хлорного заліза зразка № 3;

на Фіг. 7 – розподіл мікротвердості поверхневого шару після травлення у солянокислому розчині хлорного заліза зразка № 3;

на Фіг. 8 – мікроструктуру зразка № 4 без травлення;

на Фіг. 9 – розподіл мікротвердості поверхневого шару зразка № 4 без травлення;

на Фіг. 10 – мікроструктуру зразка № 5 без травлення;

на Фіг. 11 – розподіл мікротвердості поверхневого шару зразка № 5 безтравлення;

на Фіг. 12 – мікроструктуру зразка № 6 без травлення;

на Фіг. 13 – розподіл мікротвердості поверхневого шару зразка № 6 без травлення;

на Фіг. 14 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска без покриття зразка № 0;

на Фіг. 15 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ зразка № 1;

на Фіг. 16 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ зразка № 2;

на Фіг. 17 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ зразка № 3;

на Фіг. 18 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$ зразка № 4;

на Фіг. 19 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$ зразка № 5;

на Фіг. 20 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$ зразка № 6;

на Фіг. 21 – характер зміни сили тертя F_t на Фіг.1 сталевій кульки по поверхні бронзового диска з покриттям $Ag \rightarrow Pb \rightarrow Ag$ зразка № 7;

на Фіг. 22 – порівняльні діаграми зміни сил тертя для всіх серій зразків при навантаженні 9,81 Н.

Для проведення металографічних і дюрOMETричних досліджень припрацьовувальних покриттів, що наносилися методом ЕІЛ, з бронзи БрО10С10 твердістю 1235 МПа виготовляли зразки розміром 15×15×6 мм. При цьому як матеріал електродів використовували срібло (Ср 999), свинець (С1) і олово (О1).

З метою визначення впливу сульфидування на якісні параметри сформованого поверхневого шару на бронзі БрО10С10, виготовляли три серії зразків №№ 1-6, зміцнених згідно з Таблицею 1:

1 серія – без використання сірки;

2 серія – сірку у вигляді сірчаної мазі з концентрацією сірки 33,3 % наносили на оброблювану поверхню перед нанесенням срібла $S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ і $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$;

3 серія – сірку у вигляді сірчаної мазі наносили на оброблювану поверхню перед кожним етапом електроіскрового легування $S+Ag \rightarrow S+Pb \rightarrow S+Ag$ і $S+Ag \rightarrow S+Sn \rightarrow S+Ag$.

Шорсткість поверхні після ЕІЛ визначали на профілографі-профілометрі мод. 201 заводу "Калібр" шляхом зняття і обробки профілограм. Металографічний аналіз покриттів виконували за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-7; дюрOMETричні дослідження проводили на приладі ПМТ-3 за стандартними методиками.

Трибологічні властивості припрацьовувальних покриттів визначали на тестері Т-01М за схемою "кулька-диск", Фіг. 1. Зразками для досліджень були кільця розміром 42×25×6 мм, виготовлені з бронзи БрО10С10. Сірчану мазь з концентрацією сірки 33,3 % наносили при формуванні КЕІП перед кожним легуванням сріблом у послідовності і при енергії імпульсу згідно з Таблицею 1 для зразків №№ 1-6. Крім того, досліджували зразок № 0 без покриття та зразок № 7 з КЕІП, сформованим у послідовності $Ag \rightarrow Pb \rightarrow Ag$ при енергіях імпульсу, відповідно, 0,9; 0,36 і 0,36 Дж.

Характеристики процесу формування припрацьовувальних КЕІП на підкладках з бронзи БрО10С10

Таблиця 1

№ зразка	Матеріал електрода	Установка ЕІЛ	Енергія імпульсу, $W_{\text{и}}$, Дж
1	срібло	«Элитрон-22А»	0,52
	свинець	«Элитрон -22А»	0,13
	срібло	«Элитрон -22А»	0,05
2	срібло	«Элитрон -22А»	0,9
	свинець	«Элитрон -52А»	0,36
	срібло	«Элитрон -52А»	0,36
3	срібло	«Элитрон -52А»	4,6
	свинець	«Элитрон -52А»	4,6
	срібло	«Элитрон -52А»	0,36
4	срібло	«Элитрон -52А»	4,6
	олово	«Элитрон -52А»	0,36
	срібло	«Элитрон -52А»	0,36
5	срібло	«Элитрон -52А»	4,6
	олово	«Элитрон -52А»	0,9
	срібло	«Элитрон -52А»	0,36
6	срібло	«Элитрон -52А»	4,6
	олово	«Элитрон -52А»	4,6
	срібло	«Элитрон -52А»	0,36

При нанесенні на зразок №1 срібла шорсткість поверхні (R_z) становила 8,5 мкм, а суцільність 60 %. При подальшому ЕІЛ свинцем шорсткість поверхні зростала до $R_z=29$ мкм, а суцільність - до 70 %. Подальше ЕІЛ сріблом сприяло зниженню шорсткості поверхні до 7,5 мкм і збільшенню суцільності покриття до 100 %, що, очевидно, пов'язано з вторинним розплавленням свинцю у зв'язку з його низькою температурою плавлення, розтіканням його по поверхні і заповненням всіх нерівностей.

Мікроструктурний аналіз зразка, легованого у послідовності $Ag \rightarrow Pb \rightarrow Ag$ (зразок № 1), показав, що КЕІП складаються з 4-х ділянок, Фіг. 2, 3, а саме: зовнішній – темний, нерівномірний, з товщиною близько 100-150 мкм, місцями - до 170 мкм, і мікротвердістю 81-91 МПа, світлий – не рівномірний і не суцільний шар, товщина якого коливається в межах 5-10 мкм, зона термічного впливу (ЗТВ)~100 мкм з мікротвердістю ~ 2200 МПа, а також основний метал. Мікроструктура основного металу, бронзи БрО10С10, являє собою однорідні зерна α -твердого розчину олова в міді – темна складова, евтектоїда ($\alpha+Cu_{31}Sn_8$) – світла і включення свинцю [В. А. Kolachev, V. N. Yelagin, V. A. Livanov, Metallovedeniye i Termicheskaya Obrabotka Tsvetnykh Metallov i Splavov (Moskva: MISiS: 2001) (in Russian) Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: МИСИС, 2005. - 432 с.]. Мікротвердість основи становить 1235 МПа.

Зі збільшенням енергії імпульсу (Таблиця 1) при нанесенні КЕІП на поверхню зразка № 2 товщина темного шару на окремих ділянках на світлого шару збільшувалася до 20 мкм. Нижче світлого шару розташована зона термічного впливу (ЗТВ), товщина якої досягала 150 мкм мікротвердістю до 2500 МПа.

5 Із зростанням енергії імпульсу (зразок №3) при нанесенні першого шару (срібла) і другого шару (свинцю), відповідно, при 0,9 і 0,36 до 4,6 Дж формувалася досить масивний (до 830 мкм) темний шар шорсткістю до 10,0 мкм, суцільністю до 100 % і мікротвердістю 80-100 МПа, а в місцях, прилеглих до світлого шару, – до 200 МПа. Нижче розташувався світлий шар товщиною 30-40 мкм, мікротвердістю 1150-858 МПа, Фіг. 6, 7.

10 При заміні матеріалу електрода зі свинцю на олово під час отримання КЕІП (зразки №№ 4-6) в усіх випадках перший шар (срібло) наносили при $W_u=4,6$ Дж. При нанесенні другого шару (олова) енергія імпульсу для зразків №№ 4, 5 і 6 збільшувалася і становила, відповідно: 0,36; 0,9 і 4,6 Дж. Третій шар (срібло) наносили при $W_u=4,6$ Дж, його застосовували для збільшення суцільності покриття і зниження шорсткості поверхні.

15 Проведений металографічний аналіз показав, що для всіх зразків характерні 4 ділянки – зовнішній шар, світлий підшар, нижче - дифузійна зона (зона ЗТВ) і основний метал.

У міру зростання енергії імпульсу – 0,36; 0,9 і 4,6 Дж – при нанесенні олова методом ЕІЛ, Фіг. 8-13:

20 збільшується мікротвердість світлого підшару і становить, відповідно, 1525; 1636 і 2383 МПа;

товщина темного шару зі зниженою мікротвердістю збільшується до 0,67; 1,75 і 2,74 мм, відповідно;

у ЗТВ, глибина якої досягає, відповідно, 1400, 2100 і 3100 мкм, розташовується шар, мікротвердість якого нижче мікротвердості основи і становить: 800, 900 і 750 МПа.

25 Шорсткість поверхні для всіх зразків практично не змінюється і знаходиться в межах 8,5-10,0 мкм.

Проведений металографічний аналіз зразків 2 серії, на оброблювану поверхню яких перед нанесенням срібла наносили сірку ($S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ і $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$), не показав суттєвих відмінностей у структурі сформованих КЕІП. Відмінністю є зниження товщини покриття, як при нанесенні другого шару свинцю або олова, так і всього КЕІП, а також зниження шорсткості до $R_z=5,5-7,5$ мкм. Результати параметрів якості КЕІП 1 та 2 серій надані у Таблиці 2.

Зведена таблиця параметрів якості КЕІП зразків 1 і 2-ї серій

Таблиця 2

Зразок №№	Товщина зовнішнього шару, мкм	Мікротвердість зовнішнього шару, МПа	Суцільність зовнішнього шару, %	Товщина світлого підшару, мкм	Мікротвердість світлого підшару, МПа	Суцільність світлого підшару, %	Шорсткість поверхні, R_z , мкм	Товщина зміцненого шару, мкм	Мікротвердість зміцненого шару, МПа
Ag→Pb→Ag									
1	100-170	81-91	100	до 10	-	50-60	8,5	80	1494-2230
2	150-250	90-140	100	до 10	912	70-80	7,5	165	1382-2118
3	300-830	80-100	100	30-40	1150-858	70-80	7,5-10,0	230	1556-1845
Ag→Sn→Ag									
4	530-670	183	100	10-25	1228	100	8,5-10,0	70	1313-1525
5	700-1750	134	100	10-25	1616	100	8,5-10,0	90	1467-1636
6	2030-2740	130-154	100	10-25	2383	100	8,5-10,0	120	1550-2383
S+Ag→Pb→S+Ag									
1	60-90	80-90	100	до 10	1030	70-80	6,5	60	1400-2250

Зразок №№	Товщина зовнішнього шару, мкм	Мікротвердість зовнішнього шару, МПа	Суцільність зовнішнього шару, %	Товщина світлого підшару, мкм	Мікротвердість світлого підшару, МПа	Суцільність світлого підшару, %	Шорсткість поверхні, Rz, мкм	Товщина зміцненого шару, мкм	Мікротвердість зміцненого шару, МПа
2	80-100	90-130	100	до 10	1100	70-90	5,5	115	1400-2250
3	210-300	80-110	100	20-40	1150-900	70-90	7,5	130	1500-1900
S+Ag→Sn→S+Ag									
4	530-670	140	100	10-20	1250	100	6,5-7,5	60	1300-1500
5	700-1750	150	100	10-30	1730	100	6,5-7,5	90	1457-1685
6	2030-2740	130-150	100	10-30	2270	100	6,5-7,5	110	1650-2410

У результаті аналізу таблиці 2 встановлено, що у зразках без сульфидування зі збільшенням енергії імпульсу збільшується товщина шару, суцільність становить 100 %, а мікротвердість знаходиться в межах 80-140 і 130-183 МПа, відповідно, для КЕІП зі свинцем і оловом. Товщина світлого підшару змінюється незначно і перебуває в межах 10-40 і 10-25 мкм, а мікротвердість становить 912-1150 і 1228-2383 МПа, відповідно, для КЕІП зі свинцем і оловом. Товщина зміцненого шару зі збільшенням енергії імпульсу зростає і знаходиться в межах 80-230 і 70-120 мкм, відповідно, для КЕІП зі свинцем і оловом. Мікротвердість зміцненого шару КЕІП для всіх зразків змінюється незначно і знаходиться в межах 1313-2383 МПа.

У зразках 2 серії зі збільшенням W_u збільшується товщина шару, суцільність становить 100 %, а мікротвердість знаходиться в межах 80-130 і 130-150 МПа, відповідно, для КЕІП зі свинцем і оловом. Товщина світлого підшару змінюється незначно і знаходиться в межах 10-40 і 10-30, а мікротвердість 900-1150 і 1150-2270, відповідно, для КЕІП зі свинцем і оловом. Товщина зміцненого шару зі збільшенням енергії імпульсу зростає, і знаходиться в межах 60-130 і 60-110 мкм, відповідно, для КЕІП зі свинцем і оловом. Мікротвердість зміцненого шару КЕІП для всіх зразків змінюється незначно і знаходиться в межах 1300-2410 МПа.

При нанесенні покриттів на зразки 3 серії на всіх етапах формування КЕІП відбувається руйнування шару, аж до основи, наприклад зразок 1** (Таблиця 3).

У Таблиці 3 наведені результати вимірювання товщини шарів з м'яких антифрикційних металів: срібла, свинцю і олова, що наносяться на всіх стадіях формування КЕІП для всіх серій зразків.

Зведена таблиця параметрів якості КЕІП зразків 1- ої, 2-ої та 2-ої серій

Таблиця 3

Номер зразка	Матеріал електрода	Товщина покриття, мм	Номер зразка	Матеріал електрода	Товщина покриття, мм	Номер зразка	Матеріал електрода	Товщина покриття, мм
Ag→Pb→Ag								
1	Ag	0,03	2	Ag	0,13	3	Ag	0,12
	Pb	0,46		Pb	1,37		Pb	2,35
	Ag	0,27		Ag	0,43		Ag	1,41
S→Ag→Pb→S→Ag								
1*	S+Ag	0,03	2*	S+Ag	0,05	3*	S+Ag	0,11
	Pb	0,27		Pb	0,66		Pb	1,76
	S+Ag	0,19		S+Ag	0,26		S+Ag	1,01
S→Ag→S→Pb→S→Ag								
1**	S+Ag	-	2**	S+Ag	0,05	3**	S+Ag	0,10
	S+Pb	0,02		S+Pb	0,20		S+Pb	1,02
	S+Ag	-		S+Ag	0,02		S+Ag	0,12

25

Номер зразка	Матеріал електрода	Товщина покриття, мм	Номер зразка	Матеріал електрода	Товщина покриття, мм	Номер зразка	Матеріал електрода	Товщина покриття, мм
Ag→Sn→Ag								
4	Ag	0,07	5	Ag	0,07	6	Ag	0,07
	Sn	3,28		Sn	2,01		Sn	3,40
	Ag	1,21		Ag	1,81		Ag	2,90
S→Ag→Sn→S→Ag								
4*	S+Ag	0,11	5*	S+Ag	0,13	6*	S+Ag	0,12
	Sn	1,07		Sn	1,43		Sn	1,92
	S+Ag	0,89		S+Ag	1,05		S+Ag	1,31
S→Ag→S→Sn→S→Ag								
4**	S+Ag	0,08	5**	S+Ag	0,20	6**	S+Ag	0,22
	S+Sn	0,26		S+Sn	0,69		S+Sn	1,30
	S+Ag	0,08		S+Ag	0,11		S+Ag	0,09

* - зразки 2 серії; ** - зразки 3 серії

Аналіз Таблиці 3 показав, що при формуванні КЕІП на зразках БрО10С10 без сульфидування зі збільшенням режимів легування збільшується товщина сформованого покриття. Нанесення сірки (сульфидування) перед срібленням уповільнює приріст товщини КЕІП, а застосування сульфидування на всіх етапах формування, практично, повністю його руйнує.

У зразках 2 серії, на оброблювану поверхню яких перед срібленням наносили сірчану мазь, зі збільшенням режимів легування товщина сформованого покриття збільшується з 0,19 до 1,3 мм. У зразках 3 серії, на оброблювану поверхню яких сірчана мазь наносилася перед кожним етапом легування, сірка сприяє руйнуванню КЕІП, а його остаточна товщина не перевищує 0,12 і 0,11 мм, відповідно при ЕІЛ свинцем і оловом.

Покриття 3 серії зразків руйнуються і не рекомендуються до застосування.

Трибологічні властивості отриманих покриттів визначали на тестері Т-01М, виготовленому Інститутом технології Радом (Польща) відповідно до стандарту DIN-50324: 1992-07, Tribology, за схемою "кулька – диск", Фіг. 1.

Кулька діаметром 6,3 мм, виготовлена з матеріалу 100Cr6 (Таблиця 4), замінювалася після кожного випробування. Склад матеріалу кульки.

Таблиця 4

Склад матеріалу кульки

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S max	P max
min	0,95	0,15	0,20	1,35	-	-	-	-
max	1,10	0,35	0,40	1,60	0,10	0,40	0,025	0,025

Випробовувалися наступні серії зразків (Таблиця 5).

Режими і послідовність легування зразків з КЕІП для трибологічних випробувань

Таблиця 5

№ зразка	КЕІП	
	послідовність легування	Енергія імпульсу $W_{и}$, Дж
0	Без покриття	-
1	S+Ag→Pb→S+Ag	0,52→0,13→0,05
2	S+Ag→Pb→S+Ag	0,9→0,36→0,36
3	S+Ag→Pb→S+Ag	4,6→4,6→0,36
4	S+Ag→Sn→S+Ag	4,6→0,36→0,36
5	S+Ag→Sn→S+Ag	4,6→0,9→0,36
6	S+Ag→Sn→S+Ag	4,6→4,6→0,36
7	Ag→Pb→Ag	0,9→0,36→0,36

З метою забезпечення сульфидування поверхні, на оброблювані ділянки наносили сірчану

мазь з концентрацією сірки 33,3 % перед срібленням (Таблиця 2). Крім того, випробували зразок № 0 - без покриття та зразок № 7 - з КЕІП Ag→Pb→Ag.

Зразки перед кожним випробуванням змащували краплею парафінового масла. В процесі випробувань реєстрували силу тертя Ft.

5 Під час досліджень використовували наступні робочі параметри тестера: швидкість обертання $\omega=353$ об / хв; лінійна швидкість $v=0,67$ м / с; шлях тертя $S=300$ м; навантаження $F_n=1,0$ кг (9,81 Н); тип тертя – сухе тертя (без змащення).

10 На Фіг. 14-21 показано характер зміни сили тертя для всіх зразків з КЕІП при проходженні сталеву кулькою шляху тертя $S=300$ м при навантаженні $F_n=9,81$ Н. Для даних пар тертя в Таблиці 6 представлені середні значення сили тертя Ft і коефіцієнти тертя μ .

Сила тертя і коефіцієнт тертя сталеву кульки по поверхні бронзового диска з КЕІП

Таблиця 6

№ експерименту	КЕІП	Сила тертя, Ft (N)	Коефіцієнт тертя $\mu=F_t/F_n$
0	Без покриття (BrO10C10)	1,779	0,181
1	S+Ag→Pb→S+Ag	1,454	0,148
2	S+Ag→Pb→S+Ag	1,762	0,179
3	S+Ag→Pb→S+Ag	2,098	0,214
4	S+Ag→Sn→S+Ag	0,934	0,095
5	S+Ag→Sn→S+Ag	1,904	0,194
6	S+Ag→Sn→S+Ag	2,152	0,219
7	Ag→Pb→Ag	2,543	0,259

Аналізуючи Фіг. 14-21 і дані Таблиці 6, можна зазначити наступне:

15 для зразка без покриття (зразок №0) сила тертя з моменту початку шляху тертя до його завершення плавно зростає;

для зразка № 1 з товщиною КЕІП 0,19 мм і шорсткістю $R_z=7,5$ мкм сила тертя спочатку плавно зростає, а потім, після проходження шляху тертя ~ 200 м, стабілізується на одному рівні;

20 збільшення товщини КЕІП у зразках № 2 і № 3 до 0,26 і 1,01 мм, відповідно, і шорсткості (R_z) до 8,5 і 10,0 мкм, відповідно, супроводжується не тільки зростанням сили тертя, а й появою вібрації, що відображається на рисунку кривої залежності сили тертя від шляху у вигляді коливань. Сила тертя, як і амплітуда коливань, з моменту початку шляху тертя до його завершення знижуються, що свідчить про період припрацьовування;

25 для зразків № 4 і № 6 характерно незначне збільшення сили тертя на початку випробувань, потім зниження і стабілізація, відповідно, на рівні 0,9 і 2,2 Н. Для зразка № 5 сила тертя на всьому шляху тертя знаходиться на рівні $\sim 2,0$ Н;

найменші коефіцієнти тертя складають 0,095 і 0,148, відповідно, для зразків № 4 і № 1, а найбільші - 0,259 і 0,219, відповідно, для зразків № 3 і № 6;

30 сила тертя зразків з КЕІП, до складу яких входить сірка, нижче, ніж без неї (зразки № 2 і № 7).

На Фіг. 22 представлена діаграма, що дозволяє порівняти сили тертя всіх серій зразків при навантаженні 9,81 Н

Отже, у результаті експериментальних досліджень встановлено наступне:

35 При формуванні КЕІП на зразках BrO10C10 без сульфидування зі збільшенням режимів легування збільшується товщина сформованого покриття з 0,27 до 2,9 мм, мікротвердість при цьому знаходиться в межах 80-140 і 130-183 МПа, відповідно, для покриттів зі свинцем і оловом, а шорсткість $R_z=8,5-10,0$ мкм. Суцільність КЕІП для всіх зразків становить 100 %.

40 У зразках, на оброблювану поверхню яких перед срібленням наносили сірчану мазь (S+Ag→Pb→S+Ag і S+Ag→Sn→S+Ag), зі збільшенням режимів легування товщина сформованого покриття збільшується з 0,19 до 1,3 мм, мікротвердість знаходиться, залежно від місця вимірювання, в межах 80-180 МПа, причому менше значення ближче до поверхні, а шорсткість $R_z=5,5-7,5$ мкм. Суцільність для всіх зразків становить 100 %.

45 У зразках 3 серії, на оброблювану поверхню яких сірчана мазь наносилася перед кожним етапом легування, сірка сприяє руйнуванню КЕІП, а його остаточна товщина не перевищує 0,12 і 0,11 мм, відповідно, при ЕІП свинцем і оловом.

У результаті проведених експериментальних досліджень, вдосконалена технологія нанесення на бронзу BrO10C10 припрацьовувальних КЕІП, отриманих у послідовності S+Ag→Pb→S+Ag і S+Ag→Sn→S+Ag; показано, що наявність сірки в покритті сприяє зниженню

схоплювання контактуючих поверхонь; запропонована технологія отримання КЕІП дозволяє забезпечити товщину покриття 0,19-1,31 мм, що спрощує подальшу механічну обробку поверхонь.

5 Трибологічними дослідженнями на тестері Т-01М за схемою "кулька – диск" встановлено, що зі збільшенням товщини КЕІП зростає сила тертя. У зразках $S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ і $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$, товщина яких, залежно від енергії імпульсу, дорівнює, відповідно, 0,19; 0,26; 1,01 мм і 0,89; 1,05; 1,31 мм, сила тертя становить, відповідно, 1,454; 1,762; 2,543 Н і 0,934; 1,904 і 2,152 Н.

10 Сірка в КЕІП знижує силу тертя сталевій кульки по поверхні бронзових зразків на 19 %. До практичного застосування можна рекомендувати КЕІП: $S+Ag \rightarrow Pb \rightarrow S+Ag$ і $S+Ag \rightarrow Sn \rightarrow S+Ag$, отримані при енергії імпульсу, відповідно 0,52→0,13→0,05 і 4,6→0,36→0,36 Дж, що забезпечують зниження сили тертя порівняно зі зразками без покриття, відповідно, в 1,90 і 1,22 рази.

15 **ФОРМУЛА ВИНАХОДУ**

1. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипника ковзання, що включає нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування комбінованих електроіскрових покриттів електродами-інструментами з формуванням шарів у послідовності: срібло - м'який метал - срібло, який **відрізняється** тим, що шар срібла наносять при енергії імпульсу $W_u=0,52-4,6$ Дж, шар свинцю наносять на шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,13-4,6$ Дж, на шар свинцю наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,05-0,36$ Дж, при цьому оброблювані поверхні сульфідують перед кожним нанесенням шару срібла.

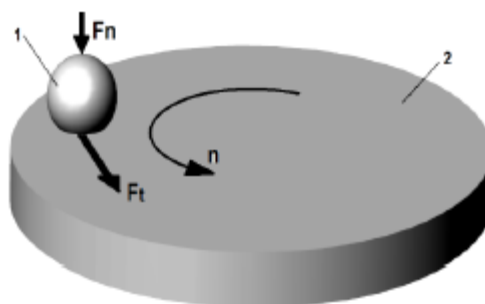
25 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при сульфидуванні застосовують сірчану мазь з концентрацією сірки 33,3 %.

3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що забезпечують товщину покриття 0,19-1,31 мм.

30 4. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипника ковзання, що включає нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування комбінованих електроіскрових покриттів електродами-інструментами з формуванням на робочих поверхнях шарів у послідовності: срібло - м'який метал - срібло, який **відрізняється** тим, що шар срібла наносять при енергії імпульсу $W_u=0,52-4,6$ Дж, шар олова наносять на шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,36-4,6$ Дж, на шар олова наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,05-0,36$ Дж, при цьому оброблювані поверхні сульфідують перед кожним нанесенням шару срібла.

35 5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що при сульфидуванні застосовують сірчану мазь з концентрацією сірки 33,3 %.

6. Спосіб за п. 4 або 5, який **відрізняється** тим, що забезпечують товщину покриття 0,19-1,31 мм.



Фіг. 1

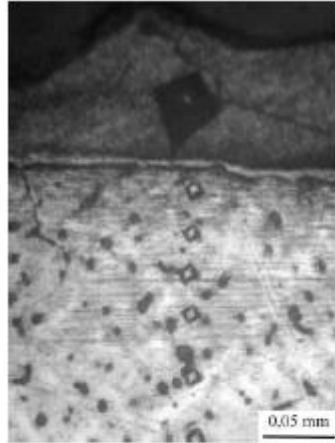


Fig. 2

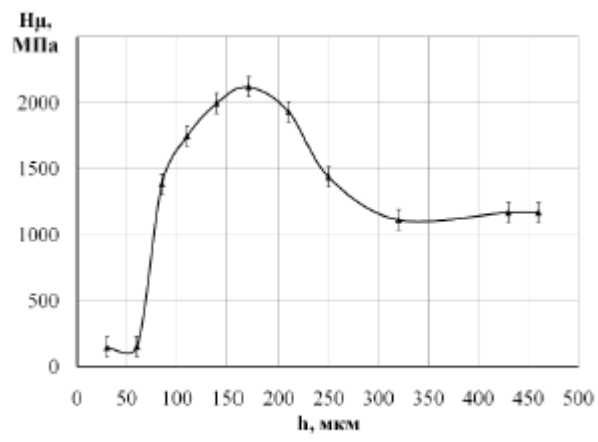


Fig. 3

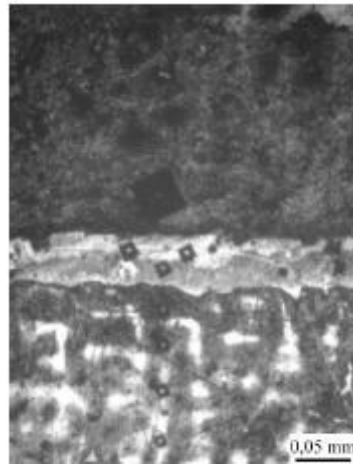


Fig. 4

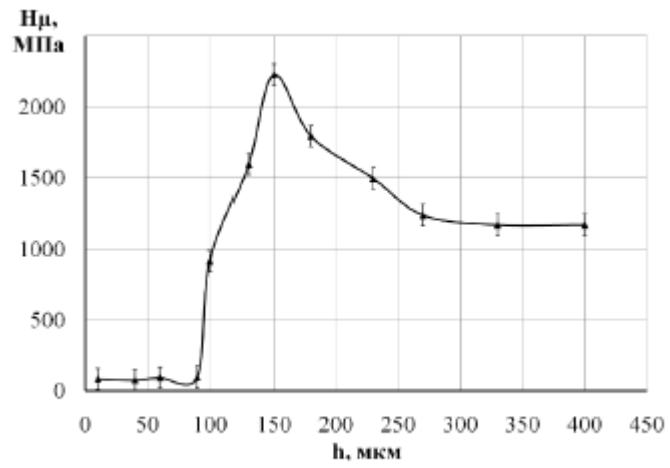


Fig. 5

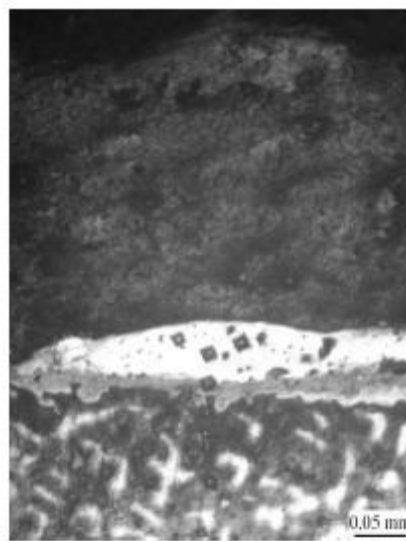


Fig. 6

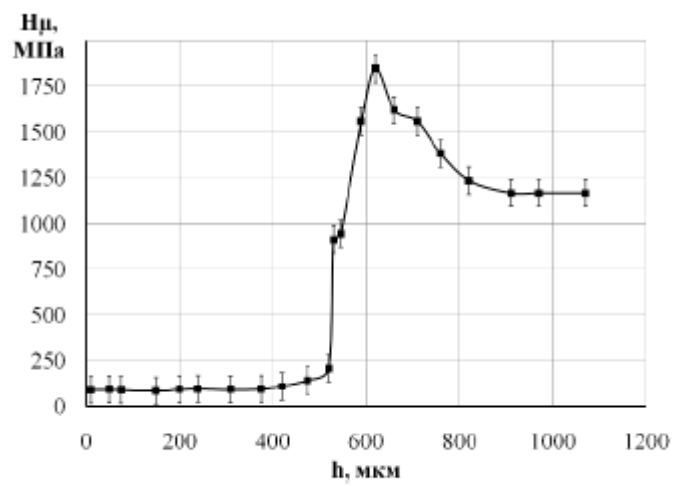


Fig. 7

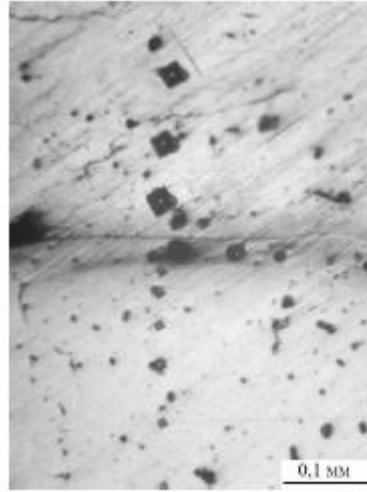


Fig. 8

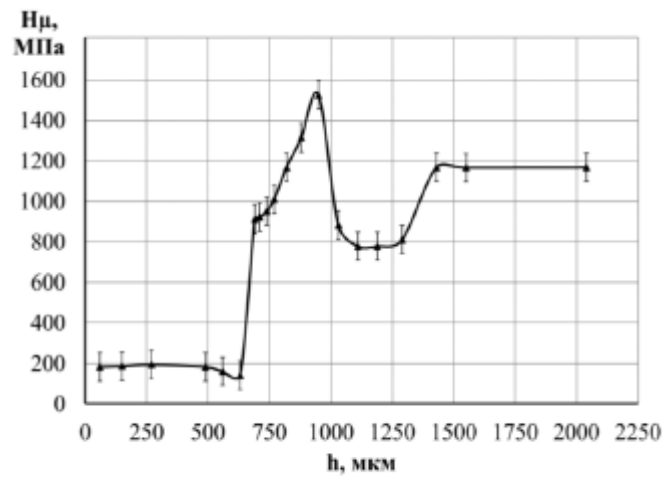


Fig. 9

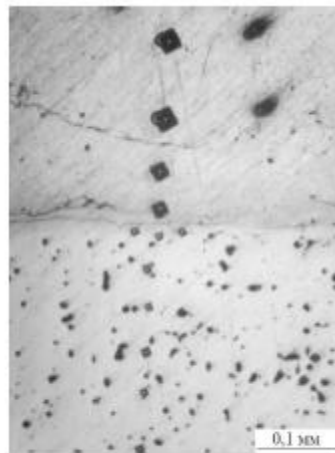


Fig. 10

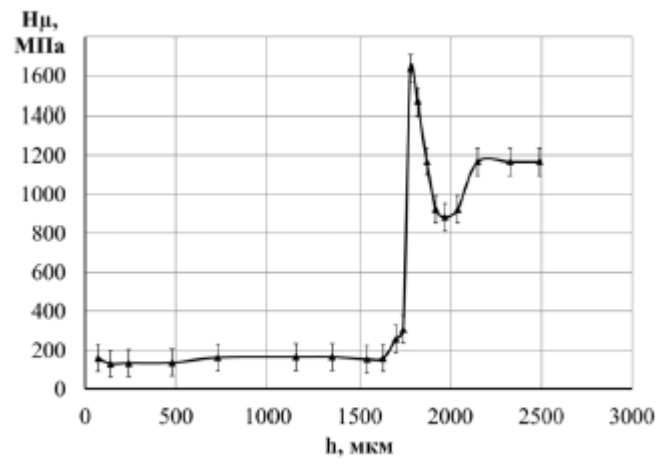


Fig. 11

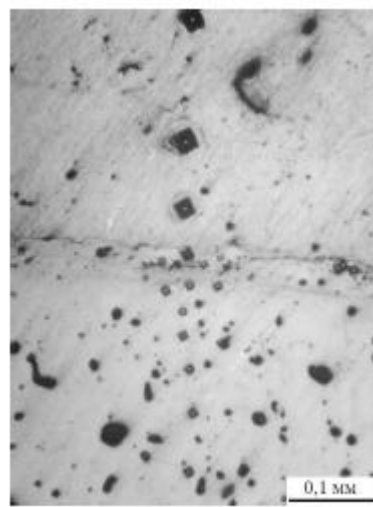


Fig. 12

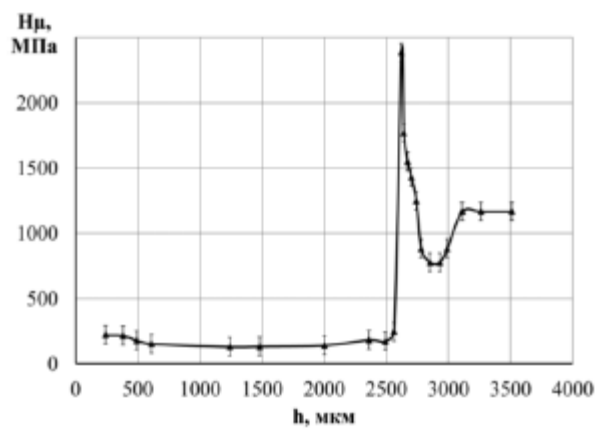
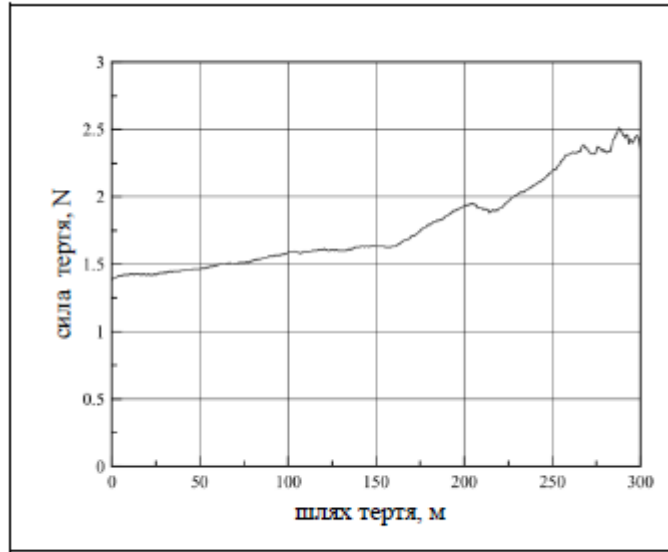
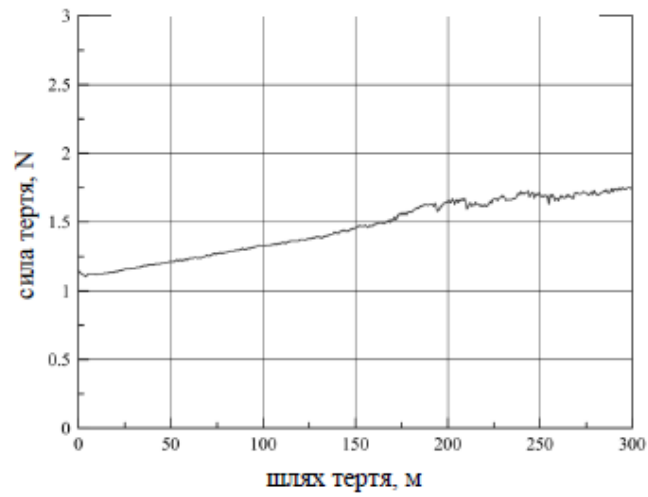


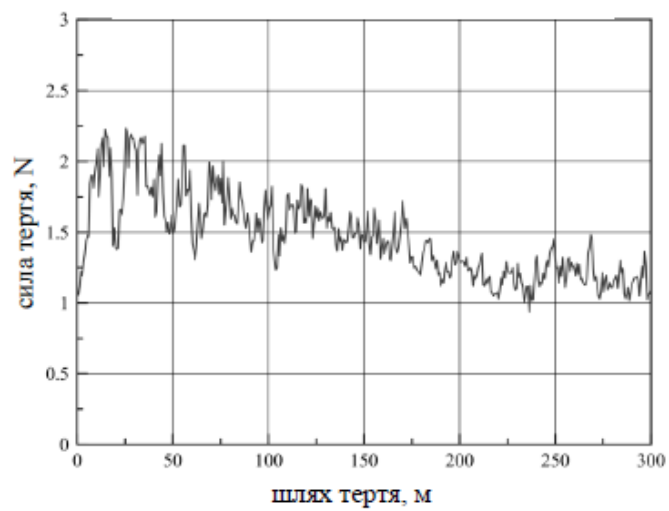
Fig. 13



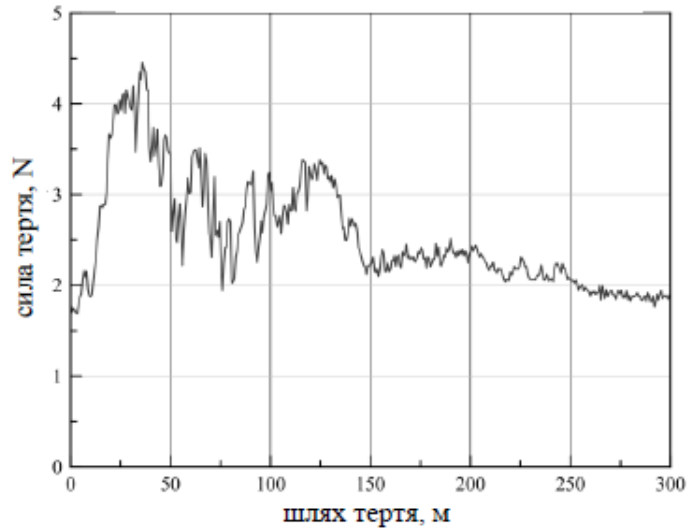
Фіг. 14



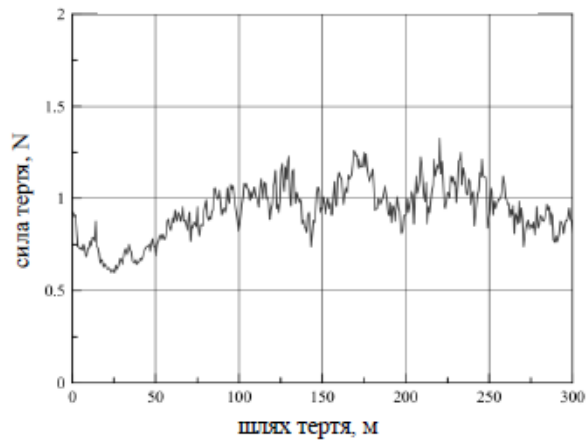
Фіг. 15



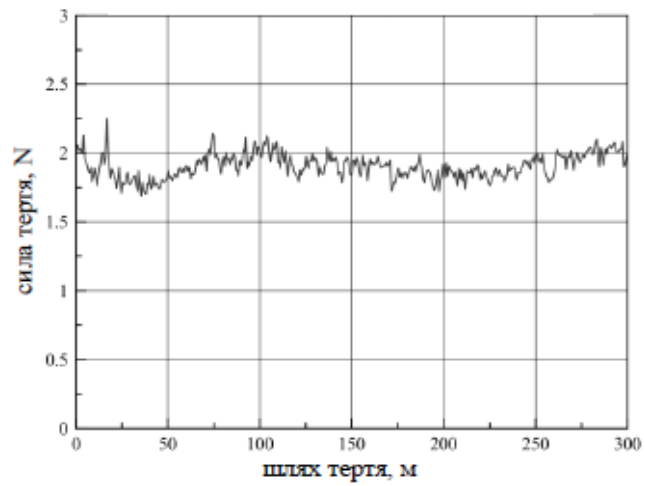
Фіг. 16



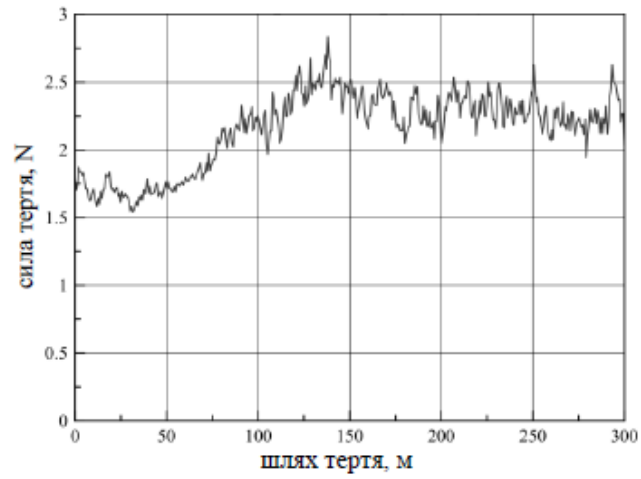
Фіг. 17



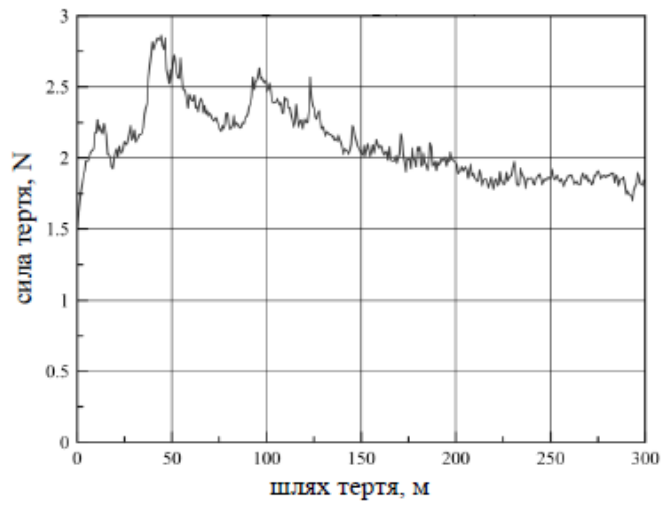
Фіг. 18



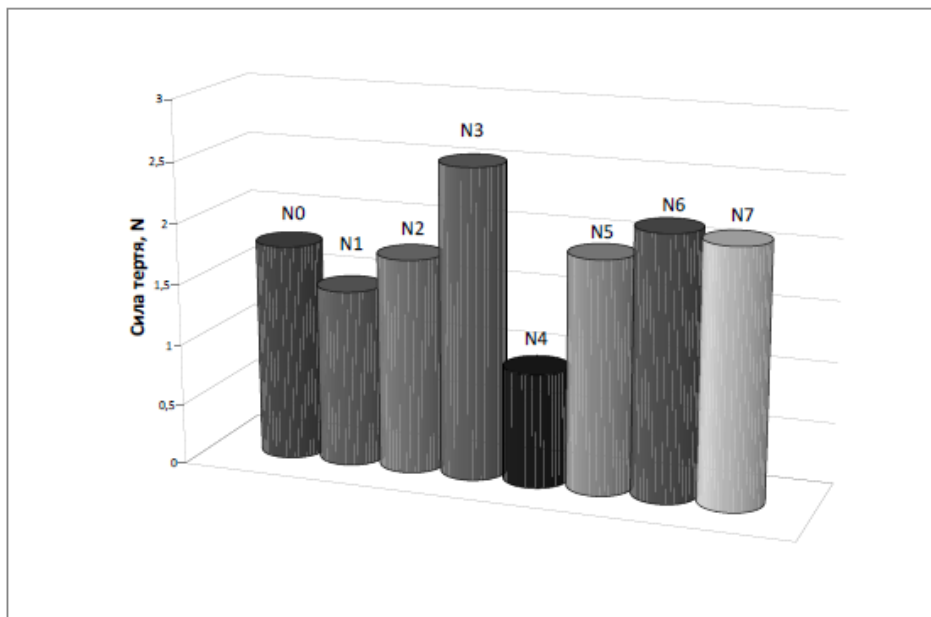
Фіг. 19



Фіг. 20



Фіг. 21



Фіг. 22

