

УДК 669.017

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.80

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВУЗЛІВ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДА

Глушкова Д. Б., Аврунін Г. А., Рижков Ю. В., Воронков О. І.,  
Степанюк А. І., Гнатюк А. А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** У роботі досліджено підвищення зносостійкості вузлів радіально-поршневих об'ємних гідромашин з кульковими поршнями. Ці машини мають підвищений рівень зношення, на поверхні кульок виникають тріщини. Запропоновано виготовлення кульок з керамічних матеріалів з нанесенням на них іонно-плазмового покриття. Вибір режимів нанесення покриттів здійснювався з використанням методики математичного планування експерименту через аналіз мікротвердості формованих покриттів і коефіцієнта використання матеріалу. Нанесення іонно-плазмового покриття TiCrN на поверхню кульки-поршня є ефективним методом підвищення його зносостійкості, що збільшує експлуатаційну стійкість деталей об'ємного гідропривода.

**Ключові слова:** об'ємний гідропривід, зносостійкість, пари тертя, мікроструктура, кулька-поршень.

### Вступ

Об'ємні гідромашини, що містять насоси, гідромотори й гідроциліндри, належать до складу об'ємних гідроприводів (ОГП) будівельних і дорожніх машин (БДМ) різноманітного призначення. Основними парами тертя в об'ємних гідромашинах є пари тертя ковзання та кочення, що працюють в екстремальних режимах силових і швидкісних навантажень відповідно до вимог забезпечення мінімальної матеріаломісткості й достатнього рівня надійності. Вибору матеріалів, термообробленню, шорсткості поверхонь приділяється велика увага.

Радіально-поршневі об'ємні гідромашини з кульковими поршнями використовують як в трансмісіях пересування будівельно-дорожніх та сільськогосподарських машин,

потужністю до 15 кВт, так і в складі гідромеханічних коробок передач важких гусеничних машин, масою 60 тон, що мають потужність до 400 кВт.

### Аналіз публікацій

Створена вперше на території СНД гідропередача ГОП-900 має унікальні швидкісні можливості та перевершує за цим показником найдосконаліші на сьогодні аксіально-поршневі гідромашини фірм, що спеціалізуються на виробництві гідроприводів для мобільних машин [1] (рис. 1).

Гідропередача ГОП-900 має мінімальні осьові габарити, що дозволяє використовувати її в складі гідромеханічної трансмісії за наявних габаритних обмежень мобільних машин.



Рис. 1. Об'ємні гідропередачі типу ГОП-900 та окремі деталі

На рис. 1 наведена об'ємна гідропередача конструкції НІГідропривода [2], що складається з двох радіально-поршневих гідромашин однократної дії, відмінною рисою яких є застосування як поршнів-кульок 5, встановлених в блоках циліндрів насоса 3 і гідромотора 4, які постійно спираються на реактивні кільця (обойми) 7 насоса та гідромотора.

Статор 6 насоса має регульований ексцентриситет для зміни робочого об'єму та час-

тоти обертання гідромотора. У корпусі 1 встановлений блок цапфових розподільників 2. Блоки циліндрів насоса та гідромотора з'єднані з валами 8 і 9. Кульки, здійснюючи функцію поршнів, обертаються вздовж бігової доріжки аналогічно роботі в радіальному кульковому підшипнику і як поршень здійснюють ковзання вздовж бокової стінки циліндра.

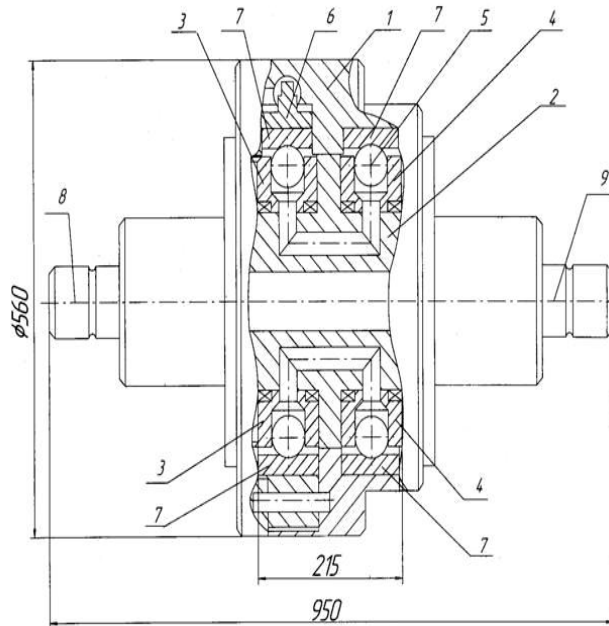


Рис. 2. Об'ємна гідропередача типу ГОП-900 на базі гідромашини радіально-поршневого типу з кульковими поршнями конструкції Нігідропривода

Оскільки в Україні відсутнє виробництво кульок, діаметром 63,5 мм, у першому макетному зразку гідропередачі ГОП-900 використовувалися кульки фірми «PVG» («Precision Ball and Gauge Co», Англія). Однак під час випробувань гідропередачі були виявлені підвищене зношування та тріщини на поверхні кульок.

#### Мета і постановка завдання

Мета роботи – підвищення зносостійкості вузлів об'ємного гідропривода. Для досягнення мети було поставлено завдання – вибрати матеріал для виробництва зазначених кульок, який би визначався стабільними властивостями.

#### Результати досліджень та їхнє обговорення

Як матеріал дослідження використовувались сталі ШХ-15СГ, Р6М5Ф3-ПМ та керамічні матеріали. Як продемонстрували стен-

дові випробування радіально-поршневих гідропередач типу ГОП-900, кульки-поршні зі сталі ШХ-15СГ отримали позитивні результати. Одночасно недостатня для важконавантажених гідропередач теплостійкість кульок і тенденція до нерегламентованого зростання діаметра змушує для забезпечення працездатності зробити підвищений гарантований зазор в поршневих групах, щоб уникнути заклинювання кульок-поршнів у циліндрах, що призведе до зниження ККД гідропередачі.

Аналіз результатів стендових випробувань гідропередач та інформаційний пошук вказали на можливість підвищення надійності кульок-поршнів зі сталі марки Р5М5Ф3-ПМ ГОСТ 28393-89 (пруток кований з порошкової швидкорізальної сталі для гарячого оброблення тиском) і керамічних матеріалів (нітрид кремнію, карбід кремнію, карбід бору). Порівняльні технічні характеристики зазначених матеріалів наведені в таблиці 1.

Дані, наведені в табл. 1, демонструють переваги кульок з кераміки, а саме:

- більш ніж в 2 рази (а для карбїду бору в 4 рази) більші значення модуля пружності, що дозволяє знизити динамічні навантаження на бульку під час роботи на підвищених частотах обертання, знижує ступінь ризику пластичної деформації кульки або дозволяє підвищити тиск в гідروпередачі;
- більш ніж в 2 рази (а для карбїду бору в 3 рази) менші значенням щільності, що

- більш ніж в 6 разів (а для нітриду кремнію в 4 рази) менші значення коефіцієнта термічного розширення, що знижує ступінь ризику заклинювання кульки в циліндрі в процесі запуску гідропередачі, дозволяє працювати без попереднього прогрівання, а також зменшити зазор в парі поршень-циліндр, сприяє підвищенню ККД гідропередачі та зменшенню настановної потужності насоса підживлення;
- висока твердість.

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні властивості матеріалів для виготовлення куль-поршнів

Параметр	Матеріал				
	Нітрид кремнію Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Карбід кремнію SiC	Карбід бору B <sub>4</sub> C	Сталь Р6М5Ф3-МП	Сталь ШХ-15СГ
Модуль пружності, МПа	4,7 10 <sup>5</sup>	(4...5) 10 <sup>5</sup>	(7...8) 10 <sup>5</sup>	2,2 10 <sup>5</sup>	2,1 10 <sup>5</sup>
Густина, г/см <sup>3</sup>	3,2	3,2	2,5	8,2	7,65
Коеф. терм. розширення, х 10 <sup>-6</sup> /°С	2,75	1,82	1,4	12	13,4
Коеф. теплопровідності, кал/см.сек °С	0,041	0,098...0,1	0,2	0,059	0,09
Твердість, НV	1700	>1700	>1700	830...940	804...900
Ціна (відносна)	400	30	30	12	1

Подальший аналіз умов експлуатації і причин виходу з ладу куль, тип їхнього зношування та руйнування дозволяє дійти висновку щодо необхідності нанесення покриття на кулі. Під час дослідження використовували покриття TiCrN, нанесення якого здійснювалося на установці «Булат-3Т».

Вибір режимів нанесення покриттів здійснювався з використанням методики математичного планування експерименту через оцінювання мікротвердості формованих покриттів і коефіцієнта використання матеріалу.

Металографічні дослідження структури досліджуваних матеріалів і напилених покриттів здійснювали на травлених і нетравлених шліфах на мікроскопі МІМ-8М (рис. 3). Фазовий склад напилених покриттів визначали на дифрактометрі ДРОН-1,5 в монохроматизованому CuKα-випромінюванні.

Порівняння зносостійкості всіх досліджуваних матеріалів демонструє, що найбільшу зносостійкість мають кулі, на поверхні яких нанесено іонно-плазмове покриття.

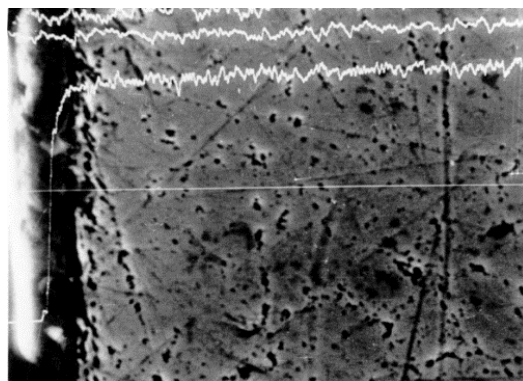


Рис. 3. Мікроструктура деталі з покриттям TiCrN, товщиною 5 мкм

Якщо зносостійкість куль зі сталі ШХ-15СГ прийняти за одиницю, то зносостійкість куль зі швидкорізальної сталі становить 1,2, керамічних куль – 2, а зносостійкість куль, на які нанесено іонно-плазмове покриття, дорівнює 2,3 (рис. 4).

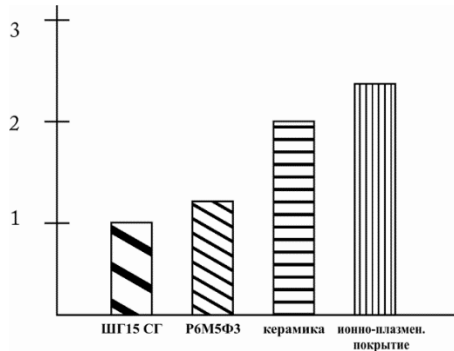


Рис. 4. Гістограма зносостійкості куль, виготовлених з різних матеріалів

### Висновки

1) випробування макетних зразків радіальних кулько-поршневих гідропередач типу ГОП-900 дозволили дійти висновку про те, що їхня надійність і подальше вдосконалення значною мірою обумовлено надійністю роботи кульки-поршня, до якого висуваються високі вимоги зі зносостійкості, мінімального обсягу силової і температурної деформації;

2) з огляду на негативний досвід використання імпортованих сталевих кульок з хромової сталі, позитивний досвід використання кульок зі сталі ШХ-15СГ, що виробляються на ВАТ «ХАРП», та необхідність підвищення тепло- та зносостійкості кульок дослідження з використанням кульок з порошкових швидкорізальних сталей типу Р6М5Ф3-МП та кульок з кераміки, що мають високі властивості міцності, є перспективним;

3) нанесення іонно-плазмового покриття TiCrN на поверхню кульки-поршня є ефективним методом підвищення його зносостійкості, що збільшує експлуатаційну стійкість деталей об'ємного гідроприводу.

### Література

1. Гидромеханические трансмиссии – средство повышения конкурентоспособности колесных и гусеничных машин / О. М. Бабаев и др. *Приводная техника*. 1998. № 9.
2. HMPT-1250. Компактная трансмиссия для AFAS/FARV. Transmission.
3. Programs Defence Sestems Martin Marietta.1993.

4. Новое поколение шарико-поршневых гидропередат М. Д. Борисюк и др. *Прикладная гидравлика и пневматика*. 2003. №1. С. 67–70.
5. Бабаев О. М., Игнатов Л. Н., Кисточкин Е. С. Объемные гидромеханические передачи: расчет и конструирование. Ленинград: Машиностроение, ленингр. отд-ние,1987. 256 с.
6. Исследование характеристик масла Тад-17и при испытаниях в объемном гидроприводе / Г. А. Аврунин и др. *Прикладная гидравлика и пневматика*. 2005. № 2(8). С. 20–24.
7. Email: [engine@ballpistonengine.com](mailto:engine@ballpistonengine.com).

### References

1. Gidromehaniicheskie transmissii - sredstvo povыsheniya konkurentosposobnosti kolesny'h i gusenichny'h mashin / O. M. Babaev I dr. *Privodnaya tehnika*. 1998. N9.
2. HMPT-1250. Kompaktnaya transmissiya dlya AFAS/FARV. Transmission.
3. Programs Defence Sestems Martin Marietta.1993.
4. Novoe pokolenie shariko-porshnevy'h gidropere-dach / M. D. Borisyuk. *Prikladnaya gidravlika i pnevmatika*. 2003. №1. S. 67–70.
5. O. M. Babaev O. M., Ignatov L. N., Kistochkin E. S. Ob'emny'e gidromehaniicheskie peredachi: raschet i konstruirovaniye. Leningrad: Mashinostroeniye, leningr. otd-nie,1987. 256 s.
6. Issledovaniye harakteristik masla Tad-17i pri ispy'taniyah v ob'emnom gidroprivoде / G. A. Avrunin i dr. *Prikladnaya gidravlika i pnevmatika*. 2005. № 2(8). S. 20–24.
7. Email: [engine@ballpistonengine.com](mailto:engine@ballpistonengine.com) <mailto:engine@ballpistonengine.com>.

Глушкова Діана Борисівна, д.т.н., проф., зав. каф. технології металів та матеріалознавства, тел. 0974811593, e-mail: [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua).

Аврунін Григорій Аврамович, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин,

Рижков Юрій Володимирович, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства,

Воронков Олександр Іванович, д.т.н., професор кафедри технології металів та матеріалознавства,

Степанюк Андрій Іванович, асистент кафедри технології металів та матеріалознавства,

Гнатюк Анастасія Анатоліївна, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, м. Харків, 61002, Україна.

### Increasing the wear resistance of the pump-controlled hydraulic drive units

**Abstract. Problem.** Due to the lack of 63.5 mm ball-rooms in Ukraine in the first layout of Hop-900 hydraulic transmission sample, the balls of the PBG company (Precision Ball and Gauge Co., England) were used. However, the trials of hydraulic transmission showed increased wear and cracks on the surface of the balls. **Goal.** The purpose of the work is to

increase the wear resistance of the units of a pump-controlled hydraulic drive. **Methodology.** The coating on the TICRN ball was carried out at the Bu-Lat-3T installation. The coating modes were chosen using a methodology for mathematical planning of an experiment by evaluating microhardness of molded coating and the material use factor. Metallographic studies of the structure of the materials studied and sprayed coatings were performed on the digestive and non-digestive grinds on the MIM-8M microscope. The phase composition of the spray coatings was determined on a Don-1.5 diffractometer in monochromatic  $\text{CuK}\alpha$  radiation. **Results.** Following the wear resistance of all investigated materials showed the largest wear resistance of the balls with ion-plasma coating on the surface. **Originality.** The tests of the samples of radial ball-piston hydraulic transmission of GOP-900 type allowed to conclude that their reliability and further improvement is largely due to the reliability of the piston ball, to which there are high requirements for wear resistance, minimum volume of force and temperature deformation. **Practical value.** Taking into account the negative experience of using imported steel balls from chrome steel, positive experience of using balloons from Steel SH-

15CG, mastered by the production of OJSC HARP, and at the same time, the need to increase the heat resistance and wear resistance of balls should be considered as promising research when using beads from powder, rapid steels of type P6M5F3-MP, ceramic balls having high strength properties.

**Key words:** pump-controlled hydraulic drive, wear resistance, frictional steam, microstructure, piston ball.

**Hlushkova D. B.**, Doct. of Science, professor, Head of Chair of Technology of Metals and Materials, (Eng.), tel. 0974811593,

e-mail: [diana@khadi.kharkov.ua](mailto:diana@khadi.kharkov.ua),

**Avrunin G.A.**, Associate Professor, Ph.D. (Eng.),

**Ryzhkov Y. V.**, Associate Professor, Ph.D. (Eng.), Department of Technology of Metals and Materials,

**Voronkov O.I.**, professor, Doct. of Science. (Eng.), Department of Technology of Metals and Materials,

**Stepanuk A.I.** Assistant Department of Technology of Metals and Materials,

**Hnatiyk Anastasiya**, student, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

---

---