

УДК 631.539.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.182-188>

**В.И. Цапу**, доц., канд. техн. наук, **В.Ф. Горобец**, доц., канд. техн. наук  
*Государственный Аграрный Университет Молдовы, г. Кишинев, Молдова*  
*e-mail: v.taru@uasm.md*

## Износостойкость сопряжений с зазором, восстановленных полиамидоэпоксидными пористыми покрытиями

В статье представлены результаты исследования износостойкости сопряжений с зазором, восстановленных путем нанесения пористого полимерного композиционного материала на одну из составляющих пару трения деталь. Установлено, что полученные нами пористые полимерные композиционные покрытия позволяют уменьшить износ по сравнению с композиционными покрытиями без пор в 1,64 раза.

**износ, покрытие, износостойкость, смазывающие материалы**

**В.І. Цапу**, доц., канд. техн. наук, зав. кафедри, **В.Ф. Горобец**, доц., канд. техн. наук, декан  
*Державний Аграрний Університет Молдови, м. Кишинів, Молдова*

## Зносостійкість спряжень з зазором, що відновлені поліамідеопоксидними пористими покриттями

У статті представлені результати дослідження зносостійкості спряжень з зазором, відновлених шляхом нанесення пористого полімерного композиційного матеріалу на одну із деталей, що складають пару тертя. Встановлено, що отримані нами пористі полімерні композиційні покриття дозволяють зменшити знос в порівнянні з композиційними покриттями без пор в 1,64 рази.

**знос, покриття, зносостійкість, мастильні матеріали**

**Постановка проблемы.** Использование полимерных материалов в качестве покрытий для восстановления изношенных деталей машин нашло применение в ремонтном производстве. Однако более широкое их использование сдерживается из-за плохой прочности сцепления, усадки, старения, низкой смачивающей способности и других свойств полимерных материалов.

**Анализ предыдущих исследований и публикаций.** Авторами [1, 2] предложены состав полимерной композиции и способ нанесения полимерной полиамидоэпоксидной композиции, позволяющие получать прочно сцепленные с металлической подложкой покрытия. Для улучшения физико-механических свойств полиамида П12 авторы работ [3] предлагают добавлять в состав композиции различные вещества, которые способствуют снижению усадки, старения, повышения износостойкости.

**Постановка задачи.** В данной работе предлагается повысить маслосмачиваемость поверхностных слоев полимерных композиционных покрытий за счет введения в состав композиции 5...10% поваренной соли (NaCl). Полученные пористые покрытия, после растворения соли из поверхностных слоев, в дальнейшем подвергли испытаниям на износ при различных условиях смазки.

Изложение основного материала. Методика. Выбор материалов для компенсации износа деталей машин, используемых при различных условиях смазки и эксплуатации, выполнили в ходе лабораторных исследований пар трения.

При испытании на износ использовали сопряжение типа вал–втулка. Пористые композиционные полимерные покрытия были нанесены на поверхность вала (ролика). Контртело (втулка) было изготовлено из стали 35. Покрытия на ролик были нанесены в два этапа. На первом этапе был нанесен слой полиамидэпоксидной композиции следующего состава: 45% эпоксидного олигомера и остальное полиамид П12. Этот слой предназначен для получения прочного сцепления с подложкой из стали. Второй слой следующего состава: дисульфид молибдена – 4...5%, измельченные волокна стекловолокна – 10...14%, эпоксидный олигомер – 25...30%, поваренная соль (NaCl) – 5...10% и остальное полиамид П12. В последующем соль из поверхностных слоев полимерного покрытия была удалена путем растворения по определенной методике.

Испытания на износ проводили на машине трения СМЦ 3 с использованием следующих условий: скорость ролика –  $V_p=0,63$  м/с; давление в зоне сопряжения –  $P=1,5$  МПа.

Для выявления преимуществ полученных пористых покрытий мы провели исследования при сухом трении и со смазкой. В качестве смазки использовали воду и Литол 24.

Внутренняя поверхность втулки была обработана под размер  $\varnothing 40H9$  и имела шероховатость  $R_a=6,3$  мкм. Поверхность ролика с покрытием была обработана под размер  $\varnothing 40e8$  и имела шероховатость  $R_a=12,5$  мкм.

Во всех испытаниях производили притирку сопрягаемых поверхностей до получения максимального размера пятна контакта.

Определение величины износа проводили путем микрометрирования сопрягаемых деталей с использованием цифровых приборов. Замеры проводили после каждых 24 часа испытаний.

Результаты и обсуждения. Полученные результаты износных испытаний представлены на рисунках 1, 2 и 3. Достоверность полученных данных подтверждается тем, что испытания при каждом режиме повторяли 5-тикратно, а полученные результаты были обработаны известными статистическими методами.

Характер эволюции износа полимерной композиции и структура поверхностного слоя в зависимости от условий смазки представлены на рис. 1. Представленные кривые на рис. 1 описываются уравнениями регрессии (1, 2 и 3).

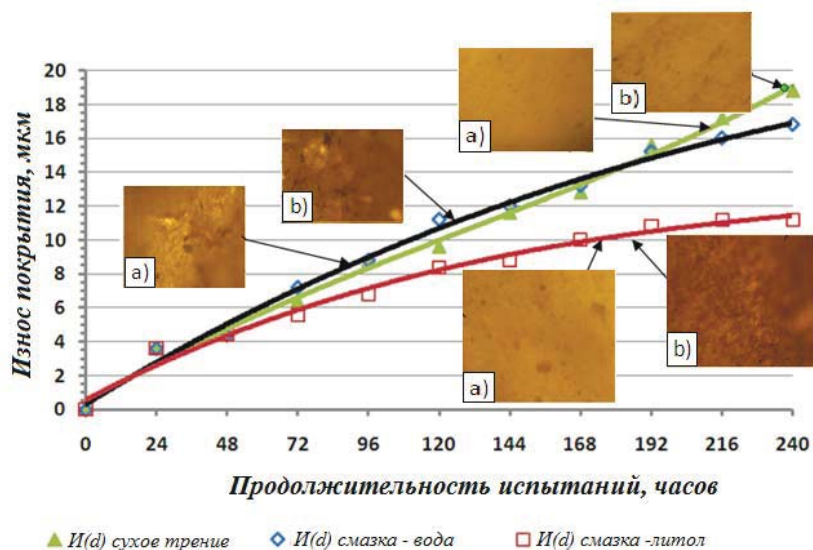
$$I(d)_{\text{б.с.}} = -0,0009x^3 - 0,0587x^2 + 2,5542x - 2,1394, R^2 = 0,9957; \quad (1)$$

$$I(d)_{\text{вода}} = 0,0096x^3 - 0,1828x^2 + 2,7773x - 2,1818, R^2 = 0,9939; \quad (2)$$

$$I(d)_{\text{Литол}} = 0,004x^3 - 0,1604x^2 + 2,4841x - 1,7515, R^2 = 0,9859. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что интенсивность износа композиционного материала при различных условиях смазки различна, так по истечении 240 часов испытаний износ при трении без смазки составил  $18,8 \pm 2$  мкм, при использовании воды –  $16,8 \pm 2$  мкм, а при использовании смазки ЛИТОЛ 24 –  $10 \pm 1$  мкм. Таким образом, показана важность, которую имеет смазка для пористой полимерной композиции.

Уменьшение интенсивности износа пористой полимерной композиции при использовании в качестве смазки Литола 24 можно объяснить тем, что обеспечен положительный градиент межфазного сопротивления молекулярных связей поверхностных слоев. Истирание последних, как правило, не абразивно, а фрикционно и проявляется в отрыве разной конфигурации частиц с поверхностного слоя.



Условия испытаний: втулка – Сталь 30 в условиях поставки, нагрузка 1,5 МПа, скорость в сопряжении  $v_r = 0,63 \text{ мс}^{-1}$ ; начальная шероховатость – покрытия  $R_a = 12,5 \text{ мкм}$ ; отверстие втулки  $R_a = 6,3 \text{ мкм}$ . Структура поверхностного слоя: а) – после притирки; б) – в конце испытаний

Рисунок 1 – Динамика износа полимерного композиционного покрытия нанесенного на вал при различных условиях смазки

Источник: разработано авторами

Можно также предположить, что полученный положительный результат обеспечен и тем фактом, что смазка находится в зоне трения более продолжительное время за счет того, что удерживается в искусственно образованных порах в поверхностном слое покрытия.

Динамика износа металлического контртела представлена на рис 2. Полученные кривые износа описаны уравнениями (4–6), которые практически аналогичны с теми, что были получены для пористой полимерной композиции

$$I(D)_{\text{б.с.}} = -0.008x^3 + 0.1497x^2 + 0.6728x - 0.7697, R^2 = 0.998; \quad (4)$$

$$I(D)_{\text{вода}} = -0.0013x^3 - 0.0238x^2 + 1.7897x - 1.8848, R^2 = 0.9939; \quad (5)$$

$$I(D)_{\text{литол}} = 0.0049x^3 - 0.1021x^2 + 1.7294x - 1.5818, R^2 = 0.9994; \quad (6)$$

И в данном случае видно, что присутствие в зоне трения смазки снижает интенсивность износа металлического контртела. В тех случаях, когда не было смазки или была вода, интенсивность износа металлического контртела была выше и практически имела одинаковый характер. Так, после 240 часов испытаний были получены следующие результаты: при трении без смазки  $I_{\text{б.с.}} = 14 \pm 1 \text{ мкм}$ ; трение в присутствии проточной воды  $I_{\text{вода}} = 13 \pm 1 \text{ мкм}$ ; трение при использовании Литол 24,  $I = 9 \pm 1 \text{ мкм}$ .

Исходя из полученных результатов можно констатировать, что для пары трения скольжения металл – пористый полимерный композит, виды смазки влияют на интенсивность их износа. Необходимо отметить, что в течении первых ста часов испытаний характер эволюции износа пары трения при различных типах смазки практически одинаков и имеет тенденцию плавного увеличения. Такой характер износа можно объяснить тем, что происходит перенос композиционного материала на металлическое контртело.

После удаления этого слоя с металлического контртела, процесс его износа разный и зависит от типа смазывающего материала. Металлические контртела практически не меняют характер износа при использовании в качестве смазки воды, а также при трении без смазки, зато при использовании смазки ЛИТОЛ 24 интенсивность изнашивания значительно меньше.

Долговечность пар трения в значительной мере зависит от величины зазора. На рис. 3 представлена эволюция зазора в исследуемых парах трения в зависимости от типа смазывающего материала.

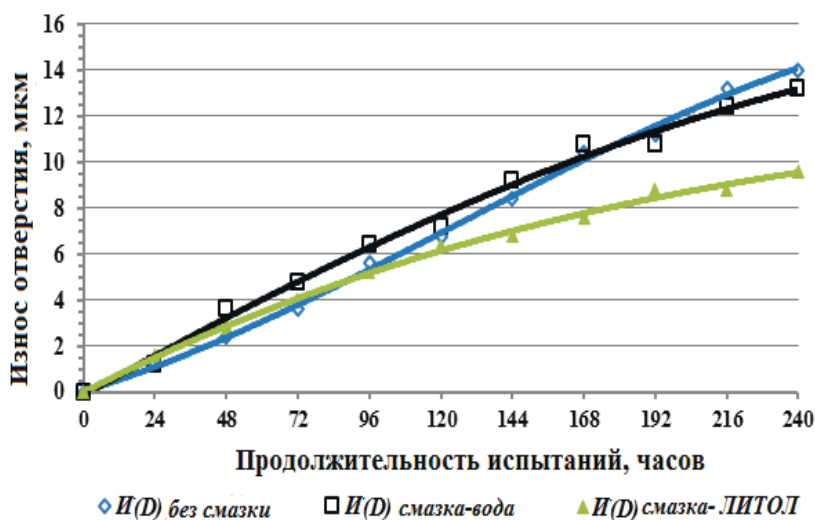


Рисунок 2 – Динамика износа металлического контртела при различных условиях смазки

Источник: разработано авторами

Интенсивность изменения зазора в парах трения определяли, используя выражение:

$$I_{\Delta S} = \frac{dS}{dL_f} \approx \frac{\Delta S}{dL_f} = \frac{\Delta S}{\Delta(v_f, t)} = \frac{\Delta S}{v_f \Delta t}, \quad (7)$$

где  $L_f$  – пройденный путь за время которого величина износа увеличилась на  $\Delta S$ ;

$v_f$  – скорость в зоне трения;

$\Delta t$  – интервал времени между измерениями.

Таким образом, для пар трения, исследованных при трении без смазки, линейная интенсивность изменения величины зазора за 240 часов испытания будет равной  $6,03 \cdot 10^{-8}$ , для условий трения в проточной воде и со смазкой Литол 24 соответственно  $5,5 \cdot 10^{-8}$  и  $3,6 \cdot 10^{-8}$ . Другими словами можно сказать, что в исследуемой области в 240 часов зазор в парах трения при трении без смазки увеличился на 60 мкм за 1 км пройденного пути, при использовании воды на 55 мкм/км и 36 мкм/км при использовании смазки Литол 24.

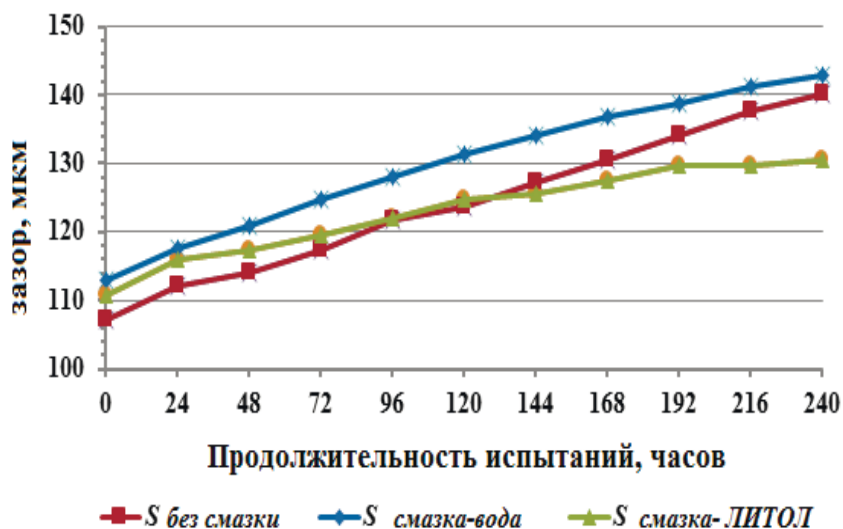


Рисунок 3 – Изменение величины зазора (S) в зависимости от продолжительности испытаний пары трения  $\varnothing 40\text{H}9/\text{e}8$  ( $ES=63\text{мкм}$ ,  $EI=0$ ,  $es=-50\text{мкм}$ ,  $ei=-112\text{мкм}$ ).

Источник: разработано авторами

Далее будет представлена информация (рис. 4) о сравнительных испытаниях, при тех же условиях, между парами трения с пористыми полимерными композициями и полимерной композицией без пор.

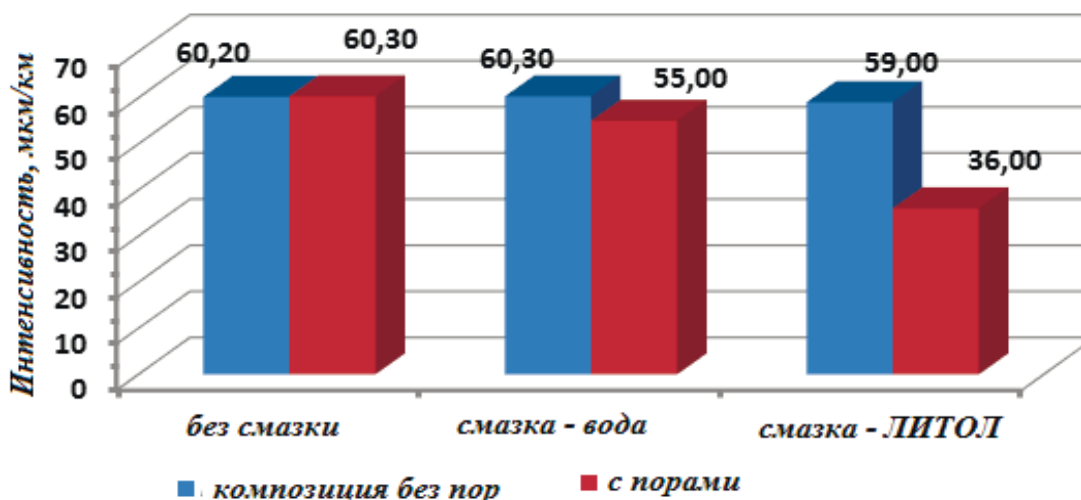


Рисунок 4 – Интенсивность изменения зазора в металлополимерных парах трения при посадке  $\varnothing 40\text{H}9/\text{e}8$ , испытанных в течении 240 часов при следующих условиях: нагрузка  $P=1,5\text{ МПа}$ , скорость  $v=0,63\text{ м/с}$  и различных типах смазки

Источник: разработано авторами

**Выводы.** Было установлено, что интенсивность увеличения зазора в паре трения при использовании в качестве контртела в метало–полимерной паре трения, пористого полимерного покрытия на основе полиамидоэпоксидной композиции, в условия смазки с Литолом, в 1,64 раза меньше чем при использовании таких покрытий без пор.

Полученные пористые покрытия показали более высокую износостойкость и при использовании в качестве смазки воды (1,1 раза меньше чем у базового).

Полученные результаты подтверждают наши предположения о том, что создание пористого поверхностного слоя в покрытии полимерной композиции будет

способствовать увеличению срока службы восстановленных пар трения путем замены обычной пары металл–металл на металл–полимерную.

## Список литературы

1. Марьян Г.Ф. Восстановление посадочных мест отверстий корпусных деталей подшипниковых узлов электрических машин порошкообразными полимерными композициями. Диссерт. канд. техн. наук. Кишинэу, 1987. 163 с.
2. Sîrghii, V. Contribuții la asigurarea tehnologică a fiabilității pieselor utilajului agricol recondiționate cu aplicarea compozițiilor din mase plastice. Teza de doctor în tehnică. Chișinău, 2007. 252 p.
3. Țapu, V. Sporirea disponibilității și mentenabilității îmbinărilor cu joc renovate cu materiale compozite polimerice. Teza de doctor în tehnică. Chișinău, 2011. 132 p.

## References

1. Marian, G.F. (1987). Vosstanovlenie posadochnyih mest otverstiy korpusnyih detaley podshpnikovyyih uzlov elektricheskikh mashin poroshkoobraznyimi polimernymi kompozitsiyami [Recovery of the housing holes of ball bearing elements of electrical machines using polymer compositions with powder consistence], *Candidate's thesis*. Chisinau [in Russian].
2. SIRGHII V. (2007). Contributions to insure technological reliability of the agricultural machinery spare parts restored with plastic compositions: *PhD thesis*. Chisinau [in Romania].
3. ȚAPU V. (2011). Increasing the availability and maintainability of the joints with clearance restored by polymer composites. *PhD thesis*. Chisinau [in Romania].

**Veaceslav Țapu**, Associate Professor, Ph.D, Head of Department, **Vladimir Gorobet**, Associate Professor, Ph.D, Dean

*State Agrarian University of Moldova, Chisinau, Moldova*

## **Wear and Tear Resistance of Coupling Fits with Clearance Restored by Porous Epoxy Polyamide coatings**

The using of polymeric materials as coatings for the restoration of worn-out machine parts has found application in the industry of repairment. Their wider use is hampered because of poor adhesion strength, shrinkage, ageing, low wetting ability and other properties of polymeric materials. To improve the physical and mechanical properties of polyamide P12, it is advisable to add to the composition of various substances that help to reduce shrinkage, ageing, increase wear resistance.

It is proposed to increase the oil absorption of the surface layers of polymer composite coatings by introducing 5...10% of sodium chloride (NaCl) into the composition. The obtained porous coatings were further subjected to wear tests under various lubrication conditions. The wear rate of the composite material under different lubrication conditions is different, so after 240 hours of testing, friction wear without lubrication was  $18.8 \pm 2 \mu\text{m}$ , when using water –  $16.8 \pm 2 \mu\text{m}$ , and when using LITOL 24 grease –  $10 \pm 1 \mu\text{m}$  ... When using LITOL 24, a positive gradient of interfacial resistance of molecular bonds and surface layers is provided. Abrasion of the latter, as a rule, is not abrasive, but frictional and manifests itself in the separation of different, configurations of particles from the surface layer. Also, the lubricant is in the friction zone for longer because it is retained in the artificially formed pores of the surface layer of the coating. The presence of grease in the friction zone reduces the wear rate of the metal counter body. In those cases when there was no lubrication or there was water, the wear rate of the metal counter body was higher and practically had the same character. So, after 240 hours of testing, the following results were obtained: with friction and without lubrication  $I_{n.l.} = 14 \pm 1 \mu\text{m}$ ; friction in the presence of running water  $I_{\text{water}} = 13 \pm 1 \mu\text{m}$ ; friction when using Litol 24,  $I = 9 \pm 1 \mu\text{m}$ . Based on the results obtained, it can be stated that for a metal–porous polymer composite sliding friction pair, the types of lubricants affect the intensity of their wear. It should be noted that during the first hundred hours of testing, the evolution of the wear of the friction pair with different types of lubricant is practically the same and has a tendency to increase smoothly. This type of wear can be explained by the transfer of the composite material to the metal counter body. After removing this layer from the metal counter body, the process of its wear is different and depends on the type of lubricant. Metal counter bodies practically do not change the nature of wear when using water as a lubricant, as well as when friction without lubrication, but when using LITOL 24 lubricant, the wear rate is much less. The durability of friction pairs largely depends on the size of the gap. Thus, for the friction pairs studied with friction without lubrication, the linear intensity of the change in the gap value for 240 hours of testing will be  $6.03 \cdot 10^{-8}$ , for the condition of friction in running water and with Litol 24 lubricant, respectively  $5.5 \cdot 10^{-8}$  and  $3.6 \cdot 10^{-8}$ . In other words, we can say that in the studied area of 240 hours, the gap in friction pairs with friction without lubrication increased by  $60 \mu\text{m}$  per 1 km of the distance travelled, when using water at  $55 \mu\text{m}/\text{km}$

and 36  $\mu\text{m}/\text{km}$  when using Litol 24 lubricant.

It was found that the intensity of the increase in the gap in the friction pair when using a porous polymer coating based on a polyamide epoxy composition as a counter body in a metal–polymer friction pair, under lubrication conditions with Litol, is 1.64 times less than when using such coatings without pores. The obtained porous coatings showed higher wear resistance when using water as a lubricant (1.1 times less than that of the base one). The results obtained confirm that the creation of a porous surface layer in the coating of the polymer composition will contribute to an increase in the service life of the recovered friction pairs by replacing the usual metal–metal pair with a metal–polymer one.

**wear and tear, coating, wear and tear resistance, lubricants**

*Одержано (Received) 10.12.2020*

*Прорецензовано (Reviewed) 17.12.2020*

*Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020*

**УДК 621.432**

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.188-195>

**М.М. Студент**, проф., д-р техн. наук, ст. наук. співр., **М.Я. Головчук**, асп., **В.М. Гвоздецький**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., **Г.Г. Веселівська**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

*Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна*

*e-mail: student.phmi@gmail.com, e-mail: fminanu1978@gmail.com, e-mail: golovchuk86@gmail.com, e-mail: gvosdetcki@gmail.com*

**С.І. Маркович**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: markob0@ukr.net*

**Р.А. Яцюк**, доц., канд. техн. наук

*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна*

## Вплив складу шихтових матеріалів порошкових дротів на механічні характеристики та корозійну стійкість електродугових покриттів

Встановлено вплив шихтових матеріалів порошкових дротів на їх механічні характеристики, хімічну мікрогетерогенність та корозійну стійкість у середовищі водного розчину 3%NaCl. Показано, що на відміну від покриттів із суцільних дротів покриття, напилені із використанням порошкових дротів (ПД), мають високу хімічну гетерогенність. Це зумовлено тим, що краплини, які диспергуються із розплаву ПД та формують покриття мають неоднаковий хімічний склад. Спричинено це неповним сплавленням шихти та сталеві оболонки на торцях ПД під час електродугового напилення покриттів. Для зменшення хімічної мікро гетерогенності запропоновано у шихту порошкового дроту що містить хром, бор, вуглець місткі компоненти (Cr, ФХ, ПГ-100, В<sub>4</sub>С, ФХБ) додавати порошки феросплавів FeSi, FeMn та самофлюсу ПГ-10Н-01, які сприяють утворенню евтектик між складниками шихти, гомогенізують розплав ПД та, як наслідок, зменшують мікрогетерогенність покриттів. Наявність у шихті ПД 90Х17РГС та ПД 75Х19Р3ГС2 хрому, ферохрому, ферокремнію та феромарганцю зумовлює мінімальну хімічну мікрогетерогенність покриттів з цих дротів і, як наслідок забезпечує їх високу корозійну тривкість, що наближається до корозійної тривкості наржавної сталі Х18Н9Т.

**покриття, порошкові дроти, мікро гетерогенність, мікротвердість, корозійна тривкість**