

УДК 620.179.112

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).102-107](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).102-107)

О.Д. Деркач, доц., канд. техн. наук, О.С. Кабат, доц., канд. техн. наук,  
Д.О. Макаренко, канд. техн. наук, Б.Г. Харченко, доц., канд. техн. наук

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна  
e-mail: flymakd@gmail.com*

## Обґрунтування полімерних матеріалів для використання у конструкціях плугів

Викладені результати лабораторних досліджень та визначення приналежності матеріалу “TEKRONE” до групи полімерів. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу: щільність, теплостійкість, границя міцності. Встановлено, що полімерно-композитний матеріал під торговою маркою TEKRONE за своїми властивостями відповідає матеріалам на основі поліетиленів. Визначено, що найближчими за властивостями є поліетилену марки PE 500 і PE 1000.

**полімери, полімерні композиційні матеріали, щільність, теплостійкість, границя міцності, відвали лемішних плугів**

А.Д. Деркач, доц., канд. техн. наук, О.С. Кабат, доц., канд. техн. наук, Д.А. Макаренко, канд. техн. наук, Б.Г. Харченко, доц., канд. техн. наук

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина*

### Обоснование полимерных материалов для использования в конструкциях плугов

Изложенные результаты лабораторных исследований и определения принадлежности материала “TEKRONE” к группе полимеров. Проведенные исследования физико-механических свойств материала: плотность, теплостойкость, предел прочности. Установлено, что полимерно-композитный материал под торговой маркой “TEKRONE” по своим свойствам соответствует материалам на основе полиэтиленов. Определено, что ближайшими по свойствам являются полиэтилены марки PE 500 и PE 1000.

**полимеры, полимерные композиционные материалы, плотность, теплостойкость, предел прочности, отвалы лемешных плугов**

**Постановка проблеми.** Однією з важливих задач технічного забезпечення агропромислового комплексу України є поліпшення експлуатаційних властивостей сільськогосподарської техніки за рахунок підвищення надійності. У відповідності до принципів, розроблених Європейською комісією по ключових технологіях (European Commission Key Enabling Technologies (KETs)) створення нових матеріалів є найбільш пріоритетним і актуальним завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одними із найбільш перспективних матеріалів є полімери та полімерні композиційні матеріали (ПКМ) на їх основі [1-3]. Завдяки своїм унікальним властивостям вони знайшли широке використання практично у всіх сферах життєдіяльності людини та є “матеріалами майбутнього”, з яких вже на сучасному етапі розвитку отримують широку номенклатуру виробів, починаючи з посуду і закінчуючи елементами ракет [4, 5].

Машинобудування, у тому числі сільськогосподарське, сьогодні інтенсивно впроваджує інноваційні рішення. Відомі результати досліджень, в тому числі з використанням полімерних матеріалів і технологічних заходів, щодо підвищення надійності та довговічності ґрунтообробних машин [6, 7]. Машини і механізми, які використовуються для обробки ґрунтів, оснащуються деталями та вузлами з полімерів та ПКМ на їх основі, що дозволяє підвищити їх надійність та довговічність, сприяє

більш якісної та злагодженої роботи і відповідно призводить до збільшення кількості врожаю, що збирається та зменшує його собівартість. Одним із таких деталей є відвали лемішних плугів. Відомий позитивний досвід вирішення проблеми застосування ПКМ в сільськогосподарському машинобудуванні [8-10].

В теперішній час в Україні виробляють відвали плугів із ПКМ марки "TEKRONE". Ці відвали є надійними та довговічними деталями, які при належній експлуатації можуть працювати та у повному обсязі виконувати свої функції впродовж тривалого періоду. Однак, цей матеріал виробляється в Європі і є засекреченим для вітчизняних машинобудівників.

Тому актуальним завданням є модернізація відвалу плугу з ПКМ з метою його здешевлення. Це можливо за рахунок обґрунтування такого ПКМ, який за рівнем властивостей не поступається композиту марки "TEKRONE" і коштує значно дешевше.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає у дослідженні та визначенні приналежності матеріалу "TEKRONE" до групи полімерів. Для цього необхідно провести дослідження фізико-механічних властивостей матеріалу: щільність, теплостійкість, границя міцності.

**Методики досліджень.** *Визначення природи полімеру* (приналежність до термопластів чи реактопластів). Термопласти – полімери, що піддаються повторній переробці і можуть перероблятися декілька разів із незначними змінами властивостей. Реактопласти – це полімери, що не здатні до повторних переробок. За спроби їх нагрівання повторного вони обвуглюються і згорають.

Розпізнавання полімерів за характером поведінки при нагріванні і горінні є досить простим, і в той же час досить точним методом якісного визначення природи полімерів. Метод заснований на візуальному спостереженні за поведінкою зразка при внесенні його в верхню частину полум'я. У міру нагрівання зразки термопластів поступово розм'якшуються і плавляться, а реактопласти не розм'якшуються і не плавляться. Тому по відношенню до нагрівання можна визначити клас полімерів (термопласти чи реактопласти)

Зразок слід внести в полум'я сірника, запальнички або пальника і провести спостереження за нагріванням, розм'якшенням і загорянням полімерного матеріалу. При загорянні зразка, його необхідно видалити з полум'я пальника; якщо він плавиться і зменшується, витримати в вогні до займання.

Нагрівання дослідного зразка (ПКМ марки "TEKRONE") проводиться за температури навколишнього середовища 22°C та вологості 35 - 40%.

*Піролітичне розкладання.* Вміст неорганічних наповнювачів в дослідних зразках із ПКМ марки "TEKRONE" встановлювали методом піролітичного розкладання при обробці їх у муфельній печі при нагріванні до температури 1000°C (швидкість нагрівання 5°C за хвилину) та витримки при цій температурі впродовж 2 годин. Визначається кількість неорганічного наповнювача, який залишився після піролітичного розкладання органічної основи (полімеру).

Зразок зважується до проведення експерименту та після піролітичного розкладання, яке відбувається при температурі 1000°C впродовж 2 годин. Більшість ПКМ складається із органічної основи (полімеру) та неорганічного наповнювача. При піролітичному розкладанні менш термостійка основа деструктує до низькомолекулярних продуктів, які виводяться із повітрям у атмосферу, а більш термостійкий неорганічний наповнювач залишається. Після проведення піролітичного розкладання знаходять його відсоток по масі. Цей відсоток і відповідає кількості неорганічного наповнювача у ПКМ.

*Визначення щільності.* Дослідження щільності зразків із ПКМ марки "TEKRONE" проводяться методом гідростатичного зважування у водному середовищі згідно ГОСТ 15139-69. Зразок, підвішений до коромисла аналітичних терезів, послідовно зважується у повітрі та у дистильованій воді за температури 293 К з

точністю не нижче 0,0001 г. Щільність розраховується за відношенням маси зразка у повітрі до різниці мас у повітрі й у воді. Середнє арифметичне значення щільності, отримане в результаті не менше, як трьох вимірів, що відрізняються не більше ніж на 1 %, приймається за остаточний результат.

Щільність знаходиться за формулою:

$$\rho_T = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса тіла, кг;

$V$  – об'єм тіла, м<sup>3</sup>.

Маса тіла визначається за допомогою аналітичних терезів. Об'єм тіла можна визначити, вимірявши його геометричні параметри, але для наукових досліджень цей метод не застосовується, бо приводить до значної похибки кінцевого результату. Зменшити похибку дозволяє метод гідростатичного зважування, який полягає в наступному.

Досліджуване тіло підвішується за допомогою тонкої дротини або рибальської волосіні до шальки терезів і зважується. Зважування дасть вагу тіла в повітрі  $P_1 = m_1g$ . Якщо нехтувати виштовхувальною силою, що діє на тіло і на важки з боку повітря, то маса важків дорівнюватиме масі тіла:  $m_1 = m$ . Потім тіло занурюється у дистильовану воду, густина якої  $\rho_0$ , і знову зрівноважуються терези. Це зважування дає вагу тіла у воді  $P_2$ :

$$P_2 = mg - F_A, \quad (2)$$

З іншого боку:

$$P_2 = m_2g, \quad (3)$$

де  $m_2$  – маса гирьок при зважуванні.

$$F_A = \rho_0Vg, \quad (4)$$

де  $V$  – об'єм тіла.

Тоді, можна прирівняти:

$$m_2g = m_1g - \rho_0Vg. \quad (5)$$

Оскільки:

$$V = \frac{m}{\rho_T}, \quad (6)$$

то можемо записати:

$$m_2g = m_1g - \rho_0 \frac{m}{\rho_T} g. \quad (7)$$

Після перетворень одержимо кінцеву формулу, за якою знайдемо щільність шуканого матеріалу:

$$\rho_T = \rho_0 \frac{m}{m_1 - m_2}. \quad (8)$$

*Температура розм'якшення* за Віка визначається на приладі ПТБ-І-ІІ Ж у рідинному середовищі згідно ГОСТ 15088-83. Для випробувань виготовляються зразки розміром 4×6×50 мм. Реєстрація результатів здійснюється за допомогою потенціометрів. Готові зразки занурюються у силіконове мастило марки ПМФС-4 у випробувальну камеру на спеціально встановлені опори. По центру зразка прикладали навантаження 5,025 кг, після чого фіксується прогин зразка індикаторами годинникового типу. Нагрівання рідини здійснюється зі швидкістю 120°C/год. Протягом нагрівання рідини зразок розм'якшувався і прогинався. У момент прогину зразка, що дорівнює 1 мм від початкового стану дослідження припиняється і реєструється температура рідини. Зафіксована температура і є температурою

розм'якшення за Віка. Випробовування проводяться одночасно трьох зразків, результати реєструються по трьох незалежних одне від одного каналах.

Теплостійкість зразків із ПКМ марки “TEKRONE” визначається за методом Віка. Встановлено, що вона має значення до 95°C, що відповідає інтервалу теплостійкості для поліетиленів від 80 до 105°C (в залежності від марки полімеру).

Дослідження границі міцності здійснювали на випробовувальній машині FP-100, згідно ГОСТ 4651-82. Для дослідження границі міцності при стисканні використовували зразки діаметром 10 і висотою 15 мм і застосовували відповідне приладдя. При цьому опорні площини зразків повинні бути паралельні в межах 0,1 % у напрямку, перпендикулярному прикладанню навантаження. Реєстрація процесу руйнування зразка здійснюється самописцем на спеціальному бланку.

Границя міцності при стисканні  $\sigma_p$  розраховується за формулою:

$$\sigma_p = P/F, \quad (9)$$

де  $P$  – тиск, МПа;

$F$  – мінімальна площа поперечного перерізу зразка, мм<sup>2</sup>;

$$F = \pi d^2/4, \quad (10)$$

$d$  – діаметр зразка, мм.

Підставляючи формулу (10) в (9) маємо:

$$\sigma_p = P/(\pi d^2/4), \quad (11)$$

Відносна деформація при стисканні  $\varepsilon$  розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \Delta h_{p.c} \cdot 100/h_0, \quad (12)$$

де  $\Delta h_{p.c}$  – величина зменшення висоти зразка при руйнуванні, мм;

$h_0$  – початкова висота зразка, мм.

**Результати лабораторних досліджень.** *Визначення природи полімеру.* Встановлено, що при нагріванні над відкритим полум'ям спостерігається розм'якшення полімеру з наступним плавленням. Обвуглення, деструкція в твердому стані – відсутня. Така поведінка є характерною для термопластичних полімерів. Отже, матеріал TEKRONE є термопластом.

*Піролітичне розкладання.* Встановлено, що після проведення піролітичного розкладання залишається 0,5...0,7% ваг. від початкової ваги зразка. Тобто вміст неорганічного наповнювача у полімері складає 0,5...0,7% ваг. У більшості ПКМ такий вміст наповнювача свідчить про те, що він виконує роль пігменту, який вводиться у полімер для придання необхідного кольору (у даному випадку чорного). З великою вірогідністю можна стверджувати, що в якості пігменту чорного кольору був використаний дрібнодисперсний вуглець (сажа, чернь, відходи хімічного виробництва тощо).

*Визначення щільності.* Встановлено, що густина ПКМ TEKRONE складає 954 кг/м<sup>3</sup>. Значення цього параметру співпадає із густиною поліетилену, яка в залежності від марки змінюється в межах від 910 до 980 кг/м<sup>3</sup>.

Напруження границі міцності при стисканні досліджуваних зразків ПКМ марки “TEKRONE” складає 17,9 МПа, що є дуже близьким до значень поліетилену (14,8-17,0 МПа).

Результати досліджень показали, що ПКМ марки “TEKRONE” – це матеріал на основі термопластичного полімеру із вмістом чорного пігменту 0,5...0,7% ваг. За своїми фізико-механічними та теплофізичними властивостями цей матеріал більше всього наближений до поліетилену, що дозволяє стверджувати, що в якості полімерної основи ПКМ марки “TEKRONE” виступає саме цей полімер. Виходячи з проведених досліджень, в якості аналога ПКМ марки “TEKRONE”, необхідно вибирати матеріали на основі поліетилену, які присутні на ринку України. Досить розповсюдженим матеріалом, що імпортується багатьма компаніями (у тому числі, можливо і

продавцями пластикових відвалів) є поліетилен PE 500 та PE 1000. Порівняльні властивості поліетиленів та TEKRONE наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні та теплофізичні властивості поліетиленів марок PE 500 та PE 1000

№ з/п	Параметр	Марка полімеру		
		PE 500	PE 1000	TEKRONE
1	Густина, кг/м <sup>3</sup>	960	930	954
2	Напруження границі текучості при стисканні, МПа	24	19	17,9
3	Теплостійкість по Віка, °С	80	80	95

З результатів приведених в таблиці можна зробити висновок, що матеріали на основі поліетилену PE 500 та PE 1000 за своїми властивостями знаходяться на рівні з незначним перевищенням ПКМ марки “TEKRONE”. Тобто відвали плугів з матеріалів PE 500 та PE 1000 за своїми характеристиками не будуть поступатися аналогічним деталям із ПКМ марки “TEKRONE”. Проводячи аналіз ринку із продажу даних матеріалів можна зробити висновок, що матеріали PE 500 та PE 1000 у 2...3 разів дешевші ніж ПКМ марки “TEKRONE” і відповідно до цього виробити з них теж можуть бути або дешевші, або рентабельність виробництва вища. Слід відзначити, що матеріал PE 500 на 20% дешевший ніж PE 1000.

**Висновки.** Лабораторними дослідженнями встановлено, що полімерно-композитний матеріал під торговою маркою TEKRONE за своїми властивостями відповідає матеріалам на основі поліетиленів. Визначено, що найближчими за властивостями є поліетилен марки PE-500 і PE-1000. Обвуглення, деструкція в твердому стані – відсутня. Отже, матеріал TEKRONE є термопластом. Після проведення піролітичного розкладення залишається 0,5...0,7% від початкової ваги зразка. Такий залишок характерний для пігменту, що використовується для забарвлення матеріалів.

Таким чином, доцільно рекомендувати до використання поліетилен марки PE-500 і PE-1000 в якості основи для виготовлення відвалів лемішних плугів типу ПЛН.

## Список літератури

1. Klymenko A., Sytar V., Kolesnyk Ie. Adhesion of poly(m-, p-phenylene isophthalamide) coatings to metal substrates. *Progress in Organic Coatings*, 2014, vol. 77, 11, pp. 1597-1602. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.04.028>;
2. Ashby M.F., Jones D.R.H. *Engineering materials 1. An introduction to their properties and applications.* Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002. 306 p. URL: <https://epdf.pub/engineering-materials.html> (дата звернення: 21.05.2020)
3. Kabat O., Sytar V., Sukhyu K. Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & Chemical Technology*, 2018. 12 (in press).
4. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин. Москва: МАДИ. 2016. 254 с.
5. Михайлин Ю. А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2013. 715 с
6. Аулін В.В., Тихий А.А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2017. 279 с.
7. Aulin V.V., Chernovol M.I., Pankov A.O., Zamota T.M., Panayotov K.K. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / *INMATEH – Agricultural Engineering*, Vol. 53, no.3. 2017. P. 21-28.
8. Деркач, О.Д. Проблеми впровадження окремих груп полімерних композитів у конструкцію сільськогосподарської техніки. *Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2018*: зб. тез допов. II Всеукр. наук. конф., Дніпро, 10 квітня, 2018 р. С. 16-17

9. Кузнецова О.Ю. Розробка фулеренвмісних композитних матеріалів на основі фенілолу для деталей конструкційного призначення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.02.01. Луцьк, 2013. 23с.
10. Derkach O., Makarenko D., Velyka M., Shapoval O. Development of high accuracy of the copy soil system *International Scientific Journal. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – Year LXIII, Issue 5 2017. Sofia. 2017. P. 185-187.*

## References

1. Klymenko, A., Sytar, V. & Kolesnyk, Ie. (2014). Adhesion of poly(m-, p-phenylene isophthalamide) coatings to metal substrates. *Progress in Organic Coatings, Vol. 77, 11, 1597-1602.* <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.04.028> [in English].
2. Ashby, M.F. & Jones, D.R.H. (2002). Engineering materials 1. An introduction to their properties and applications. Butterworth-Heinemann, Oxford. *epdf.pub*. Retrieved from <https://epdf.pub/engineering-materials.html> [in English].
3. Kabat, O., Sytar, V. & Sukhyy, K. (2018). Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & Chemical Technology, 12* (in press) [in English].
4. Baurova, N.I., Zorin, V.A. (2016). *Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov pri proizvodstve i remonte mashin. [The use of polymer composite materials in the manufacture and repair of machines]*. Moscow: MADI [in Russian].
5. Mihaylin, Yu.A. (2013). *Voloknistyye polimernyye kompozitsionnyye materialy v tehnikе. [Fibrous polymer composite materials in engineering. Scientific fundamentals and technologies]*. Sankt-Peterburg: Nauchnyye osnovyy i tehnologii [in Russian].
6. Aulin, V.V. & Tykhyi, A.A. (2017). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti i nadiinosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn z rizalnymy elementamy [Tribophysical bases of increase of wear resistance and reliability of working bodies of tillage machines with cutting elements]*. Kropyvnytskyi: Lysenko V.F. [in Ukrainian].
7. Aulin, V.V., Chernovol, M.I., Pankov, A.O., Zamota, T.M. & Panayotov, K.K. (2017). Sowing machines and systems based on the elements of fluidics. *INMATEH – Agricultural Engineering, Vol. 53, 3, 21-28* [in English].
8. Derkach, O.D., Makarenko, D.O., Litvintseva, Yu.O. & Derkach, V.D. (2018). Upgrading of machines for surface tillage (for cultivators). *Geo-Technical Mechanics. 138, 260-270* [in English].
9. Kuznetsova, O.Yu. (2013). *Rozrobka fullerenvmisnykh kompozytnykh materialiv na osnovi fenilonu dlia detalei konstruktsiinoho pryznachennia [Development of fullerene-containing composite materials based on phenylene for structural parts]*. *Extended abstract of candidate's thesis*. Lutsk [in Ukrainian].
10. Derkach, O., Makarenko, D., Velyka, M. & Shapoval, O. (2017). Development of high accuracy of the copy soil system *International Scientific Journal. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – Year LXIII, Issue 5, 185-187* [in English].

**Oleksii Derkach**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleh Kabat**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Makarenko**, PhD tech. sci., **Borys Kharchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

### Substantiation of Polymer Materials for the Use in Plow Constructions

The purpose of the work is to study and determine material "TEKRONE" belonging to the group of polymers, substantiate such a polymer composite material (PCM) in the modernization of the plow blade, which is not inferior to the "TEKRONE" composite and is much cheaper. This requires the study of the physical and mechanical properties of the material.

The following studies of the physical and mechanical properties of the "TEKRONE" material have been conducted: density, heat endurance, and tensile strength. It has been found out that when heated over an open flame, the polymer softens with subsequent melting. There is no charring, destruction in the solid state. Therefore, the TEKRONE material is a thermoplastic. After pyrolytic decomposition 0.5... 0.7% of the initial sample weight remains. PCM TEKRONE density is 954 kg/m<sup>3</sup>. The value of this parameter coincides with the polyethylene density, which, depending on the brand, varies from 910 to 980 kg/m<sup>3</sup>. The tensile strength stress of the investigated samples of PCM TEKRONE is 17.9 MPa, which is very close to the values of polyethylene (14.8-17.0 MPa).

The laboratory studies have shown that TEKRONE polymer-composite material in its properties corresponds to the materials based on polyethylene. It is determined that the closest in properties are PE 500 and PE 1000 polyethylene. It is advisable to recommend the use of PE 500 and PE 1000 polyethylene as a basis for the manufacture of plow blade of PLN type.

**polymers, polymer composite materials, density, heat resistance, tensile strength, mouldboard**

*Одержано (Received) 13.10.2020*

*Прорецензовано (Reviewed) 17.10.2020*

*Прийнято до друку (Approved) 19.10.2020*