

4. А.с. №1198166, МКВ E02F5/02. Траншейный экскаватор для вскрытия подземных трубопроводов / Л.Ш.Соболев и др. – 3700502/20-3; Заявл. 13.02.84; Опубл. 15.12.85, Бюл. №46.

5. А.с. №151253, МКВ E02F3/14. Навесное оборудование, монтированное на гусеничном тракторе / А.А.Майский и др. – 755501/29-14; Заявл. 14.12.61; Опубл. 25.03.77, Бюл. №11.

6. А.с. №692945, МКВ E02F5/08. Устройство для навески рабочего органа роторного экскаватора / К.Е.Ращепкин и др. – 2173973/29-03; Заявл. 19.09.75; Опубл. 25.10.79, Бюл. №39.

7. А.с. №607897, МКВ E02F5/02, E02F3/18. Траншейный экскаватор для вскрытия трубопроводов / Л.А.Одинцов и др. – 2165930/29-03; Заявл. 18.08.75; Опубл. 25.05.78, Бюл. №19.

8. Патент України №37784, E02 F5/00. Землерийне обладнання траншеєкопача для розкривання-заглиблення трубопроводів / Сукач М.К., Лисак С.І. (Україна).– U2008 08334; Заявл. 20.06.2008; Опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.

9. Сукач М.К., Лисак С.І. Обґрунтування параметрів ланцюгового траншеєкопача / Тр. 69 НПК КНУБА. – Київ, 2008.– С.86.

10. Сукач М.К., Лисак С.І. Підвищення ефективності робочого обладнання машини для розкривання трубопроводів // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: Всеукр. міжвід. зб. наук. праць.– К.: КНУБА.– 2008.– Вип.– 71.– С.3...9.

11. Патент 42389 України, МКИ E02F 3/00. Траншейний экскаватор для розкривання підземних трубопроводів / Сукач М.К., Лисак С.І.– № а2009 00804; Заявл. 04.02.2009; Опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13.

12. Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкции, теория и расчет.– М.: Машиностроение, 1972.– 432с.

13. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины (в 2-х ч.). Ч II: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по спец. «Строит. и дор. маш. и оборуд.». – Высш. шк., 1985. – 224с.

14. Сукач М.К. Техніка будівництва. Розрахунковий практикум: Навч. посібник.– К.: КНУБА, 2003.– 140 с.

УДК 621.893-492:621.81

ПОРОШКОВІ АНТИФРИКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

В.Є. Олішевська¹, Г.С. Олішевський²

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: olishevskav@ukr.net

²кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: olishevskiyg@ukr.net

Анотація. В роботі зроблено опис хімічного складу, мікроструктури, фізико-механічних та трибологічних властивостей порошкових антифрикційних матеріалів: залізо – графіт, залізо – мідь, залізо – мідь – графіт, залізо – мідь – графіт – фосфор, композицій на основі бронзи, залізо – графіт – молібден. Розглянуто особливості тертя порошкових

антифрикційних матеріалів. Приведено маркування та раціональні галузі використання порошкових антифрикційних матеріалів. Стаття полегшує сприйняття матеріалу, скорочує час на ознайомлення і підвищує інтегральну компетентність студентів в умовах дистанційного науково-освітнього процесу.

Ключові слова: порошкові антифрикційні матеріали, фізико-механічні властивості, трибологічні властивості, експлуатаційні властивості, коефіцієнт тертя.

POWDER ANTIFRICTION MATERIALS

V.E. Olishevska¹, H.S. Olishevskiy²

¹Ph.D., Associate Professor of Automobiles and Automobile Economy Department, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevska_v@ukr.net

²Ph.D., Associate Professor of Power Engineering Department, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevskiyg@ukr.net

Abstract. The chemical composition, microstructure, physical-mechanical and tribological properties of powder antifrication materials: iron - graphite, iron - copper, iron - copper - graphite, iron - copper - graphite - phosphorus, bronze-based compositions, iron - graphite - molybdenum, are described in the article. Features of friction of powder antifrication materials are considered. Marking and rational areas of use of powder antifrication materials are given. The article content facilitates the perception of the material, reduces the time for acquaintance and increases the integral competence of students in the conditions of distance scientific and educational process.

Keywords: powder antifrication materials, physical and mechanical properties, tribological properties, operational properties, friction coefficient.

Вступ. Основною причиною виходу з робочого стану (до 70 %) механізмів і машин є знос рухомих з'єднань і робочих органів під впливом сил тертя. Одним із шляхів підвищення надійності і довговічності трибовузлів, що працюють в тяжких умовах навантаження, є використання деталей з антифрикційних матеріалів.

Антифрикційні матеріали (лат. *frictio* – тертя) – це матеріали, які використовують для деталей машин, що працюють при терті ковзанням і мають коефіцієнт тертя $f < 0,2$.

Антифрикційні матеріали повинні мати наступні властивості: низький коефіцієнт тертя; високу втомну міцність; достатню міцність; добре притирання; високу корозійну стійкість; добру теплопровідність; добрі технологічні властивості.

На сучасному рівні розвитку науки і техніки розроблена велика кількість антифрикційних матеріалів, серед яких широко застосовують бабіти, бронзи, алюмінієві підшипникові сплави, антифрикційні чавуни, порошкові матеріали.

Проте, не існує універсального антифрикційного матеріалу, що володіє переліченими вище властивостями одразу. Крім того, різні антифрикційні матеріали мають свої недоліки. Наприклад, у олов'янистих бабітів при підвищенні температури починає знижуватися міцність, бронза має недостатнє притирання, неметалічні антифрикційні матеріали мають низьку теплопровідність.

Тому при вирішенні практичних питань, пов'язаних з вибором антифрикційних матеріалів для деталей трибоспряжень, існують певні складнощі. Основними критеріями оцінки антифрикційних матеріалів є умови їх роботи. Тому вибір антифрикційних матеріалів здійснюється на основі умов експлуатації деталей, основних властивостей антифрикційних матеріалів і властивостей мастильних матеріалів, що використовуються в даному вузлі.

Серед великої різноманітності антифрикційних матеріалів перспективними антифрикційними матеріалами є порошкові антифрикційні сплави, які використовують, як правило, для виготовлення втулок, кілець та інших деталей. Технології отримання порошкових антифрикційних матеріалів дозволяють створювати унікальні антифрикційні матеріали з новими трибологічними властивостями, проте дані питання недостатньо представлені в учбовій літературі, що особливо важливо в умовах дистанційного науково-освітнього процесу.

Мета роботи. Аналіз хімічного складу, мікроструктури, фізико-механічних та трибологічних властивостей, особливостей тертя, маркування та раціональних галузей застосування порошкових антифрикційних матеріалів: залізо – графіт, залізо – мідь, залізо – мідь – графіт, залізо – мідь – графіт – фосфор, композицій на основі бронзи, залізо – графіт – молібден.

Матеріал та результати досліджень. Основні експлуатаційні властивості антифрикційних матеріалів – антифрикційність і опір втомленості [1]. Антифрикційність – здатність матеріалу забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання, а, отже, низькі втрати на тертя і малу швидкість зношування деталей. Антифрикційні сплави повинні добре утримувати змащувальний матеріал на поверхні, мати достатню твердість, міцність, пластичність, хорошу теплопровідність і корозійну стійкість [2].

Порошкові матеріали – матеріали, виготовлені шляхом пресування порошків чорних і кольорових металів у виробі необхідної форми і розмірів з подальшим спіканням сформованих виробів у вакуумі або захисній атмосфері при температурі $(0,75...0,8)T_{пл}$ [3]. Після остаточної обробки сплави зберігають 10...30 % залишкової пористості. Введення 1...3 % графіту заповнює пори і служить твердим мастилом, забезпечуючи малий знос і малий коефіцієнт тертя. Замість графіту можуть використовуватися і інші тверді (шаруваті) мастила: молібденіт, діселеніди металів, нітрид бору. Після спікання

антифрикційні порошкові вироби піддають просоченню маслом (зануренням в гаряче масло і витримкою в ньому 1...2 год.). При цьому масло проникає в пори і частково поглинається графітом. Підшипник стає самомастильним. Самомастильні підшипники встановлюються у вузлах, де змащування утруднене або неможливе (наприклад, текстильна або харчова промисловість). Внаслідок значної пористості вони призначені для роботи при невеликих швидкостях ковзання і відсутності ударних навантажень [2].

Випускаються порошкові антифрикційні матеріали на основі: заліза і графіту (залізграфіт), міді і графіту, бронзи і графіту (бронзографіт), алюмінію і графіту (алюмінографіт), срібла і міді з графітом та ін. [3].

На практиці широке застосування одержали *композиції залізо – графіт*. Вміст графіту в композиціях змінюється від 1 до 7 %. Мікроструктура залізграфітових матеріалів – перлітна або перлітно-феритова (рис. 1). Зміст феритної складової допускається до 40 % і залежить від режиму роботи підшипників. Залізграфітові матеріали, що містять 0,8...1 % графіту та мають перлітну структуру, характеризуються найстабільнішими фізико-механічними і технологічними властивостями, найбільшою зносостійкістю [1].

Маркування порошкових антифрикційних матеріалів, відповідно до ГОСТ 26802, містить літери, що позначають: П – приналежність матеріалу до порошкового, А – призначення матеріалу – антифрикційний, Ж – залізо, Д – мідь, О – олово, Гр – графіт, Х – хром, Н – нікель, Ф – фосфор, Б – бор, К – сірка, Мс – дисульфід молібдену, Цс – сірчистий цинк, Л – латунь, М – молібден. Цифри показують середній вміст елемента в відсотках.

Склад, мікроструктура, властивості матеріалів марок ПА-ЖГр, ПА-ЖГр2, ПА-ЖГр3 наведено на рис. 1, в табл. 1, 2.

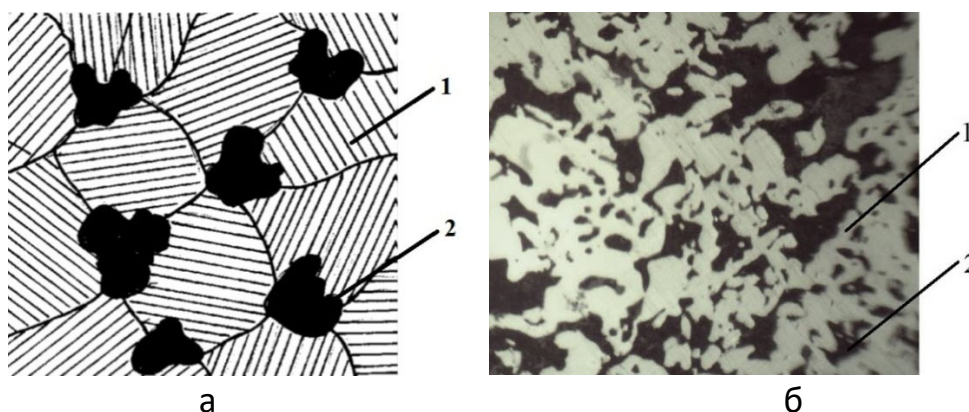


Рисунок 1 – Мікроструктура залізграфітів:

а – схематичне зображення; б – мікроструктура матеріалу ПА-ЖГр3 (3 % Гр, інше Fe, пористість 20 %):

1 – перліт (тверда складова); 2 – графіт (м'яка складова)

Таблиця 1 – Хімічний склад и мікроструктура порошкових антифрикційних матеріалів на основі заліза

Марка матеріалу	Вміст С, %	Пористість, %	Мікроструктура
ПА-ЖГр	0,5...1,2	15...25	Перліт, графіт, пори, допускаються ферит до 40 % і включення цементиту до 10 %,
ПА-ЖГр2	1,4...2,0	15...25	
ПА-ЖГр3	2,2...3,2	15..25	

Таблиця 2 – Механічні властивості порошкових антифрикційних матеріалів на основі заліза

Марка матеріалу	Тимчасовий опір розтягванню, МПа не менше	Межа міцності при вигині, МПа не менше	Твердість НВ, МПа	Ударна в'язкість, кДж/м ²
ПА-ЖГр	120	140	500	30
ПА-ЖГр2	100	110	500	20
ПА-ЖГр3	70	110	450	15

Порошкові антифрикційні матеріали на основі заліза працюють в умовах обмеженого або рясного змащування при тиску до 4 и 10 МПа, відповідно, і швидкості ковзання до 3 м/с; у режимі самозмащування до 2 МПа. Коефіцієнт тертя – в межах 0,035...0,125 залежно від кількості мастила і складу матеріалу. Матеріали з підвищеним вмістом графіту працюють на верхній межі вказаних навантажень, при швидкостях ковзання до 5 м/с мають більший термін служби, менший знос і коефіцієнт тертя. Присутність сірки збільшує зносостійкість і покращує оброблюваність матеріалу.

Композиції залізо – мідь і залізо – мідь – графіт широко застосовують у промисловості. Уведення міді в порошок матеріал на основі заліза сприяє підвищенню його міцності, сприятливо впливає на його змащуваність і дає змогу регулювати зміну розмірів у разі усадки в процесі спікання. Кількість міді, що вводиться в антифрикційний матеріал на залізній основі, коливається в межах 2,5...20 %. У більшості цих матеріалів міді міститься до 5...9 %. Їхні властивості мало відрізняються від залізографіту. Застосовуються матеріали лише при роботі зі змащенням і рідше в режимі самозмащування. Прикладами композиції *залізо – мідь* є матеріали марок ПА-ЖД, ПА-ЖД5 (табл. 3, 4) [3].

Введення міді до складу залізографіту запобігає утворенню цементиту, значно поліпшує структуру і механічні властивості матеріалу, підвищує мікротвердість. Прикладами матеріалів *залізо – мідь – графіт* є матеріали марок ПА-ЖГрД, ПА-ЖГр2Д, ПА-ЖГрД5 (табл. 3, 4). Композицію марки ПА-ЖГр2Д2 застосовують, наприклад, для виробництва поршневих кілець.

Високі триботехнічні характеристики матеріалів композицій залізо – мідь і залізо – мідь – графіт дають змогу застосовувати їх у відповідальних вузлах тертя, де потрібна підвищена міцність підшипникового матеріалу. Такі матеріали здатні витримувати статичні навантаження 60...290 МПа.

Матеріали залізо – мідь – графіт – фосфор. Легування залізо – мідь – графітових антифрикційних матеріалів фосфором дає змогу значно підвищити опір пластичній деформації в умовах тертя. Ці матеріали мають вищу зносостійкість унаслідок тертя без мастила. Оптимальними визнано матеріали на основі заліза, що містять 1,2 % графіту і 0,2...0,4 % фосфору, за вмісту графіту 0,6 % – рекомендується фосфору 0,9 %.

Композиції на основі бронзи. Бронзи набули широкого застосування завдяки високим значенням міцності і корозійної стійкості, добрим антифрикційним властивостям. Бронзи мають стійкість на повітрі, в морській воді, розчинах більшості органічних кислот. Велика кількість бронз (за винятком алюмінієвої бронзи) добре зварюється і паяється твердими і м'якими припоями.

Таблиця 3 – Хімічний склад і мікроструктура порошкових антифрикційних композицій залізо – мідь і залізо – мідь – графіт

Марка матеріалу	Вміст С, %	Вміст Си, %	Пористість, %	Мікроструктура
ПА-ЖД	0,3	2,5...3,5	12...28	Ферит, допускається перліт до 20 %, пори
ПА-ЖД5	0,5	4,8...10	16...27	Ферит, пори, допускаються перліт до 20 % і окремі включення міді, цементиту до 10 %
ПА-ЖГрД	0,5...1,2	2,3...3,5	15...25	Перліт, графіт, пори, допускаються ферит до 40 % і включення цементиту до 10 %
ПА-ЖГр2Д	1,5...2,8	2,5...3,0	13...23	

ПА-ЖГрД5	0,7...1,3	4,8...10,0	16...27	Перліт, графіт, пори, допускаються ферит до 40 % і включення цементиту до 10 %, міді
----------	-----------	------------	---------	--

Таблиця 4 – Механічні властивості порошкових антифрикційних композицій залізо – мідь і залізо – мідь – графіт

Марка матеріалу	Тимчасовий опір розтягванню, МПа не менше	Межа міцності при вигині, МПа не менше	Твердість НВ, МПа	Ударна в'язкість, кДж/м ²
ПА-ЖД	120	250	450	39
ПА-ЖД5	150	300	500	40
ПА-ЖГрД	150	250	600	30
ПА-ЖГр2Д	150	200	600	25
ПА-ЖГрД5	150	250	500	30

Порошкові антифрикційні матеріали на основі бронзи марок ПА-БрОГр, ПА-БрОГр2, ПА-БрОГр4 (табл. 5, 6) працюють в різних умовах: при змащуванні маслом допустимий тиск до 6 МПа при швидкості ковзання до 2 м/с; у режимі самозмащення допустимий тиск до 3 МПа при швидкості ковзання 1...2 м/с. Матеріали мають коефіцієнт тертя в межах 0,03...0,06; безшумні в роботі. Дані порошкові антифрикційні матеріали можуть замінювати олов'яні литі бронзи, латуні. Матеріали застосовують, як правило, для підшипників різних апаратів і приладів побутової техніки, електричних двигунів малої потужності, конвеєрів, автомобілів, тракторів, комбайнів, мотоциклів і т. п. [2].

Порошкові антифрикційні матеріали марок ПА-БрОХ, ПА-БрОХН (табл. 5, 6) призначені для роботи в умовах змащування при середніх і важких навантаженнях (7...10 МПа), при незначних швидкостях ковзання (близько 1 м/с). Коефіцієнт тертя при змащуванні – до 0,1; без змащування – до 0,7. Дані матеріали з метою підвищення фізико-механічних властивостей можуть піддаватися термічній обробці (гарту, старінню). Матеріали застосовуються для деталей вузлів тертя автомобілів, приладів, гідронасосів та ін. Матеріалами даної групи можна замінювати бабіти, литу бронзу типу БрО5Ц5С5, БрО12, БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5 та ін. [1].

Таблиця 5 – Хімічний склад та мікроструктура порошкових антифрикційних композицій на основі бронзи

Марка матеріалу	Вміст С, %	Вміст Sn, %	Вміст Ni, %	Вміст Cr, %	Пористість, %	Мікроструктура
ПА-БрОГр	0,5...1,0	9,5...10,5			15...28	Однорідний α -твердий розчин олова в міді, пори. Допускається присутність евтектоїда, що складається із твердого розчину і фази $Cu_{31}Sn_8$. Графіт
ПА-БрОГр2	1,5...2,5	9,0...11,0			15...25	
ПА-БрОГр4	3,0...4,5	9,0...11,0			10...25	
ПА-БрОХ		4,5...5,5		9,5...10,5	4...20	Однорідний α -твердий розчин Sn и Cr в міді з включенням хроммісткої фази, пори
ПА-БрОХН		4,5...5,5	6,5...7,5	9,5...10,5	4...20	Однорідний твердий розчин Cu, Ni и Cr в міді з включенням хроммісткої фази и сполучення Ni_3Sn , пори

Таблиця 6 – Механічні властивості порошкових антифрикційних композицій на основі бронзи

Марка матеріалу	Тимчасовий опір розтягванню, МПа не менше	Межа міцності при вигині, МПа не менше	Твердість НВ, МПа	Ударна в'язкість, кДж/м ²
ПА-БрОГр	78,5	100	250	13,0
ПА-БрОГр2	70,0		250	
ПА-БрОГр4	60,0		200	

ПА-БрОХ	176,0	390	900	2,0
ПА-БрОХН	215,0	430	9000	2,0

Матеріали залізо – графіт – молібден. Представником композицій є матеріал марки ПА-ЖГрЗМ. До складу матеріалу ПА-ЖГрЗМ входить 1,8...3,0 % С, 13...16 % Мо. Мікроструктура – перліт, ферит до 30 %, вільний графіт, включення карбідів до 15 %, пори. Пористість матеріалу знаходиться в межах 15...23 %. Тимчасовий опір розтягуванню – не менше 60 МПа, межа міцності при вигині – не менше 150 МПа, твердість НВ – 600 МПа, ударна в'язкість – 10 кДж/м². Для деяких композиційних матеріалів, що містять молібден, характерне зменшення коефіцієнта тертя зі збільшенням швидкості ковзання і питомого навантаження. Наприклад, матеріал ПА-ЖГрЗМ за цією характеристикою і за зносостійкістю перевершує олов'янисту бронзу БрОФ в умовах тертя без змащування по сталі 45 (HRC = 43...47) [1].

Висновки. В роботі зроблено опис хімічного складу, мікроструктури, фізико-механічних та трибологічних властивостей порошкових антифрикційних матеріалів: залізо – графіт, залізо – мідь, залізо – мідь – графіт, залізо – мідь – графіт – фосфор, композицій на основі бронзи, залізо – графіт – молібден. Розглянуто особливості тертя порошкових антифрикційних матеріалів. Приведено маркування та раціональні галузі використання порошкових антифрикційних матеріалів.

Використання порошкових антифрикційних матеріалів при розв'язанні проблем тертя, зношування і змащування деталей трибовузлів дозволяє підвищити надійність, довговічність і безпеку машин і механізмів, економити ресурси, забезпечити конкурентоспроможність на ринку, зменшити екологічний вплив на оточуюче середовище.

Дана робота полегшує сприйняття матеріалу, скорочує час на ознайомлення і підвищує інтегральну компетентність студентів в умовах дистанційного науково-освітнього процесу.

Матеріали можуть бути використані студентами при вивченні дисциплін «Конструкційні та експлуатаційні матеріали в автомобільній галузі», «Основи технології виробництва та ремонту автомобілів».

ЛІТЕРАТУРА

1. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах: навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 322 с.
2. Кондрачук М. В., Хабутель В. Ф., Пашечко М. І., Корбут Є. В. Трибологія. Київ: Видво Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. 232 с.

З. Хренов О. В., Афанасьев Л. Н., Лешок А. В. Материалы и технология порошковой металлургии: учебно-методическое пособие по дисциплине «Теория и технология получения порошковых материалов» для студентов специальности 1-42 01 02 «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия». Минск. Белорусский национальный технический университет, 2010. 37 с.

УДК 69.057:658.513.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОЇ ТВЕРДОСТІ ТА ТЕРМОУСАДКИ ВИРОБІВ З PLA ПРИ ЇХ ВИГОТОВЛЕННІ МЕТОДОМ 3D ДРУКУ

Н.О. Ротт¹, В.Е. Дитюк², О.О. Мирний³

¹ к.т.н., доцент, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, E-mail: Rott.N.O@nmu.one

²асистент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, E-mail: Dytiuk.V.E@nmu.one

³студент групи 132-20ск-2

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі проведено дослідження показників поверхневої твердості матеріалу та впливу температури друку на термоусадку виробів з PLA-пластику в діапазоні температур 190 – 220 °С.

Ключові слова: 3D-друк, PLA пластик, термоусадка, поверхнева твердість.

RESEARCH OF PARAMETERS OF SURFACE HARDNESS AND THERMAL SHRINKAGE OF PRODUCTS FROM PLA AT THEIR MANUFACTURING BY A METHOD OF 3D PRINTING

Nataliia Rott¹, Viktoriia Dytiuk², Oleksii Myrnyi³

¹ Ph.D., associated professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, E-mail: Rott.N.O@nmu.one

²Assistant, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, E-mail: Dytiuk.V.E@nmu.one

³Student of group 132-20sk-2, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. This article of surface hardness of the material and the effect of printing temperature on the heat shrinkage of PLA-plastic products in the temperature range 190 - 220°C.

Keywords: 3D printing, PLA plastic, heat shrinkage, surface hardness.

Вступ. Прогрес не стоїть на місці і кожного дня ми все частіше стикаємося з речами що були виготовленні завдяки 3D принтерам. 3D-принтери настільки глибоко увійшли в наше життя, їх використовують, як для створення пластикових шахових фігурок в домашніх умовах, так і в Голлівуді. А