

В. В. Пурис, аспірант, В. В. Лебедєв, д-р техн. наук, доцент

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГЛОМЕРАТІВ З ВІДХОДІВ ПОЛІАМІДІВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Ключові слова: відходи, поліаміди, агломерат, підвищення, характеристики, міцність, методи.

Вступ. Поліамід-6 (ПА6), або нейлон-6, є одним з найпоширеніших інженерних термопластів, який широко застосовують у виробництві технічних деталей, автомобільних компонентів, текстильних волокон, технічних деталей, плівок та пакувальних матеріалів завдяки високим механічним і термічним характеристикам, стійкості до зношування та хімічних впливів. Однак виробництво та використання великої кількості ПА6 супроводжується накопиченням значних обсяг утворення промислових та побутових відходів ПА6 – зокрема, текстильних обрізків, зношених риболовних сіток, автомобільних компонентів – вимагає розробки технологій ефективного їх повторного використання та рециклінгу.

Сучасний період розвитку полімерного матеріалознавства характеризується підвищеним науковим і комерційним інтересом до сумішевих матеріалів на основі відходів ПА6 внаслідок практично необмежених можливостей швидкого та економічно вигідного розширення їх асортименту під конкретне застосування [1–5]. Серед різноманітних сумішей ПА6 найбільш важливу роль мають суміші ПА6 з поліолефінами. Ці суміші характеризуються поруч переваги порівняно з гомополімерами. Зокрема, на відміну від поліолефінів вони володіють високою стійкістю до нафтопродуктів і стиранню, а в порівнянні з ПА6 – пониженим водопоглиненням, підвищеною морозостійкістю і стійкістю до ударних навантажень. Крім того, за рахунок застосування компонентів поліолефінів, змінюється в'язкість розтопу, і стає можливим управляти технологічними властивостями сумішей, їх деформаційно-міцнісними характеристиками [2–5]. Модифікуючий ефект при сумісності з ПА6 значно посилюється завдяки функціоналізації поліолефінів шляхом прив'язки до їх макромолекул активних функціональних груп, які здатні до фізико-хімічної взаємодії з функціональними групами ПА6 і формування міцних зв'язків на межі розділу фази [6].

Агломерація є однією з перспективних технологій переробки поліамідних відходів, яка дозволяє відновити або навіть покращити деякі властивості матеріалу. Проте, більшість агломератів, одержаних з відходів ПА6, демонструють знижені властивості порівняно з первинним полімером: погіршення міцності, зниження молекулярної маси, підвищену гігроскопічність, неоднорідну морфологію. Це обмежує сфери застосування повторно переробленого матеріалу.

У зв'язку з цим актуальним є пошук методів модифікації агломератів із відходів ПА6 для підвищення їх механічних, термічних та експлуатаційних характеристик. Сучасні підходи включають армування скловолокном, вуглецевими волокнами, введення компабілізаторів, використання натуральних наповнювачів, а також створення біоінс-

пірованих структур. Саме тому огляд спрямований на систематизацію результатів досліджень, присвячених підвищенню властивостей таких агломератів, є дуже актуальним.

Мета статті – аналіз сучасних підходів до підвищення експлуатаційних характеристик агломератів з відходів ПА6 при модифікації функціональними наповнювачами та мастербатчами.

Матеріали та методи. Для формування огляду було проаналізовані наукові статті, що стосуються підвищення механічних, термічних та структурних властивостей вторинного ПА6. Огляд структуровано за основними підходами до модифікації агломератів: механічне армування, використання наповнювачів, застосування модифікаторів адгезії та створення біоінспірованих структур.

Об'єктами експериментального дослідження з підвищення міцностних характеристик агломерату ПА6 були:

- агломерат відходів поліаміду-6 від поліамідних виробів одягу, колготок, шкарпеток тощо (Material Wizard, Україна). Властивості агломерату відходів ПА6 були наступними: густина 1,05 г/см³ та індекс плинності розтопу (MFI) (230 °C, 2,16 кг) – 2,56 г/10 хв;

- мастербатч для поліамідів MW-PA CB10 (Material Wizard, Україна). MW-PA CB10 виготовлений на поліамідній основі та призначений для ефективного фарбування литих поліамідів 6, 66 та композицій на їх основі без зниження міцнісних властивостей.;

- гумінові речовини, які були отримані шляхом видобутку бурого вугілля [16].

Дослідження ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині модифікованого агломерату відходів ПА6 без надрізу за температури 20 °C проводилося на маятниковому копрі згідно з ISO 180 та ISO 178 відповідно.

Результати. Класифіковано методи підвищення експлуатаційних характеристик агломератів з відходів ПА6 за п'ятьма напрямками:

- механічна переробка (мелення, термоформування, повторна екструзія);
- армування різними типами волокон: скловолокном, вуглецевими волокнами та натуральними волокнами;
- модифікація наповнювачами та компабілізаторами;
- інноваційні підходи: біоінспіровані та самовідновлювальні структури;
- аналіз термомеханічних характеристик після багаторазового циклу обробки.

Опишемо механічну переробку та агломерацію відходів ПА6. Агломерація подрібнених відходів ПА6 зазвичай виконується методом екструзії з подальшим пресуванням або грануляцією. Проте вже після першого циклу переробки спостерігається падіння молекулярної маси та погіршення в'язко-еластичних властивостей [6–8]. Згідно з [6], після шести циклів екструзії агломератів ПА6 спостерігалось зниження показника тягучості на 25 %, але ударна в'язкість та модуль залишалися в межах допустимих значень для технічного застосування. Робота [7] виявила, що при включенні до 15 % повторно меленого поліаміду у композицію з первинним ПА6, можна зберегти рівень міцності вище 80 % від первісного зразка, особливо за умови додаткової сушки або вакуумного сушіння перед переробкою.

Таким чином, метод використання відходів ПА6 при агломерації може бути використаний шляхом додавання наповнювачів у композитах за умови контролю вологості та морфології.

Не менш важливим методом підвищення експлуатаційних характеристик агломератів з відходів ПА є армування різними типами армуючих волокон. Широко використовують вуглецеві волокна для підсилення міцнісних характеристик відходів ПА6. У [8] автори отримали композити на основі агломерату відходів ПА6 із 10 % мас. коротких вуглецевих волокон, у яких міцність на розтяг зросла на 21 %, а модуль пружності – на 32 % порівняно з немодифікованим агломератом. Згідно з [9], при використанні нетканих структур із переплетених вуглецевих волокон можна досягти рівномірного розподілу армувального компонента в агломераті ПА6.

Однак, для всіх систем ПА6-вуглецеві волокна спостерігається проблема із сумісністю фаз – недостатнє зчеплення між агломератом ПА6 і вуглецевими волокнами через втрату активних кінцевих груп у відходах ПА6 після рециклінгу.

Модифікація агломератів ПА6 з застосуванням скловолокон широко застосовується в автомобільній галузі для виготовлення технічних деталей. Дослідження [10] показало, що модифікація агломератів ПА6 30 % мас. скловолокна дозволяє відновити міцність до рівня первинного ПА6 на рівні понад 65 МПа, хоча подовження при розриві знижується на ~30 %.

Недавні дослідження [11, 12] засвідчили можливість використання рослинних волокон (льону, коноплі та целюлози) як дешевої та екологічної альтернативи синтетичним волокнам при одержанні армованих агломератів ПА6. Введення до 20 % натурального волокна у агломерат відходів ПА6 підвищило модуль Юнга до +68 %, при цьому густина залишалась у межах 1,25–1,30 г/см³.

Для підвищення комплексу експлуатаційних характеристик агломерату ПА6 активно проводять його модифікацію наповнювачами та модифікуючими добавками. Застосування мінеральних та органічних наповнювачів дозволяє не тільки знизити вартість композитів на основі агломератів ПА6, але й покращити окремі характеристики, зокрема жорсткість та стабільність розмірів. У статті [13] було досліджено ефект додавання 10–30 % мас. рисового лушпиння до агломератів литого агломерату ПА6. При вмісті рисового лушпиння на рівні 30 % мас. модуль пружності збільшився на 25 %, хоча міцність на розтяг дещо знизилася. Інше дослідження [14] повідомляє, що введення 5 % деревинного борошна з LiCl знижує температуру топлення агломерату ПА6 на 3,6–7,2 °С, що сприяє кращій переробці матеріалу при нижчих температурах. Загалом, органічні наповнювачі позитивно впливають на жорсткість та технологічність агломератів ПА6, але потребують контролю розміру часток і вологості.

Однією з основних проблем при змішуванні агломератів відходів ПА 6 з іншими полімерними або волокнистими компонентами є низька адгезія між фазами. Для її покращення використовують компабілізатори – речовини, що знижують міжфазну напругу. У [15] описано використання епоксидвмісних поліедричних олігомерних силсесквіоксан частинок як компабілізаторів у агломератах відходів ПА6, модифікованих термопластичним еластомером. Такі нанодобавки сприяли стабілізації фазової структури та підвищенню ударної в'язкості на 30 % після багаторазової переробки. Вищевказане дослідження [7] доводить ефективність малеїн ангідридного графт-поліпропілену у складі агломерату відходів ПА6, модифікованих вторинним поліпропіленом та вуглецевими волокнами. Загалом, використання компабілізаторів в модифікації агломератів ПА6 є

критичним чинником успішної інтеграції агломератів ПА6 у багатокомпонентні композиції.

Новим напрямом у модифікації агломератів відходів ПА6 є створення біоінспірованих структур. У [16] запропоновано використовувати архітектуру з «цеглинок» – блоків жорсткого пластику, з'єднаних гнучким полімерним зв'язком. При такому підході механічні характеристики композиції залишаються високими, тоді як варіації модуля знижуються майже на 90 %. Також у статті [17] описано поєднання агломерату ПА6 з фазою з самовідновлюваного полімеру на основі циклоолефінового кополімеру, що дозволяє ремонтувати мікротріщини термоактивацією.

Авторами даної статті було досліджена сумісна модифікація агломерату відходів ПА6 з використанням гумінових речовин бурого вугілля та мастербатча [18,19]. Вплив модифікації гуміновими речовинами на міцнісні властивості агломерату відходів ПА6 показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Зміна міцностних властивостей при сумісній модифікації агломерату відходів ПА6 з використанням гумінових речовин бурого вугілля та мастербатча MW-PA CB10

Вміст гумінових речовин, % мас.	Ударна в'язкість, кДж/см ²	Руйнівна напруга при вигині, МПа
0	23,44134	115,3176
0,25	26,58933	120,3734
0,5	29,44134	125,3176
0,75	27,93881	122,1848
Вміст мастербатча MW-PA CB10 при постійному вмісті гумінових речовин 0,5 %мас., % мас.		
0	29,44134	125,3176
2	43,58933	126,3734
3,5	42,16655	92,89885
5	20,93881	98,18481

Завдяки модифікації агломерату відходів ПА6 гуміновими речовинами спостерігається підвищення міцнісних властивостей при оптимальному вмісті гумінових речовин на рівні 0,5 % мас. Сумісна модифікація агломерату відходів ПА6, гуміновими речовинами при вмісті 0,5 % мас. в діапазоні вмісту MW-PA CB10 2–3,5 мас.% дозволяє значно покращити більшість міцнісних властивостей матеріалу. При подальшому збільшенні вмісту MW-PA CB10 спостерігається зниження рівня ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині.

Висновки. В рамках огляду показано, що агломерати з відходів ПА6 демонструють значне зниження властивостей при повторній переробці, однак ці властивості можуть бути ефективно компенсовані за допомогою армування, введення компабілізаторів або біоінсперована модифікація. Найкращі результати з методів модифікації агломератів ПА6 досягнуто при використанні коротких вуглецевих волокон з компабілізаторами, натуральних волокон для екологічно чистих композитів, нанодобавок і реак-

тивних сумішей для стабілізації фаз та біоінспірованих структур відкриваються перспективи для створення матеріалів із низькою варіативністю та стабільними експлуатаційними характеристиками.

Розглянуто авторський метод модифікації агломерату відходів ПА6 гуміновими речовинами та мастербатчем. Встановлено, що найкращим є агломерат відходів ПА6 зі вмістом гумінових речовин на рівні 0,5 % мас. та мастербатчу MW-PA CB10 на рівні 2 % мас. Для цього складу ударна в'язкість становить 43,5 кДж/см² та руйнівна напруга при вигині – 126,4 МПа. Саме такий склад агломерату ПА6 можна рекомендувати для повторного використання в традиційних галузях первинного поліаміду-6 для отримання інженерно-технічної продукції.

Література

1. Utracki L. A. History of commercial polymer alloys and blends (from perspective of the patent literature). *Polym. Eng. Sci.* 1995. Vol. 35, No. 2. P. 352–417.
2. Jurkowski B., Pesetskii S. S. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology, and high elastic properties of melts. *Polyolefin Blends*. New Jersey : Wiley and Sons Inc., Hoboken, 2008. Ch. 18. P. 527–555.
3. Sabu T., Groeninckx G. Reactive compatibilization of heterogeneous ethylene propylene rubber (EPM)/nylon 6 blends by the addition of compatibiliser precursor EPM-g-MA. *Polymer*. 1999. Vol. 40. P. 5799–5819.
4. Kelar K.B., Jurkowski B. Preparation of functionalised low-density polyethylene by reactive extrusion and its blend with polyamide 6. *Polymer*. 2000. Vol. 41, No. 3. P. 1055–1062.
5. Oderkert Y., Groeninckx G. Morphology development by reactive compatibilization and dynamic vulcanization of nylon 6/EPDM blends with a high rubber fraction. *Polymer*. 2002. Vol. 43, No. 8. P. 2219–2228.
6. Domingo G. D., Souza A.M.C. PA6/PA66/talc composite: effect of reprocessing on the structure and properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2021. Vol. 139, No. 13. P. 51869.
7. Ergun N., Oksuz M., Ekinci A. Enhancing mechanical and thermal performance of recycled PA6/PP blends: chain extension and carbon fiber reinforcement synergy. *Materials*. 2025. Vol. 18. P. 1027.
8. Georgiou D., Sun D., Liu X., Athanasiou C.E. Suppressing mechanical property variability in recycled plastics via bio-inspired design. *arXiv (Cornell University)*. 2025.
9. Cho B. G., Joshi S. R., Han J. H., Kim G. H., Park Y. B. Interphase strengthening of carbon fiber/polyamide 6 composites through mixture of sizing agent and reduced graphene oxide coating. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2021. Vol. 149. P. 106521.
10. Hermassi N., Ejday M., Grohens Y., Guermazi N., Corre Y-M. Investigation on mechanical, physico-chemical and thermal properties of recycled polyamide 6 reinforced with continuous glass fibers. *Journal of Composite Materials*. 2024. Vol. 59, No. 8. P. 1013–1034.
11. Keskin O. Y., Dalmis R., Balci Kilic G., Seki Y., Koktas S. Extraction and characterization of cellulosic fiber from *Centaurea solstitialis* for composites. *Cellulose*. 2020. Vol. 27. P. 9963–9974.

12. Liao Z., Hu Y., Shen Y., Chen K., Qiu C., Yang J., Yang L. Investigation into the reinforcement modification of natural plant fibers and the sustainable development of thermoplastic natural plant fiber composites. *Polymers*. 2024. Vol. 16. P. 3568.
13. Hirçin B. Ş., Yörür H., Mengeloğlu F. Effects of filler type and content on the mechanical, morphological, and thermal properties of waste casting polyamide 6 (W-PA6G)-based wood plastic composites. *BioResources*. 2020. Vol. 16, No. 1. P. 655–668.
14. Abdullah N., Abdan K., Lee C. H., Roslim M. H. M., Radzuan M. N., Shafi A. R. Thermal properties of wood flour reinforced polyamide 6 biocomposites by twin screw extrusion. *Physical Sciences Reviews*. 2022. Vol. 8, No. 12. P. 5153–5164.
15. Yildirim R., Ullah M. S., Koçoğlu H., Ün M., Çakır N. Y., Demir G., Çetin D., Urtekin G., Özkoç G., Mert O., Kodal M. Effects of hybrid POSS nanoparticles on the properties of thermoplastic elastomer-toughened polyamide 6. *ACS Omega*. 2023. Vol. 8, No. 49. P. 47034–47050.
16. Yu M., Wang M., Xu C., Zhong W., Wu H., Lei P., Huang Z., Fu R., Gucci F., Zhang D. Review of bioinspired composites for thermal energy storage: preparation, microstructures and properties. *J. Compos. Sci.* 2025. Vol. 9. P. 41.
17. Perin D., Dorigato A., Pegoretti A. Thermoplastic self-healing polymer blends for structural composites: development of polyamide 6 and cyclic olefinic copolymer blends. *Journal of Applied Polymer Science*. 2023. Vol. 140, No. 16.
18. Purys V., Lebedev V., Miroshnichenko D., Shestopalov O., Kariev A. Computer modeling of optimal chemical composition of modified polyamide waste agglomerate. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2024. Vol. 221.
19. Lebedev V., Cherkashyna M., Sokolova A., Purys V. Research of modified polyamide waste agglomerate: regulatory issues and technological features. *Key Engineering Materials*. 2024. Vol. 988. P. 99–106.
20. Miroshnichenko D., Cherkashyna M., Sokolova A., Lebedev V., Purys V., Kariev A., Bogatyrenko S., Miroshnychenko M. Polyamide-poly lactide-humic substances biocomposites hybrid modification sustainable development technology. *Petroleum and Coal*. 2024. Vol. 66. P. 758–766.

Bibliography (transliterated)

1. Utracki L. A. History of commercial polymer alloys and blends (from perspective of the patent literature). *Polym. Eng. Sci.* 1995. Vol. 35, No. 2. P. 352–417.
2. Jurkowski B., Pesetskii S. S. Functionalized polyolefins and aliphatic polyamide blends: interphase interactions, rheology, and high elastic properties of melts. *Polyolefin Blends*. New Jersey : Wiley and Sons Inc., Hoboken, 2008. Ch. 18. P. 527–555.
3. Sabu T., Groeninckx G. Reactive compatibilization of heterogeneous ethylene propylene rubber (EPM)/nylon 6 blends by the addition of compatibiliser precursor EPM-g-MA. *Polymer*. 1999. Vol. 40. P. 5799–5819.
4. Kelar K. B., Jurkowski B. Preparation of functionalised low-density polyethylene by reactive extrusion and its blend with polyamide 6. *Polymer*. 2000. Vol. 41, No. 3. P. 1055–1062.
5. Oderkert Y., Groeninckx G. Morphology development by reactive compatibilization and dynamic vulcanization of nylon 6/EPDM blends with a high rubber fraction. *Polymer*. 2002. Vol. 43, No. 8. P. 2219–2228.

6. Domingo G. D., Souza A. M. C. PA6/PA66/talc composite: effect of reprocessing on the structure and properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2021. Vol. 139, No. 13. P. 51869.
7. Ergun N., Oksuz M., Ekinci A. Enhancing mechanical and thermal performance of recycled PA6/PP blends: chain extension and carbon fiber reinforcement synergy. *Materials*. 2025. Vol. 18. P. 1027.
8. Georgiou D., Sun D., Liu X., Athanasiou C.E. Suppressing mechanical property variability in recycled plastics via bio-inspired design. *arXiv (Cornell University)*. 2025.
9. Cho B. G., Joshi S. R., Han J. H., Kim G. H., Park Y. B. Interphase strengthening of carbon fiber/polyamide 6 composites through mixture of sizing agent and reduced graphene oxide coating. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2021. Vol. 149. P. 106521.
10. Hermassi N., Ejday M., Grohens Y., Guermazi N., Corre Y-M. Investigation on mechanical, physico-chemical and thermal properties of recycled polyamide 6 reinforced with continuous glass fibers. *Journal of Composite Materials*. 2024. Vol. 59, No. 8. P. 1013–1034.
11. Keskin O. Y., Dalmis R., Balci Kilic G., Seki Y., Koktas S. Extraction and characterization of cellulosic fiber from *Centaurea solstitialis* for composites. *Cellulose*. 2020. Vol. 27. P. 9963–9974.
12. Liao Z., Hu Y., Shen Y., Chen K., Qiu C., Yang J., Yang L. Investigation into the reinforcement modification of natural plant fibers and the sustainable development of thermoplastic natural plant fiber composites. *Polymers*. 2024. Vol. 16. P. 3568.
13. Hirçin B. Ş., Yörür H., Mengeloğlu F. Effects of filler type and content on the mechanical, morphological, and thermal properties of waste casting polyamide 6 (W-PA6G)-based wood plastic composites. *BioResources*. 2020. Vol. 16, No. 1. P. 655–668.
14. Abdullah N., Abdan K., Lee C.H., Roslim M.H.M., Radzuan M.N., Shafi A.R. Thermal properties of wood flour reinforced polyamide 6 biocomposites by twin screw extrusion. *Physical Sciences Reviews*. 2022. Vol. 8, No. 12. P. 5153–5164.
15. Yildirim R., Ullah M. S., Koçoğlu H., Ün M., Çakır N.Y., Demir G., Çetin D., Urtekin G., Özkoç G., Mert O., Kodal M. Effects of hybrid POSS nanoparticles on the properties of thermoplastic elastomer-toughened polyamide 6. *ACS Omega*. 2023. Vol. 8, No. 49. P. 47034–47050.
16. Yu M., Wang M., Xu C., Zhong W., Wu H., Lei P., Huang Z., Fu R., Gucci F., Zhang D. Review of bioinspired composites for thermal energy storage: preparation, microstructures and properties. *J. Compos. Sci.* 2025. Vol. 9. P. 41.
17. Perin D., Dorigato A., Pegoretti A. Thermoplastic self-healing polymer blends for structural composites: development of polyamide 6 and cyclic olefinic copolymer blends. *Journal of Applied Polymer Science*. 2023. Vol. 140, No. 16.
18. Purys V., Lebedev V., Miroshnichenko D., Shestopalov O., Kariev A. Computer modeling of optimal chemical composition of modified polyamide waste agglomerate. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2024. Vol. 221.
19. Lebedev V., Cherkashyna M., Sokolova A., Purys V. Research of modified polyamide waste agglomerate: regulatory issues and technological features. *Key Engineering Materials*. 2024. Vol. 988. P. 99–106.
20. Miroshnichenko D., Cherkashyna M., Sokolova A., Lebedev V., Purys V., Kariev A., Bogatyrenko S., Miroshnychenko M. Polyamide-poly lactide-humic substances biocompo-

sites hybrid modification sustainable development technology. *Petroleum and Coal*. 2024. – Vol. 66. P. 758–766.

УДК 622.74

В. В. Пурис, аспірант, В. В. Лебедев, д-р техн. наук, доцент

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГЛОМЕРАТІВ З ВІДХОДІВ ПОЛІАМІДІВ

Мета статті – аналіз сучасних підходів до підвищення експлуатаційних характеристик агломератів з відходів ПА6 при модифікації функціональними наповнювачами та мастербатчами. Показано, що сучасний період розвитку полімерного матеріалознавства характеризується підвищеним науковим і комерційним інтересом до сумішевих матеріалів на основі відходів ПА6 внаслідок практично необмежених можливостей швидкого та економічно вигідного розширення їх асортименту під конкретне застосування. Доведено, що агломерація є однією з перспективних технологій переробки поліамідних відходів, яка дозволяє відновити або навіть покращити деякі властивості матеріалу. Проте, більшість агломератів, одержаних з відходів ПА6, демонструють знижені властивості порівняно з первинним полімером: погіршення міцності, зниження молекулярної маси, підвищену гігроскопічність, неоднорідну морфологію. Це обмежує сфери застосування повторно переробленого матеріалу. В рамках огляду показано, що агломерати з відходів ПА6 демонструють значне зниження властивостей при повторній переробці, однак ці властивості можуть бути ефективно компенсовані за допомогою армування, введення компабілізаторів або біоінспірована модифікація. Найкращі результати з методів модифікації агломератів ПА6 досягнуто при використанні коротких вуглецевих волокон з компабілізаторами, натуральних волокон для екологічно чистих композитів, нанодобавок і реактивних сумішей для стабілізації фаз та біоінспірованих структур відкриваються перспективи для створення матеріалів із низькою варіативністю та стабільними експлуатаційними характеристиками. Розглянуто авторський метод модифікації агломерату відходів ПА6 гуміновими речовинами та мастербатчем. Встановлено, що найкращим є агломерат відходів ПА6 зі вмістом гумінових речовин на рівні 0,5 % мас. та мастербатчу MW-PA CB10 на рівні 2 % мас. Для цього складу ударна в'язкість становить 43,5 кДж/см² та руйнівна напруга при вигині – 126,4 МПа. Саме такий склад агломерату ПА6 можна рекомендувати для повторного використання в традиційних галузях первинного поліаміду-6 для отримання інженерно-технічної продукції.

Ключові слова: відходи, поліаміди, агломерат, підвищення, характеристик, міцність, методи.

V. V. Purys, V. V. Lebedev

MODERN APPROACHES TO IMPROVING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF AGGLOMERATES FROM POLYAMIDE WASTE

The purpose of the article is to analyze modern approaches to improving the performance characteristics of agglomerates from PA6 waste when modified with functional fillers and masterbatches. It is shown that the modern period of development of polymer materials science is characterized by increased scientific and commercial interest in composite materials based on PA6 waste due to the practically unlimited possibilities of rapid and economically advantageous expansion of their range for specific applications. It is proven that agglomeration is one of the promising technologies for processing polyamide waste, which allows restoring or even improving some properties of the material. However, most agglomerates obtained from PA6 waste demonstrate reduced properties compared to the primary polymer: deterioration of strength, decrease in molecular weight, increased hygroscopicity, inhomogeneous morphology. This limits the scope of application of the recycled material. The review shows that agglomerates from PA6 waste demonstrate a significant decrease in properties during reprocessing, however, these properties can be effectively compensated by reinforcement, introduction of compatibilizers or bioinspired modification. The best results from the methods of modification of PA6 agglomerates were achieved when using short carbon fibers with compatibilizers, natural fibers for environmentally friendly composites, nanoadditives and reactive mixtures for phase stabilization, and bioinspired structures open up prospects for creating materials with low variability and stable performance characteristics. The author's method of modification of PA6 waste agglomerate with humic substances and masterbatch is considered. It was established that the best is the agglomerate of PA6 waste with a content of humic substances at the level of 0.5 wt. % and the masterbatch MW-PA CB10 at the level of 2 wt. %. For this composition, the impact strength is 43.5 kJ/cm² and the bending failure stress is 126.4 MPa. It is this composition of the PA6 agglomerate that can be recommended for reuse in traditional industries of primary polyamide-6 to obtain engineering products.

Keywords: waste, polyamides, agglomerate, improvement, characteristics, strength, methods.