

УДК 678.6-1

ПРИСТИНСЬКИЙ С. В.², БУДАШ Ю. О.¹, СТУПА В. І.¹,
ПУСТОВОЙТ І. О.¹

¹Київський національний університет технологій та дизайну

²ТОВ «Костал Україна»

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕРОБКИ НАПОВНЕНИХ ПОЛІАМІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ МЕТОДОМ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Мета. Порівняльний аналіз основних параметрів переробки методом лиття під тиском та фізико-механічних властивостей полімерних композицій на основі поліаміду 6.6.

Методика. Зразки отримували методом лиття під тиском на литтєвій машині ENGEL E-MAC 170/75. Параметри процесу визначалися емпіричним шляхом для досягнення визначених критеріїв якості. Фізико-механічні властивості оцінювали за показником ударної в'язкості за Шарпі. Статистичну обробку даних та побудову графіків і діаграм виконували за допомогою програми MS Excel.

Результати. В процесі дослідження здійснено порівняльний аналіз основних параметрів процесу лиття під тиском та фізико-механічних властивостей, зокрема ударної в'язкості за Шарпі, отриманих зразків із склонаповненої полімерної композиції на основі поліаміду PA6.6-GFGB30 та матеріалом без скляного наповнювача PA6.6. У ході проведення експерименту та аналізу даних, було виявлено збільшення ударної в'язкості зразків на 43%, відлитих з полімерного композиційного матеріалу PA6-GFGB30 у порівнянні з PA6.6. При цьому параметри процесу, зокрема температури, що безпосередньо впливають на витрати енергетичних ресурсів не зазнали статистично достовірних змін. Серед особливостей у змінах основних параметрів процесу можемо відмітити збільшення тиску перемикавання, зменшення часу дозування тощо. Також зазнали змін швидкісні та лінійні значення технологічного процесу.

Наукова новизна. Вперше був виконаний детальний порівняльний аналіз основних параметрів переробки методом лиття під тиском та фізико-механічних властивостей полімерних композицій на основі поліаміду 6.6.

Практична значимість. Отриманні результати дозволять здійснювати фаховий підхід при виборі полімерних композицій та технологічних параметрів процесу їх переробки методом лиття під тиском.

Ключові слова: лиття під тиском, параметри процесу, ударна в'язкість, наповнені полімерні композиції, поліаміди.

Вступ. У сучасному машинобудівному світі все більше актуальності набуває використання полімерних наповнених композицій, що зумовлено висуванням нових критеріїв якості кінцевого продукту відповідно до IATF 16949:2016, світових законодавчих актів та стандартів щодо безпеки людини та навколишнього середовища DIN EN ISO 14001:2015 [1-4]. З таких композицій виготовляються багато функціональних деталей для автомобілів: перемикачі різних функціоналів, деталі облицювання кузова автомобіля, панелі водія, дверні карти, деталі двигуна, деталі підвіски, декоративні накладки, оздоблення інтер'єру салону.

Фізико-механічні властивості та особливості лиття пластмас під тиском вивчалися та продовжують вивчатися й сьогодні [5-7]. Використання термопластавтоматів дозволяє максимально автоматизувати процес виготовлення необхідних виробів та отримувати високоякісні полімерні вироби при низькому рівні собівартості [8]. Останнім часом набуває

популярності використання полімерних наповнених композицій на основі поліаміду, властивості яких інтенсивно досліджуються [9-12].

Постановка завдання. Мета роботи - порівняльний аналіз основних параметрів переробки методом лиття під тиском та фізико-механічних властивостей полімерних композицій на основі поліаміду 6.6 (РА 6.6).

Об'єкт дослідження – полімерна деталь, яка є частиною автомобільного перемикача з автоматичною коробкою передач. Деталь призначена для утримування друкованої плати, корпусу та безпосередньо кнопки (рис. 1).

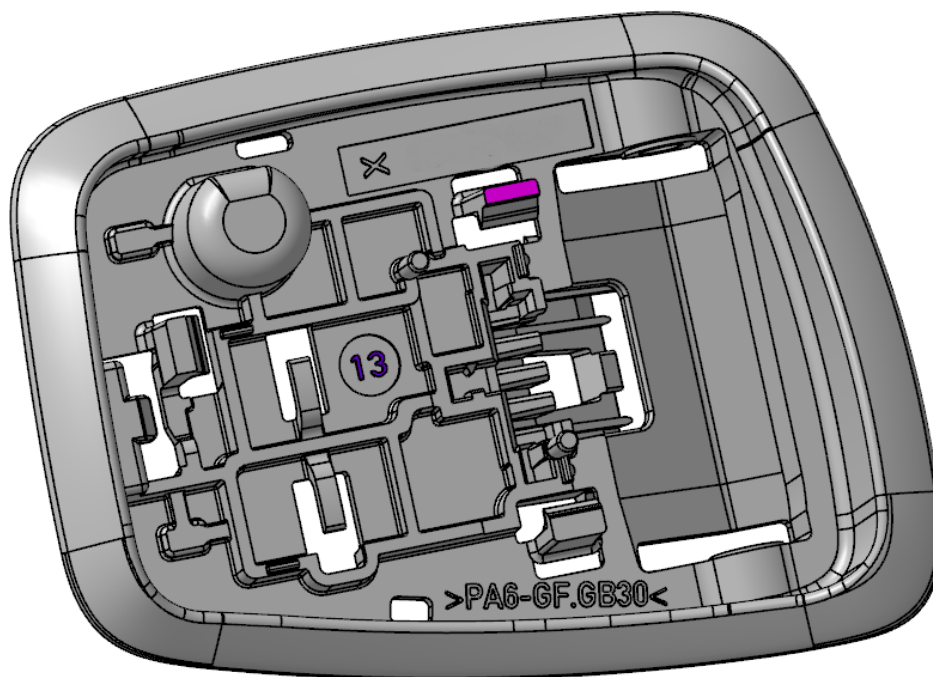


Рис. 1. Загальний вигляд дослідної полімерної деталі

В ході експерименту було відлито методом лиття під тиском 26 деталей, з двох різних марок полімерних композицій на основі PA 6.6: Ultramid A4H (PA6.6) та Durethan BG30X (PA6.6–GFGB30). Властивості даних полімерних композицій наведено в таблиці 1. Перед процесом лиття, полімери просувувались в агрегаті FARRATECH Card 10S до отримання необхідного рівня вологості гранул. Було використано стандартну для даної моделі деталей пресформу із системою гарячих каналів, підтримка температури якої здійснювалась апаратами «НВ-Therm».

Таблиця 1

Основні властивості вихідних полімерів

Показники	Значення		Різниця, %
	Ultramid A4H	Durethan BG 30	
	PA6.6	PA6.6-GF.GB 30	
Вміст склонаповнювача, %	0	≤30	30
Щільність, г/см ³	1,13	1,35	19,5
Водопоглинання при RH = 50%, %	2,5-3,1	2,2	13,6 - 40,9
Міцність при розриві, МПа	85	125	47
Відносне подовження при розриві, %	4,2	1	420
Модуль гнучкості, МПа	5,7	6,2	8,8
Ударна в'язкість за Ізодом, кДж/м ²	5,5	7	27,3
Точка плавлення, °C	260	222	17,1
Температура прогину А, °C	240	190	26,3
Температура сушіння, °C	80	80	0
Температура розплаву, °C	280-300	270-290	3,4 - 3,7
Температура прес-форм, °C	60-80	80-120	33,3 - 50

Як можна бачити, дані матеріали мають суттєво різні властивості, що потребує врахування при визначенні оптимальних параметрів параметри технологічного процесу їх переробки. Зразки для експерименту було отримано на литтєвій машині ENGEL E-MAC 170/75.

Результати досліджень. Експериментальним шляхом було підібрано оптимальні процеси лиття під тиском таким чином, щоб отримати повністю наповнену деталь належної якості відповідно до встановлених критеріїв та стандартів. Попередньо відбулася підготовка та перевірка вологості необхідної кількості висушеного матеріалу. Відливання деталей починали з PA6.6-GFGB30, далі виконували заміну матеріалу на PA6.6 із попередньою промивкою вузла впорскування спеціальними засобами зі зміною параметрів роботи литтєвої машини. Підібрані технологічні параметри для PA6.6 та PA6.6-GFGB30 наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Карта встановлених параметрів процесу лиття під тиском

Параметри процесу	PA6.6	PA6.6 GFGB30	Різниця, %
Температура сушки, °C	80	80	0
Мінімальне зусилля змикання прес форми, кН	450	450	0
I зона нагріву циліндру, °C	285	285	0
II зона нагріву циліндру, °C	280	280	0
III зона нагріву циліндру, °C	275	275	0
IV зона нагріву циліндру, °C	270	270	0
Температура траверси, °C	50	50	0
Час впорскування, с	0,7	0,73	+4,3
Час затримки завантаження матеріалу, с	0,5	0,5	0

Продовження таблиці 2

Час дозування, с	6,4	5,3	-20,8
Час дії тиску підживлення, с	5	5	0
Час охолодження, с	10	10	0
Час циклу, с	20	20	0
Максимальний тиск вприскування, бар	1600	1600	0
Тиск перемикавання, бар	925	1400	+51,4
Тиск підживлення, бар	500	500	0
Протитиск, бар	80	80	0
Швидкість вприскування, мм/с	65	46,5	-39,8
Швидкість підживлення, мм/с	16	15	-6,7
Швидкість дозування, %	15	26	+73,3
Хід дозування, мм	40	38	-5,3
Точка перемикавання, мм	11,5	10,2	-12,7
Подушка, мм	7,4	8,2	+10,8
Хід декомпресії, мм	5	5	0
Швидкість декомпресії, мм/с	15	15	0

З таблиці 2 можна бачити, що температурний режим не зазнав змін, оскільки було дотримано рекомендацій що до збереження властивостей, наданих виробником матеріалу. В той же час, незважаючи на температурні показники, технологічний процес змінено за наступними параметрами: час вприскування та дозування, тиск перемикавання, швидкість вприскування, підживлення та дозування, хід дозування, точка перемикавання, подушка. Представлені дані свідчать що температура переробки (включаючи параметри сушіння) не змінилася, отже енергетичні витрати також залишаються без змін.

На рисунку 2 представлена тенденція змін тиску, де спостерігається суттєве підвищення тиску перемикавання на 475 бар для полімерної склонаповненої композиції PA6.6-GFGB30, що на 51,4% більше у порівнянні з ненаповненого PA6.6.

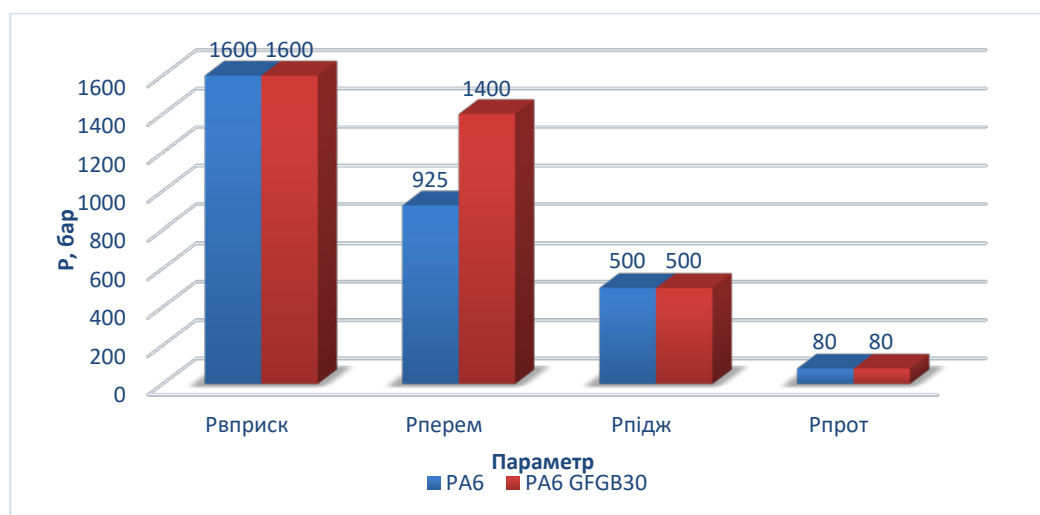


Рис. 2. Порівняльна характеристика параметрів тиску в процесі для PA6.6 та PA6.6-GFGB30

Встановлене підвищення параметрів обумовлено тим, що РА6.6-GFGB30 має на 19,5% більшу щільність у порівнянні з РА6.6 (див. табл. 1), що впливає на реологічні характеристики матеріалу, а саме збільшення в'язкості. Зауважимо також, що тиск підживлення, тиск вприскування та протитиск залишаються без змін. Це обумовлено тим, що в процесі експерименту використовували прес-форму з однаковими геометричними розмірами та литтєвими системами.

Показники, що характеризують тенденції зміни часу представлено на рисунку 3. Аналізуючи отриманні експериментальні дані маємо зазначити, що статистично достовірних змін зазнав параметр часу дозування, а також показник часу вприскування. Час дозування композиції РА6.6-GFGB30 зменшився на 1,1 с, що складає 20,8% по відношенню до РА6.6. При цьому спостерігається незначне збільшення часу вприскування матеріалу РА6.6-GFGB30 на 4,3 % по відношенню до РА6.6.

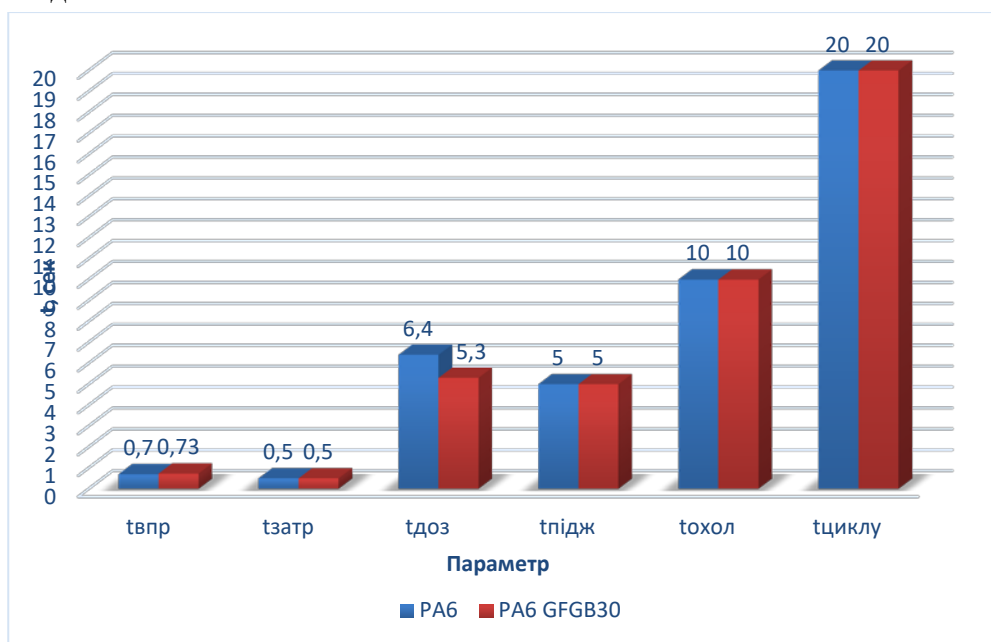


Рис. 3. Порівняльна характеристика параметрів часу в процесі для РА6.6 та РА6.6-GFGB30

Показники, що характеризують тенденції зміни швидкостей технологічного процесу, представлено на рисунку 4, з якого видно, що спостерігаються суттєві зміни швидкостей технологічного процесу для дослідних матеріалів.

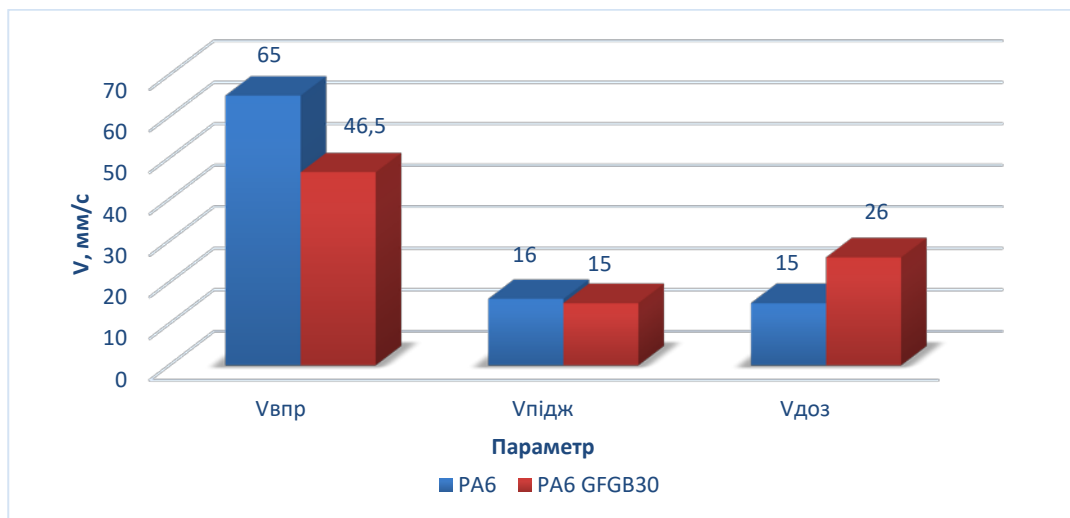


Рис. 4. Порівняльна характеристика параметрів швидкостей процесу лиття під тиском для PA6.6 та PA6 GFGB30

Відбувається зменшення на 39,8% швидкості вприскування та на 6,7% швидкості підживлення в процесі переробки склонаповненої композиції PA6.6 GFGB30 відносно до PA6.6. Натомість, швидкість дозування збільшується на 73,3% для PA6.6 GFGB30 при незмінній частоті обертів шнеку та зменшенні часу дозування (табл. 2, рис. 3).

Показники, що характеризують тенденції зміни окремих значень технологічного процесу наведено на рисунку 5.

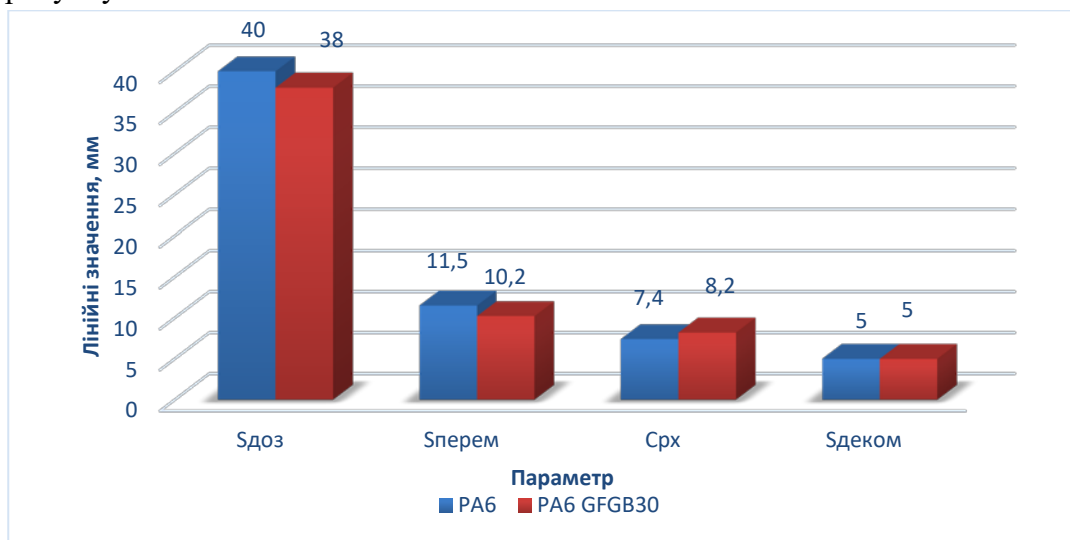


Рис. 5. Порівняльна характеристика параметрів процесу лиття під тиском для PA6.6 та PA6.6-GFGB30

Як видно, відбувається зменшення наступних параметрів процесу для PA6.6-GFGB30 відносно PA6.6: процесу дозування на 2 мм, що складає 5,3%; точки перемикавання на 1,3 мм, що складає 12,7%. Такі зміни можна пояснити вибором часового режиму при налаштуванні процесу

на литевій машині для досягнення встановленого часу циклу та номінальної ефективності обладнання.

Результати досліджень ударної в'язкості деталей із композиції PA6.6-GFGB30 та ненаповненого полімеру PA6.6 наведені на рисунку 6.

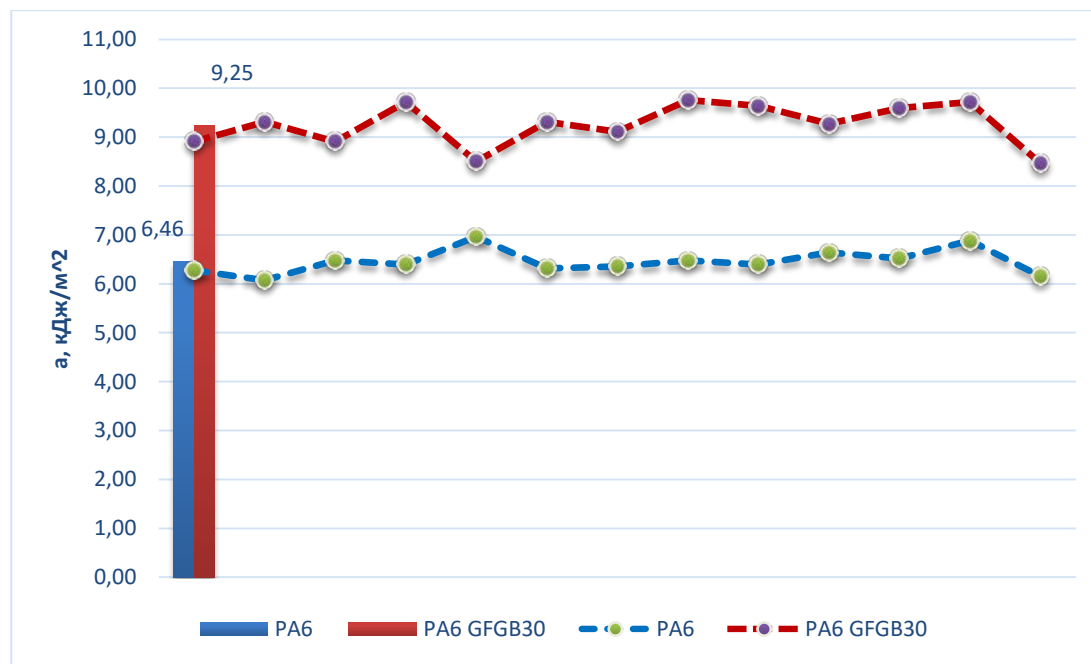


Рис. 6. Порівняння значень ударної в'язкості зразків для PA6.6 та PA6.6-GFGB30

З них видно, що ударна в'язкість зразків із композиції PA6.6-GFGB30 ~ на 43% вища чим для деталей з композиції PA6.6. Таке зростання ударної в'язкості можна пояснити наявністю скловолокон, які створюють армуючий ефект, та значно підвищують фізико-механічні властивості деталей. Як відомо, скловолокна мають міцність до 4,5 ГПа та модуль пружності – до 109,6 ГПа. В процесі проведення експерименту було виявлено, що зразки, які отримані з PA6.6 GFGB30 при ударі маятником зазнавали пошкоджень лише у вигляді тріщини вздовж точки прикладення зусилля. Натомість зразки з PA6.6 зазнавали й руйнівних пошкоджень по всій поверхні з утворенням уламків.

Висновки. Виконано детальне порівняльне дослідження окремих технологічних параметрів процесу переробки методом лиття під тиском звичайних та склонаповнених (30%) композицій на основі поліаміду 6.6.

Встановлена необхідність зміни окремих параметрів процесу лиття під тиском для склонаповненої полімерної композиції PA6.6-GFGB30, а саме встановити значення на рівні: час вприскування – з 0,73 с на 0,7 с; час дозування – з 5,3 с на 6,4 с; тиск перемикавання – з 1400 бар на 925 бар; швидкість вприскування - з 46,5 мм/с на 65 мм/с; швидкість підживлення – з 15 мм/с на 16 мм/с; швидкість дозування – з 26 мм/с на 15 мм/с; хід дозування – з 38 мм на 40 мм, точку перемикавання – з 10,2 мм на 11,5 мм.

Встановлено, що ударна в'язкість зразків із композиції PA6-GFGB30 ~ на 43% вища чим для деталей з композиції PA6.6, що можна пояснити армуючим ефектом скловолокон.

Показана доцільність використання сучасних наповнених поліамідних композицій, що дає змогу отримувати вищій рівень якості продукції із мінімальними змінами параметрів процесу лиття.

Одержані результати дозволять здійснювати фаховий підхід при виборі полімерних композицій та технологічних параметрів процесу їх переробки методом лиття під тиском.

Література

1. Lopes Poliana I. New PMMA-co-EHA glass-filled composites for biomedical applications: Mechanical properties and bioactivity. *Acta biomaterialia*, 2009, 5.1: P. 356-362.
2. Kropka Michael. From UD-tape to final part – a comprehensive approach towards thermoplastic composites. *Procedia CIRP*, 2017, 66: P. 96-100.
3. IATF 16949:2016 (RU) Стандарт системи менеджмента качества автомобильной промышленности. Первое изд., 2016. 63 с.
4. DIN EN ISO 14001:2015 Um welt management systeme. 2015. 81 s.
5. Saad N. The fatigue behavior of composite materials for high-temperature applications. In: *Lightweight Composite Structures in Transport*. Woodhead Publishing, 2016. P. 239-266.
6. Огородов Л.И., Шапкина В.А. Механические характеристики стеклонаполненного полиамида, используемого в противодиффузионных конструкциях. *Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки*. 2. 2018. С. 74-77.
7. Hsiung H.M. et al. Study on Tensile Properties of Nylon 66 Reinforced Composites. *International Conference on Education, Management, Computer and Society*. Atlantis Press, 2016. P. 1660-1663.
8. Славінський В.В. *Машина для лиття під тиском з модернізацією механізму пластикації*. Київ. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 11-12.
9. Bruchmuller Matthias, Julius Geis, Michael Koch. Mechanical property model for fiber filled thermoplastics incorporating surface tension. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2055. 1. AIP Publishing, 2019. P. 700-714.
10. Джурка Г.Ф. Полімерні композиційні матеріали. 2008. 52 с.
11. Kitayama Satoshi, et al. Multi-objective optimization of injection molding process

References

1. Lopes Poliana I. New PMMA-co-EHA glass-filled composites for biomedical applications: Mechanical properties and bioactivity. *Acta biomaterialia*, 2009, 5.1: P. 356-362 [in English].
2. Kropka Michael. From UD-tape to final part – a comprehensive approach towards thermoplastic composites. *Procedia CIRP*, 2017, 66: P. 96-100 [in English].
3. IATF16949:2016 Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations. 1st Edition. 2016. 63 p. [in Russian].
4. DIN EN ISO 14001:2015 Environmental management systems. 2015. 81 p. [in German].
5. Saad N. The fatigue behavior of composite materials for high-temperature applications. In: *Lightweight Composite Structures in Transport*. Woodhead Publishing, 2016. P. 239-266 [in English].
6. Ogorodov L., Shapkina V. (2018). Mechanical characteristics of glass-filled polyamide used in anti-filter structures. *Bulletin of the Vologda State University. Series: Engineering*. 2. P. 74-77 [in Russian].
7. Hsiung H.M. et al. (2016). Study on Tensile Properties of Nylon 66 Reinforced Composites. *International Conference on Education, Management, Computer and Society*. Atlantis Press P. 1660-1663 [in English].
8. Slavinsky V. (2019). *Injection molding machine with the modernization of plasticizing mechanism*. BS thesis. Kyiv. KPI them. Igor Sikorsky P. 11-12 [in Ukrainian].
9. Bruchmuller Matthias, Julius Geis, Michael Koch (2019). Mechanical property model for fiber filled thermoplastics incorporating surface tension. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2055. №. 1. AIP Publishing. P. 700-714 [in English].
10. Dzhurka G. (2008). *Polymer composite materials*. 52 p. [in Ukrainian].
11. Kitayama Satoshi, et al. (2017). Multi-objective optimization of injection molding process parameters for

parameters for short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 88.5-8. 2017. P. 1735-1744.

12. Mianehrow Hanieh, Ali Abbasian. Energy monitoring of plastic injection molding process running with hydraulic injection molding machines. *Journal of Cleaner Production* 148. 2017. P. 804-810.

short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 88.5-8. P. 1735-1744 [in English].

12. Mianehrow Hanieh, Ali Abbasian (2017). Energy monitoring of plastic injection molding process running with hydraulic injection molding machines. *Journal of Cleaner Production* 148. P. 804-810 [in English].

PRYSTYNSKYI SERHII

s.prustynskyi@outlook.com
Manager of injection molding production area at
«Kostal Ukraine» Ltd, Perejaslav,
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers
and Chemical Fibers of the Kyiv National University of
Technologies and Design

BUDASH YURII

ResearcherID: H-6012-2018
Scopus Author ID: 9134072100
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers of the Kyiv National
University of Technologies and Design

PUSTOVOIT IRYNA

irinapustovojt154@gmail.com
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers
and Chemical Fibers of the Kyiv National University of
Technologies and Design

STUPA VOLODYMYR

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7312-7905>
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers of the Kyiv National
University of Technologies and Design

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИАМИДНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
ПРИСТИНСКИЙ С. В.², БУДАШ Ю. А.¹, СТУПА В.И.¹ ПУСТОВОЙТ И. А.¹**

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна

²ООО «Костал Украина»

Цель. Сравнительный анализ основных параметров переработки методом литья под давлением и физико-механических свойств полимерных композиций на основе полиамида 6.6.

Методика. Образцы получали методом литья пластмасс под давлением на литьевой машине ENGEL E-MAC 170/75. Параметры процесса определялись эмпирическим путем для достижения определенных критериев качества. Физико-механические свойства оценивали по показателю ударной вязкости по Шарпи. Статистическую обработку данных, построение графиков и диаграмм выполняли при помощи программы MS Excel.

Результаты. В процессе исследования осуществлено сравнительный анализ основных параметров процесса литья под давлением и физико-механических свойств, таких как ударной вязкости, полученных образцов из стеклонаполненной полимерной композиции на основе полиамида PA6.6-GFGB30 и материалом без стеклянного наполнителя PA6.6. В ходе проведения эксперимента и анализа данных, было выявлено увеличение ударной вязкости образцов на 43%, отлитых из полимерного композиционного материала PA6.6-GFGB30 в сравнении с PA6.6. При этом параметры процесса, а именно температуры, которая непосредственно влияет на затраты энергетических ресурсов не получили статистически достоверных изменений. Из особенностей изменений параметров процесса можем отметить увеличение давления переключения, уменьшение времени дозирования, других. Также изменились скоростные и линейные значения технологического процесса.

Научная новизна. Впервые был выполнен детальный сравнительный анализ основных параметров переработки методом литья под давлением и физико-механических свойств полимерных композиций на основе полиамида 6.6.

Практическое значение. Полученные результаты позволят осуществить профессиональный подход к выбору полимерных композиций и технологических параметров процесса их переработки методом литья под давлением.

Ключевые слова: литье под давлением, параметры процесса, ударная вязкость, наполненные полимерные композиции, полиамиды.

FEATURES OF PROCESSING FILLED POLYAMIDE COMPOSITIONS BY INJECTION MOLDING METHOD

PRYSTYNSKYI S.², BUDASH YU.¹, STUPA V.¹, PUSTOVOIT I.¹

¹Kyiv National University of Technologies and Design

²«Kostal Ukraine» Ltd

Purpose. Comparative analysis the main parameters of injection molding and the physic-mechanicals properties of polymer compositions based on polyamide 6.6.

Methods. Samples we had obtained by injection molding method at injection molding machine ENGEL E-MAC 170/75. The process parameters had determined empirically to achieve certain quality criteria. Physics and mechanicals properties had evaluated by Sharp impact strength. Statistical data processing, construction of graphs and diagrams had done in MS Excel.

Results. During the researching, had done a comparative analysis of the main parameters of the injection molding process, physical and mechanical properties, such as impact strength of the samples obtained from the glass-filled polymer composition based on polyamide PA6.6-GFGB30 and the material without glass filler PA6.6. During the experiment and data, analysis had revealed an increase in the impact strength of samples by 43%, cast from polymeric composition material PA6.6-GFGB30 in comparison with PA6.6. At the same time the process parameters such as the temperature, which directly affects the energy resources consumption, did not receive statistically significant changes. Among the features of changes in process parameters, we can note an increase in switching pressure, a decrease in the dosing time, and others. In addition, the speed and linear values of the process have changed.

Scientific novelty. For the first time had performed a detailed comparative analysis the main processing parameters by injection molding and the physic-mechanicals properties of polymer compositions based on polyamide 6.6.

Practical meaning. The results will allow a professional approach to the selection of polymer compositions and technological parameters the process of their processing by injection molding.

Key words: injection molding, process parameters, impact strength, filled polymer compositions, polyamides.