

УДК 685.34.02

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ

Г.Є. ЛОБАНОВА

Хмельницький національний університет

*У статті розглядається можливість широкого варіювання відсотковим вмістом вихідної сировини та одержання деталей спеціального взуття із композиційних полімерних матеріалів з різними фізико-механічними показниками, забарвленням і іншими експлуатаційними властивостями. Для визначення співвідношення полімеру, наповнювача і модифікатора проведена оптимізація складу композиції за греко-латинським квадратом*

Застосування нових композиційних матеріалів з використанням перероблених промислових відходів у якості зв'язуючого полімеру та наповнювача для виготовлення основної устілки та задника взуття відкриває нові властивості як цих деталей так і виробів в цілому, а також має значний вплив на споживчі властивості спеціального взуття. Розробка складів новітніх матеріалів та деталей із них, які володіють експлуатаційними і технологічними властивостями, визначеними діючими вітчизняними та міжнародними стандартами має науковий і практичний інтерес для взуттєвої промисловості.

### **Об'єкти та методи дослідження**

Термопластичні матеріали для задників Surlyn створені фірмою Du Pont, Rx Active 200X – фірми Rhenoflex (Німеччина), Fosshape – фірми Foss Manufacturing (США) [1-3] мають ряд недоліків: незадовільна формостійкість, недостатні жорсткість та придатність до формування, що негативно позначається на процесі виготовлення взуття, а також значна залишкова деформація. Для їх виготовлення використовуються дорогі натуральні або полімерні матеріали. Загальним недоліком композиційних матеріалів фірм USM Texon [4], Symcox [5], Omnipel [6] для основних устілок є неможливість їх застосування для виготовлення спецвзуття цвяхового методу кріплення, оскільки спостерігається наскрізне проривання матеріалу загнутою частиною металевого прикріплювача. Необхідно удосконалити методи створення складів термопластичних композиційних матеріалів на основі вторинної сировини для основної устілки і задника спеціального взуття з прогнозованими фізико-механічними та гігієнічними властивостями

### **Постановка завдання**

Враховуючи недоліки розглянутих термопластичних матеріалів, виникла необхідність проведення досліджень по створенню композиційних матеріалів для виготовлення основних устілок та задників, які би характеризувалися хорошими технологічними та експлуатаційними властивостями. Завданням даної роботи є проведення оптимізації складу композицій за греко-латинським квадратом з метою визначення співвідношення полімеру, наповнювача і модифікатора.

### **Результати та їх обговорення**

Попередніми дослідженнями [7] встановлено, що на фізико-механічні і гігієнічні властивості композиційних матеріалів впливають такі технологічні фактори їх виготовлення, як концентрація та вид

наповнювача і модифікатора. Тому, для визначення оптимальних значень їх вмісту у композиції, здійснили математичне планування експерименту. Враховуючи багатофакторність цього експерименту та якісні рівні оцінки окремих факторів, використано гіпер-греко-латинський квадрат 5×5 четвертого порядку [8]. Це дає можливість при проведенні невеликої кількості одиничних експериментів встановити оптимальні значення досліджуваних властивостей.

Згідно з метою планування експерименту [8] з метою оптимізації складу матеріалу для виготовлення основної устілки спецвзуття вибрали:

1. Межі варіювання факторів:

– по наповнювачу – 10 ÷ 42 мас. ч.; по модифікатору – 1 ÷ 5 мас. ч.

2. Інтервал варіювання:

– по наповнювачу – 8 мас. ч.; по модифікатору – 1 мас. ч.

Нульові точки меж та інтервали варіювання були вибрані на основі результатів попередніх досліджень [7]. Планування експерименту проводиться за схемою, наведеною в табл. 1.

Таблиця 1. План експерименту

X <sub>1</sub>		Кількість наповнювача, %				
		10	18	26	34	42
Кількість модифікатора, %	1	Aα	Bβ	Cγ	Dδ	Eε
	2	Cδ	Dε	Eα	Aβ	Bγ
	3	Eβ	Aγ	Bδ	Cε	Dα
	4	Bε	Cα	Dβ	Eγ	Aδ
	5	Dγ	Eδ	Aε	Bα	Cβ

У табл. 1 прийнято такі позначення:

X<sub>1</sub> – кількість наповнювача, %; X<sub>2</sub> – кількість модифікатора, %; А, В, С, D, E – вид модифікатора; α, β, γ, δ, ε – вид наповнювача.

Модифікатор:

A – поліорганосилоксанова рідина;

B – ФФО;

C – рециклат, отриманий гліколізом відходів ПЕТФ;

D – інденкумаронова смола;

E – низькомолекулярний поліамід.

Наповнювач:

α – деревне борошно

β – оксид кальцію

γ – тонко подрібнений гумовий порошок

δ – подрібнений пінополіуретан;

ε – целюлозомісткий матеріал.

Одиничні експерименти проводили, здійснюючи рандомізацію стовпчиків і рядків квадрату, тобто перебираючи варіанти комбінації названих факторів по стовпчиках і рядках таблиці 1, змінюючи їх якісне (по виду – А, В, С, ... α, β, γ, ...) та кількісне (по концентрації – 10, 18, 26, ... 1, 2, 3, ... ) значення – всього 25 комбінацій (замість 625 при повному факторному експерименті).

Згідно з даними [7] основними показниками оцінки властивостей композиційних матеріалів для основної устілки є "межа міцності при розтягуванні", "жорсткість та стійкість до згинання при статичному згинанні" та "міцність утримування металевого прикріплювача". Саме ці показники виступають як критерії властивостей кожної з композицій у всіх серіях комбінацій. Отже, загальна кількість одиничних експериментів становила 75 шт. Експеримент проводився без повторних дослідів. Результати одиничних дослідів показника "межа міцності при розтягуванні" наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати досліджень показника "межа міцності при розтягуванні", МПа

X <sub>1</sub>		Кількість наповнювача, %				
		10	18	26	34	42
X <sub>2</sub>	1	17,8	18,1	19,4	19,3	17,5
	2	19,4	17,3	18,6	22,4	21,3
	3	17,1	21,4	21,5	25,1	24,1
	4	19,0	20,7	18,4	19,7	23,9
	5	17,2	17,8	21,2	23,3	22,6

Для оцінки достовірності отриманих експериментальних даних та здійснених розрахунків проведено дисперсійний аналіз результатів експериментів по кожному з показників. За показником "межа міцності при розтягуванні" результати аналізу наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Дисперсійний аналіз результатів експерименту

Джерело дисперсії	Число ступенів свободи	Сума квадратів	Середній квадрат	F-відношення	Табличне значення F-критерію для p=0,95 [8]
Рядки (кількість модифікатора)	4	30,397	7,599	7,976	6,39
Стовпчики (кількість наповнювача)	4	58,8377	14,709	15,438	6,39
Латинські літери (вид модифікатора)	4	40,758	10,189	10,694	6,39
Грецькі літери (вид наповнювача)	4	46,94	11,73	12,32	6,39
Залишок	4	3,811	0,953	–	–

Згідно з [8] при довірчому інтервалі  $p=0,95$  табличне значення  $F$ -критерію рівне 6,39. Оскільки усі розрахункові значення  $F$ -відношень більші за табличне значення, то отримані ефекти рядків, стовпчиків, латинських та грецьких літер квадрата по показнику "межа міцності при розтягуванні" значимі. При цьому на вказаний показник найбільший вплив мають: концентрація наповнювача (34 мас.ч), вид наповнювача (целюлозомісткий матеріал) та вид модифікатора (рециклат, отриманий гліколізом відходів ПЕТФ). Найменший вплив має концентрація модифікатора. При  $F = 7,976$  значення концентрації рециклату складає 3 мас. ч. Аналогічно проводилися дослідження композиційних матеріалів для основної устілки за показниками "жорсткість та стійкість до згинання при статичному згинанні" та "міцність утримування металевого прикріплювача". По кожному з показників властивостей композиційного матеріалу нами отримані оптимальні склади, які дещо відрізняються один від одного. Для отримання об'єданого оптимального складу як параметр оптимізації застосували функцію бажаності [9]. При цьому критеріями оцінки властивостей композиційного матеріалу для основної устілки вибрані ті ж самі показники: межа міцності при розтягуванні, жорсткість та стійкість до згинання при статичному згинанні, міцність утримування металевого прикріплювача. Вони з урахуванням їх кількості об'єднуються у функцію бажаності  $D$  за формулою:

$$D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}, \tag{1}$$

де  $d_1, d_2, d_3$  – локальні критерії бажаності, величина яких для кожного з показників розраховується за формулою:

$$d_i = e^{-e^{-y_i'}} \tag{2}$$

$y_i'$  – приведена величина локальних критеріїв, яка розраховується за рівняннями:

$$y_1' = -8,392 + 0,494y_1;$$

$$y_2' = 19,97 - 0,34y_2;$$

$$y_3' = -2,5 + 1,3y_3,$$

де  $y_1$  – межа міцності при розтягуванні;  $y_2$  – жорсткість та стійкість до згинання при статичному згинанні;  $y_3$  – міцність утримування металевого прикріплювача.

Результати розрахунків комплексного показника  $D$  за формулою (1) представлені у табл. 4.

Таблиця 4. Результати розрахунків комплексного показника  $D$

X <sub>1</sub>		Кількість наповнювача, %				
		10	18	26	34	42
Кількість модифікатора, %	1	0,738	0,730	0,851	0,825	0,738
	2	0,821	0,694	0,758	0,672	0,670
	3	0,527	0,782	0,889	<b>0,963</b>	0,886
	4	0,819	0,871	0,679	0,791	0,859
	5	0,595	0,680	0,936	0,914	0,703

**0,963**

Примітка. – об'єднаний комплексний показник, який визначає оптимальний склад композиції.

Як видно із табл. 4, найкращий комплексний показник  $D = 0,963$ . Це значення знаходиться у межах інтервалу  $D = 0,8...1,0$  – "допустимий та високий рівень якості" [9]. Отже, можна зробити висновок, що оптимальний склад композиційного матеріалу для основної устілки спеціального взуття такий:

- вид наповнювача – целюлозомісткий матеріал;
- кількість наповнювача – 34 %;
- вид модифікатора – рециклат, отриманий гліколізом відходів ПЕТФ;
- кількість модифікатора, 3 %.

Для перевірки розрізнення середніх значень для значимих факторів застосовували множинний ранговий критерій Дункана [8]. Розрахунки цього критерію щодо композицій для виготовлення основної устілки виявили наступні ряди переваг:

по наповнювачу: целюлозомісткий матеріал > деревне борошно > подрібнений гумовий порошок > оксид кальцію > подрібнений пінополіуретан;

по модифікатору: рециклат, отриманий гліколізом відходів ПЕТФ > поліорганосилоксанова рідина > фенолформальдегідний олігомер > інденкумаронова смола = низькомолекулярний поліамід.

Із врахуванням наведених вище розрахунків та рядів переваг пропонуються такі склади композицій для виготовлення основної устілки (мас. ч):

- агломерат відходів подрібненої плівки з поліетилену високого тиску (ПЕВТ) – 100;
- модифікатор (рециклат, отриманий гліколізом відходів ПЕТФ) – 1 ÷ 5;
- наповнювач (целюлозомісткий матеріал) – 26 ÷ 42.

Такий склад композиційних матеріалів, згідно із здійсненою оптимізацією, забезпечить відповідність властивостей термопластичного композиційного матеріалу діючим нормативам по вказаних вище трьох основних показниках. З метою оптимізації складу матеріалу для виготовлення задника спеціального взуття здійснили аналогічне математичне планування експерименту. Тільки в даному випадку замість подрібнених відходів гуми вибрали подрібнені відходи кополімеру етилену та вінілацетату (ЕВА). Крім того, для забезпечення необхідних властивостей матеріалу задавали:

1. Межі варіювання факторів:

- по наповнювачу – 5 ÷ 40 мас. ч.;
- по модифікатору – 1 ÷ 5 мас. ч.

В результаті проведеної оптимізації та дисперсійного аналізу результатів експериментів по кожному з основних показників – "формостійкість", "здатність до формування" та "стійкість до осідання" отримали такі склади композицій для виготовлення задника спецвзуття (мас. ч):

- агломерат відходів подрібненої плівки з поліетилену високого тиску (ПЕВТ) – 100;
- модифікатор (поліестерний олігомер молекулярною масою 2200-3700, отриманий гліколізом відходів поліетилентерефталату) – 1 ÷ 3;
- наповнювач (подрібнені відходи кополімеру етилену та вінілацетату) – 25 ÷ 35.

Наведений склад композиційних матеріалів може забезпечити відповідність властивостей термопластичного композиційного матеріалу діючим нормативам щодо задника спецвзуття по вказаних вище трьох основних показниках.

### **Висновки**

Таким чином, засобами математичного планування експерименту здійснені вибір і оптимізація компонентів термопластичних композиційних матеріалів для виготовлення основної устілки та задника спеціального взуття, які забезпечують відповідність їх фізико-механічних властивостей нормативним показникам.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Rhonoflex GmbH // Schuh–Techn. Int [Schuh–Techn. + abc]. – 1997.– 91, № 4. – P. 19.
2. Für Kappen und Brandsohlen // Schuh–Techn. Int [Schuh–Techn. + abc]. – 1998.– 92, № 1–2. – S. 32.
3. Vielseitiger Thermoplast // Schuh–Techn. Int. [Schuh–Techn. + abc]. – 1997. – v. 91, № 5–6. – S. 48.
4. Neuheit von Texon // Schuh–Techn. Int. [Schuh–Techn. + abc].—1996.—90, № 11–12. — P. 40.
5. Пат. 2300795 Великобританія, МПК7 А 43 В 13/41. Insol / Simcox; British United Shoe Machinery LTD.—№ 9509737.4; Заявл. 13.5.95; Опубл. 20.11.96.
6. Brand– und Deckbrandsohle mit Dämpfungseffekt // Schuh–Techn. Int [Schuh–Techn. + abc]. – 1998. – 92, № 3. – S. 37.
7. Дослідження властивостей композиційних матеріалів для деталей спеціального взуття / Г. С. Лобанова, І. А. Мандзюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 5. – Технічні науки. – С. 187–191.
8. Применение греко-латинских квадратов в химической технологии / Е. В. Маркова – М. : Химия, 1976. – 117 с.
9. Планирование эксперимента в машиностроении : справочник / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Мн. : Высш. школа, 1985. – 286 с.

Надійшла 13.07.2010

УДК 685.34.07

## **АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПРОЦЕСУ БАЗУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СКЛАДАННІ ЗАГОТОВОК ВЕРХУ ВЗУТТЯ**

**І.С. МАЙДАН, Г.М. ДРАПАК**

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

*У статті проводиться аналітичне дослідження точності процесу базування деталей при складанні заготовок верху взуття з системою відліку координат з умовного центру деталей. Проаналізовано фактори, які впливають на похибки розташування осей деталей, що спрягаються, з базовими. Запропоновано геометричні параметри за допомогою яких можливо характеризувати точність спряження деталей перед їх складанням у виріб*

Головним фактором, що визначає якість складання деталей верху взуття у заготовку є відсутність їх зміщень і перекосів в отриманих з'єднаннях [1]. Тому при складанні деталей у виріб виконується операція їх попереднього базування. Як відомо [2], базування – це процес, в результаті якого