

О.С. Берегова, В.К. Постіженко, Н.І.Берегова
 Національний технічний університет України «КПІ»
 Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИГОТУВАННЯ МОДЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ НА МІЦНІСТЬ МОДЕЛЕЙ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

При виготовленні виливків відповідального призначення типу лопаток ГТД, які отримують методом лиття за моделями, що витоплюються, висувуються підвищені вимоги до формувальних матеріалів, зокрема до модельних композицій. На показники міцності модельної суміші впливає оптимальне процентне співвідношення компонентів та дотримання усіх технологічних параметрів її приготування. За допомогою математичних методів числового моделювання визначено оптимальний час, температуру та швидкість перемішування модельної композиції для отримання найвищих показників міцності.

Розробка та оптимізація властивостей модельних матеріалів є важливим питанням ливарного виробництва, актуальність якого визначається значними матеріальними і часовими затратами на виготовлення виливків з дорогих жаростійких і жароміцних сплавів на основі хрому і нікелю методом лиття за моделями, що витоплюються.

Найбільш перспективними для виготовлення складних високоточних виливків вважаються модельні композиції на основі легкоплавких парафіноподібних продуктів нафтопереробки з додаванням складних низькотемпературних полімерів. Такі модельні суміші є недефіцитними, недорогими, мають високі технологічні показники, не вимагають кардинальної зміни основної технологічної схеми виготовлення моделей.

Таблиця 1.

Складові компоненти модельної суміші

№п.п	компонент	функція	формула	властивості			
				щільність, г/см ³	Температура плавлення, °С	лінійна усадка, %	міцність при стиску, МПа
1.	парафін	взаємний розчинник	$C_nH_{(2n+2)}$	0,90-0,95	50-51	0,3-1,0	0,4-0,5
2.	церезин	розчинник	від $C_{36}H_{74}$ до $C_{55}H_{112}$	0,91-0,94	65-88	-	-
3.	поліетиле н (поліетиле новий віск)	зміцнювач	$(CH_2 - CH_2)_n$	0,92-0,95	104-115	2,0-3,0	12-16
4.	севілен 11306-075	пластифікатор	$(CH_2)_n$	0,93-0,95	130-135	-	12-14

На основі аналізу існуючих модельних матеріалів, їх властивостей, переваг та недоліків були вибрані компоненти нової суміші (табл. 2), кожен з яких виконує певну функцію. За основу був взятий парафіно-церезиновий розплав у пропорції 3:1, так як ці компоненти добре сплавляються один з одним уже при температурі 70-80°C, надають моделям пластичності та тріщиностійкості, церезин сприяє підвищенню теплостійкості. До недоліків можна віднести невелику міцність (5,0 – 10,0МПа), значну усадку (1,2 – 2%), недостатню теплостійкість (не вище 28-32 °С) [1].

Для підвищення властивостей суміші до неї було вирішено додати поліетилен, який добре сплавляється із парафіном і церезином при температурі 115-122°C та збільшує термостійкість і

міцність парафіну в 1,5-2 рази. Недоліки поліетилену - значна усадка (до 3 %), підвищена в'язкість в розплавленому стані, що знижує рідкотекучість модельного складу.

В подальшому поліетилен був замінений поліетиленовим воском, який виконує ті ж функції, що і поліетилен, крім того, за рахунок ланцюгових насичених молекул оптимальної довжини (C20-70), підвищує каркасність модельної суміші, що, в свою чергу, сприяє зменшенню усадкових дефектів. Оптимальний процентний вміст поліетиленового воску складає 5-10%.

У вітчизняній промисловості досить широко використовуються модельні суміші із парафіну, церезину і поліетиленового воску, проте всі вони мають ряд недоліків. Додавання до модельної суміші севілену дозволяє покращити реологічні властивості модельної суміші, а також стабілізувати її структуру. Додається в суміш кількості 0,1 – 1% [1,2,4,5].

Для підвищення стабільності розмірів та міцності модельної суміші в її склад вводять наповнювач (газоподібний, рідкий чи твердий). Наряду з очевидними перевагами, наявність наповнювача значно ускладнює весь виробничий цикл. Необхідна заміна існуючого обладнання приготування модельної пасти або його повна модернізація; необхідно збільшувати зусилля пресування при виготовленні моделей в декілька разів; виникають труднощі при з'єднанні готових моделей в блоки; виплавка модельного складу вимагає більш високих температур, що може призвести до розтріскування оболонки; неможлива повна регенерація модельного складу. Це призводить до здороження готових виливків, і, відповідно, до зниження їх конкурентної здатності в умовах світового ринку [2].

Єдиний наповнювач, використання якого не вимагає кардинальної зміни виробничого циклу – це повітря. Його кількість може коливатись в межах 10-20%, а в деяких випадках досягає і 40%.

Розплавлену модельну суміш охолоджують до певної температури і перемішують до досягнення нею «сметаноподібного» стану. Потім пасту під тиском 0,2-0,4МПа запресовують в прес-форму. Після зняття напруження повітря, яке знаходиться в модельному складі, прагне розширитись і компенсує усадку модельного складу. Крім того, моделі мають меншу щільність, а, відповідно, і вагу, що значно полегшує їх експлуатацію та зберігання [3].

Аналіз останніх досліджень показав, що процес замшування повітря і вплив його кількості на фізико-механічні властивості модельних сумішей розглядався і раніше.

Як правило, підвищення кількості повітря для більшості модельних складів, що використовуються вітчизняною промисловістю, призводить, з однієї сторони, до зменшення усадкових процесів, але з іншої – до значного падіння інших фізико-технологічних показників, зокрема міцності при згині.

Так встановлено, що для модельних складів на основі парафіну і стеарину (рис 1. крива 1) при 20% вмісту повітря міцність падає в 4 рази у порівнянні з міцністю модельного складу без повітря [3]. Приблизно таку ж лінійну залежність ми спостерігаємо і для інших модельних сумішей на основі мінеральних восків і продуктів переробки природної сировини (рис 1. крива2,3).

Як правило, модельні композиції на основі парафіну являють собою суміш великої кількості складних вуглеводнів змінного складу із значною частиною кристалічної фази. Падіння міцності можна пояснити тим, що в модельному складі з кристалічною структурою бульбашки повітря є концентраторами напружень і при збільшенні навантаження вони сприяють руйнуванню готової моделі [4]. Тому модельна суміш повинна мати кристалічну структуру (для забезпечення необхідної міцності, твердості і жорсткості) зі значною кількістю аморфної фази, яка надасть їй необхідної еластичності та гнучкості. Така суміш повинна гарно акумулювати повітря, а навкруг його бульбашок будуть утворюватись реакційно-здатні групи.

В роботі були проведені дослідження впливу процентного вмісту повітря на фізико-механічні характеристики модельного складу «ВЕЛЕН» на основі парафіну, церезину та складних синтетичних вуглеводнів. Як уже було відзначено раніше, особливістю створеного нами модельного складу є те, що при його приготуванні в суміш розплавленого парафіну і церезину певним способом і при певній температурі вводиться поліетиленовий віск і севілен [6,7].

З точки зору структуроутворення, парафін та церезин утворюють кристалічну основу, досить пластичну та не схильну до тріщиноутворення. Поліетиленовий віск, завдяки ланцюговим насиченим молекулам оптимальної довжини (C20-70), підвищує каркасність модельного складу, а також міцність і теплотривкість парафіну, покращує реологічні характеристики складу в цілому.

Севілен має підвищену еластичність, адгезію до інших речовин, виконує функцію пластифікатора [8].

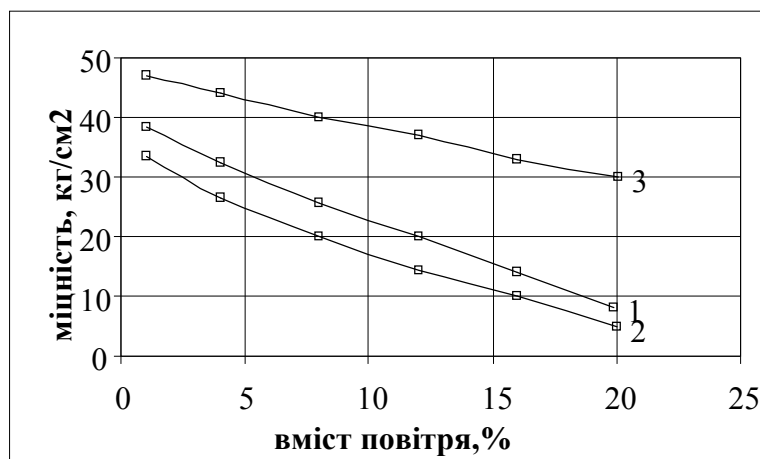


Рисунок 1 – Залежність міцності модельного складу від вмісту повітря: 1 – модельний склад на основі парафіну і стеарину в співвідношенні 1:1 по масі; 2 – модельний склад на основі парафіну і жирних кислот в співвідношенні 1:1 по масі; 3 – модельний склад на основі парафіну, стеарину і буровугільного воску в співвідношенні 5:2:3 по масі

Парафін і церезин – кристалічні речовини, що відносяться до групи складних вуглеводнів, макромолекули яких об'єднані між собою міцними хімічними зв'язками (рис.2а,б). Після введення в розплав синтетичних полімерів в ньому відбуваються процеси полімеризації, тобто утворення нових надмолекулярних структур. При чому ці процеси протікають не лише під час приготування модельної суміші, а ще і протягом доби після її заливання в блоки і кристалізації. Механізм протікання процесів полімеризації можна пояснити наступним чином.

Як правило, складні довгі молекул полімеру мають форму глобул (рис.2в), але при певних термодинамічних умовах вони здатні об'єднуватись в більш складні надмолекулярні структури - пачки. зазвичай, такий процес вимагає високих температур і тисків. Проте, в даному випадку молекули полімеру можуть об'єднуватись не тільки між собою, але і з молекулами основи (парафіну і церезину), довжина яких значно менша, а структура – кристалічна. Якщо пачка складається з регулярних макромолекул, то при відповідних термодинамічних умовах в ній відбудеться кристалізація, тобто молекули розподіляться таким чином, щоб створити просторову решітку. При цьому між пачками залишаються «вільні» макромолекули, які здатні відносно легко міняти свою орієнтацію в просторі, за рахунок чого спостерігаємо високі реологічні властивості модельної маси[9]. Модельна суміш «ВЕЛЕН» має кристалічну структуру зі значною кількістю аморфної фази (рис.2г)

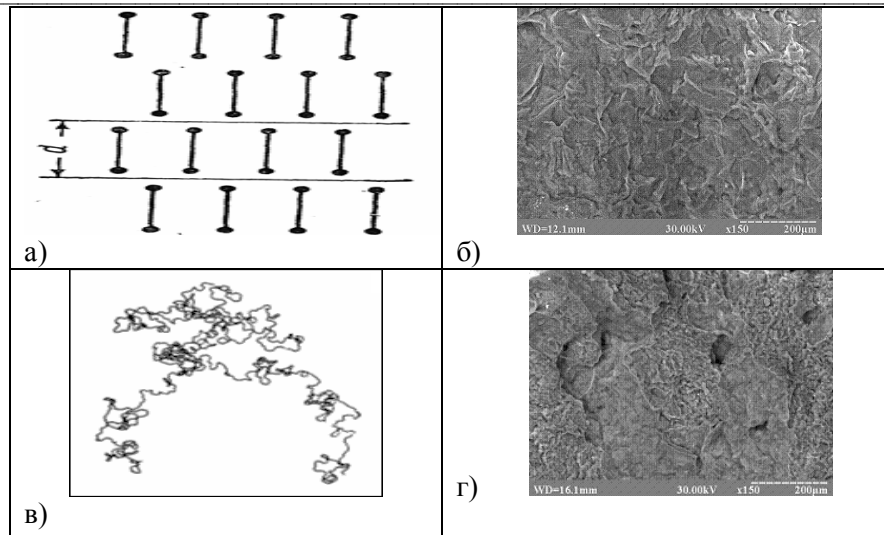


Рисунок 2 – а) упаковка молекул в кристалах парафіну; б) структура парафіно – це резинового модельного складу в співвідношенні 7:3 відсотків по масі; в) модель молекули поліетилену; г) структура модельного складу «Велен»

Експериментальним шляхом було встановлено, що для молельних сумішей марки «ВЕЛЕН» використання повітря в якості наповнювача не лише сприяє зменшенню усадкових процесів, але і впливає на підвищення міцності при його певному процентному вмісті.

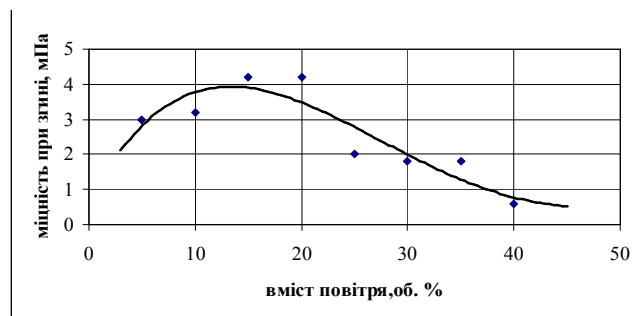


Рисунок 3 – Залежність Показників міцності модельного складу «ВЕЛЕН» від процентного вмісту повітря (по об'єму)

Цікаві дані були отримані відносно впливу кількості повітря на міцність. Так, при збільшенні процентного вмісту повітря до 10-15% спостерігаємо підвищення міцності з 3,6 до 4,2МПа, після чого відбувається стрімкий перехід і міцність падає (рис.3,б).

Ці дані можна пояснити наступним чином. Завдяки введенню в парафіно-церезинову суміш полімерів (поліетиленового воску і севілену) ми отримуємо кристалічну структуру щільно упакованих ненасичених молекул вуглеводнів з включеннями довгих молекул полімеру. При наявності в розплаві модельної суміші бульбашки повітря навкруги неї виникає реакційно здатна функціональна група вторинних надмолекулярних структур.

Операція замішування повітря в модельний склад є складним процесом, що залежить від багатьох факторів. Наявність пасту з нестабільним вмістом в ній повітря призводить до нерівномірної усадки моделей, а це в свою чергу до підвищеного розсіювання розмірів моделей. Існують установки для приготування модельної пасту, де вміст повітря можна регулювати автоматично. У нашій роботі ми використовували установку з лопатевим змішувачем, тому необхідно було дослідити вплив часу, температури та швидкості перемішування на кількість замішаного повітря.

В результаті проведених експериментальних досліджень та побудові мат.моделі було встановлено, що найбільший вплив на кількість замішаного повітря має час перемішування (рис. 4.), тоді як температуру і швидкість перемішування можна вибрати в інтервалі 60-70°C и 75-100об/хв.. відповідно.

Математична модель має вигляд:

$$Y = 15.894 + 7.46739x_1 - 4.36098z_1$$

де:

$$x_1 = 0.0627451 \cdot (X_1 - 17.0625);$$

$$z_1 = 1.64632 \cdot ((x_1^2) - 0.0907563 \cdot x_1 - 0.605536);$$

Модель адекватна

Інформативність моделі ДУЖЕ ВИСОКА

Доля участі:

$x_1 - 0,77922$

$z_1 - 0.197445$

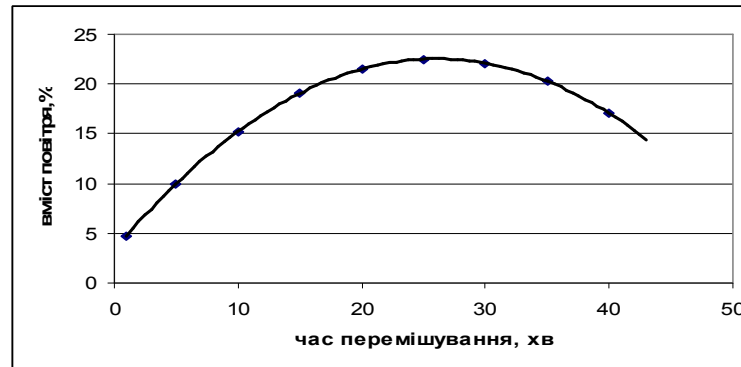


Рисунок 4 – Залежність кількості повітря модельного складу від часу перемішування

Дослідження зламу зразків на електронному мікроскопі РЕМ-140 в поляризованому світлі показало, що на фізико-механічні показники модельної суміші впливає не лише кількість замішаного повітря, але і ступінь його розподілення по об'єму зразка, а також форма і розмір бульбашок повітря.

Дослідження макроструктури зразків показали, що при недостатньому часі перемішування та при невиконанні температурно-швидкісних параметрів повітря розподіляється по об'єму нерівномірно, утворюючи пустоти неправильної форми, що в подальшому може призвести до руйнування готової моделі (рис.5а).

Для усунення таких видів браку як недоливи, утяжини, тріщини і т.д., моделі повинні мати розсіяну дрібнодисперсну відкриту пористість, при чому в тонких частинах – меншу, в масивних – більшу (рис. 5б,в)

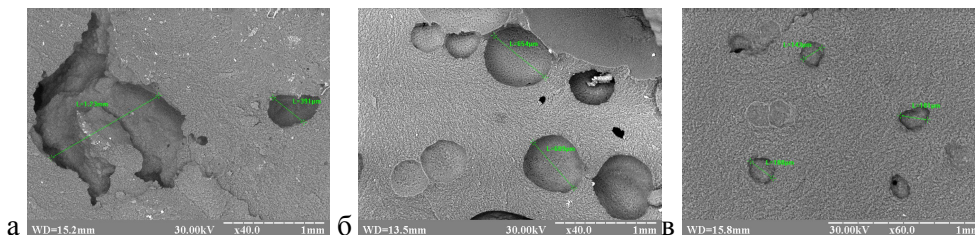


Рисунок 5 – Фотографії зламу зразка МС при збільшенні на мікроскопі РЕМ-2: а - зразок з низькою міцністю; б,в - звичайні зразки

На основі проведених досліджень процесу приготування модельного складу встановили, що для підвищення його фізико-механічних характеристик необхідно підібрати такі компоненти, які будуть гарно поєднуватись один з одним і виконувати свою певну функцію. Аналіз матеріалів, що використовуються в якості наповнювача дозволив визначити, що оптимальним наповнювачем є повітря, використання якого не вимагає кардинальної зміни основної технологічної схеми виробництва виливків, при цьому дозволяючи отримати пористі моделі, що витоплюються з високими показниками міцності і теплопровідності та малою усадкою.

Таким чином задача покращення експлуатаційних властивостей модельного складу для виготовлення моделей особливо складної конфігурації вирішується за рахунок: оптимізації процентного співвідношення компонентів; забезпечення температурно-часових параметрів виготовлення модельної суміші; регулювання кількості повітря модельної суміші за рахунок зміни часу, перемішування при оптимальній температурі та швидкості перемішування модельної пасти в установках з лопатевими мішалками.

Модельна суміш «Велен-дослідна» та запропоновані технологічні вирішення покращення її властивостей знайшли широке застосування на вітчизняному підприємстві «ЗОРЯ-Машпроект» та можуть бути реалізовані на існуючому обладнанні без додаткових фінансових вливань.

Модельні суміші на основі складних вуглеводнів є перспективними модельними матеріалами, властивості яких відрізняються від властивостей відомих МС. Вони вимагають подальшого детального вивчення з метою їх широкого використання в промисловості.

1. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. - Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056с.
2. Деклараційний пат. на корисну модель 31222 Україна, МПК (2006) В22С 7/00. Модельна суміш/ Постіженко В.К., Берегова О.С. – Заявл. 25.12.2007; Опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6
3. Деклараційний пат. на корисну модель 31228 Україна, МПК (2006) В22С 7/00. Спосіб отримання модельног складу/ Постіженко В.К., Берегова О.С. – Заявл. 25.12.2007; Опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6
4. Рыбкин В.А. Основные направления развития литья по выплавляемым моделям // Литейное производство. – 1997. - №6. – с.19-22
5. Бутузов А.В. Основы конструирования автоматизированных линий для производства литья по выплавляемым моделям. – М: МАИ, 1970. – 64с
6. Управление структурой и свойствами пористых комбинированных удаляемых моделей [Текст] : монография / И. Г. Сапченко, С. Г. Жилин, О. Н. Комаров. - Владивосток : Дальнаука, 2007 (Владивосток) . - 137 с.
7. О.Г. Оспенникова, А.Н. Шутов, Л.В. Пикулина, А.М. Душкин, «Модельные композиции на основе синтетических материалов для литья лопаток ГТД», Литейное производство, 2003, №1, 21-23
8. Гуль В.Е, Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. Учеб. для хим.-технолог. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Лабиринт», 1994. – 367с: ил.