УДК 621.744:674.816 DOI: https://doi.org/10.26661/2071-3789-2023-1-10

Воденнікова Оксана Сергіївна, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0003-0496-5435
Скідін Ігор Едуардович, старший викладач, кандидат технічних наук, Криворізький національний університет, ORCID: 0000-0003-3247-473X
Воденнікова Лариса Володимирівна, асистент, Запорізькій державний медико-фармацевтичний університет, ORCID: 0000-0002-1602-8257

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА

Запропонована схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва (тирси). Як майстер-модель використовується вже існуюче модельне оснащення. По майстер-моделі виготовляється промислова модель (форма), яка заповнюється методом ущільнення з навантаженням 2 МПа модельною сумішшю. Модельна суміш складається з відходів деревообробного виробництва та матеріалів, що пов'язують – смоли марки БС-40, рідкого скла та гіпсу марки Г-10. Застосування моделей з відходів деревообробного виробництва в порівнянні з традиційними (дерев'яною, металевою, пластиковою моделями) має ряд істотних переваг: виготовлення модельних комплектів у найкоротші терміни з мінімальними витратами на механічну обробку та без використання додаткового обладнання; нижча вартість порівняно з металевим оснащенням; висока зносостійкість, що не поступається пластиковим моделям; висока ремонтопридатність; точність, стабільність розмірів та конфігурації моделі протягом тривалого терміну служби; мінімальне зусилля знімання при формуванні, завдяки унікальним протиадгезійним властивостям за рахунок суміші для просочення, практично виключає необхідність використання розділових покриттів як при формуванні піщано-глинистих сумішей, так і при виготовленні форм та стрижнів сумішей; можливість тиражувати по одній майстер-моделі необмежену кількість моделей з абсолютно точним відтворенням еталона. Проаналізовано вплив виду та кількості матеріалу, що пов'язує, на фізико-механічні властивості моделей. Показано, що застосування смоли та тирси у співвідношенні 1,25:1 дозволяє збільшити міцність на стискання до 30 кгс/см^2 та межу міцності на стискання до 0,0153 кгс/см^2. Це обумовлено тим, що в результаті використання смоли, утворюється більш міцний каркас моделі, що майже не поступається характеристикам міцності деревини (сосні). Розглянуто вплив гранулометричного складу компонентів модельної суміші – рідке скло та тирса у співвідношенні 2:1 на фізико-механічні властивості готових моделей. Показало, що збільшення фракції суміші рідке скло та тирса з 0,25 до 2 мм збільшує межу міцності на стискання в 3 рази.

Ключові слова: модельний комплект, дерев'яна модель, ливарна модель, модельне оснащення, модельна суміш, відходи деревообробного виробництва

Вступ. Відомо, що ливарні форми виготовляються по моделях, що відтворюють зовнішні контури виливка [1] та класифікуються залежно від матеріалу, з якого вони виготовлені, та стана при заливці [2]. Близько 60 % ливарних деталей, що йдуть на виготовлення машин, верстатів, різних механізмів та пристроїв, отримують за допомогою дерев'яних моделей [3].

Розміри ливарної моделі повинні бути більше відповідних розмірів виливка на величину ливарної усадки сплаву, при цьому розміри виливка визначають, виходячи також з припусків на його подальшу механічну обробку [4]. Для різних металів і сплавів величина усадки становить від 1 до 2,5 % [5].

© О.С. Воденнікова, І.Е. Скідін, Л.В. Воденнікова, 2023

На сьогодні зазвичай моделі виготовляють з металу та деревини. Кращими породами деревини для виготовлення моделей є тверді породи (дуб), однак дерев'яні моделі та стрижневі ящики недовговічні. Вони застосовуються при індивідуальному, дрібносерійному та великому литтях [6]. Основними факторами при виборі породи деревини для виготовлення модельних комплектів є механічні характеристики матеріалу і клас міцності моделі [7].

Постановка проблеми. Сьогодні одним з найбільш відповідальних етапів у ливарному виробництві є точне виконання оснащення для виготовлення ливарної моделі (зокрема, дерев'яної) з метою скорочення тривалості виготовлення модельних комплектів, зменшення трудомісткості виготовлення та ремонту моделей, зменшення енергозатрат та відповідно зменшення собівартості виливку [8]. Залежно від дбайливості експлуатації, правильності догляду з використанням антиадгезійних мастил дані оснащення можна застосовувати до 500 циклів. Іноді оснащення в найбільш зношуваних місцях посилюють металом або полімерним матеріалом [9].

Відомо, що сучасні технології дозволяють швидко та якісно виготовити модельно-стрижневе оснащення з відходів деревообробного виробництва з додаванням матеріалів, що пов'язують, для виробництва виливків середньої та високої складності. Оснащення з цих матеріалів може використовуватися як для технології формування в піщано-глинисті суміші, так і в холодно-тверді суміші (ХТС) і рідко-скляні суміші (РСС). Оснащення з відходів деревообробного виробництва є проміжним напрямком між дерев'яним та пластиковим оснащенням, виграючи у співвідношенні «швидкість виготовлення/вартість».

Тому з метою зменшення собівартості виливку у роботі пропонується удосконалити технологію виготовлення ливарних моделей шляхом використання відходів деревообробного виробництва.

Мета роботи – пошук альтернативної технології виготовлення ливарної моделі з відходів деревообробного виробництва, як замінника дерев'яної моделі, для енерго-та ресурсозбереження.

Матеріали та методика дослідження. «Класичною» сировиною для виготовлення дерев'яної моделі є сосна (ДСТУ EN1927-2:2019 [10]). При виготовленні ливарної моделі з відходів деревообробного виробництва – тирси (ДСТУ 2034-92 [11]) як матеріал, що пов'язує, використовували смолу марки БС-40 (ТУ 2223-016-58948815-2004), рідке скло ($Na_2O(SiO_2)$ n) (ГОСТ 13078-2021 [12]) та гіпс марки Г-10 (ДСТУ Б В.2.7-82:2010 [13]) (табл. 1). Як каталізатор для смоли використовували ортофосфорну кислоту (H_3PO_4)), для рідкого скла – ферохромовий шлак (48–54 % CaO; 20–30 % SiO_2; 4–8 % Al_2O_3; 7–12 % MgO; 2–12 % Cr_2O_3; 0,1–2 % FeO) та для гіпсу – комплексний модифікатор гіпсу КМГ-25 (ТУ У В-2.7-19266746.001–96).

Виготовлення комплекту модельного виконували згідно з ГОСТ 13354–91 [14] та ГОСТ 3212–92 [15]. Для зниження адгезії поверхню моделей просочували (модифікували) гідрофобною рідиною на основі трансформаторного масла з додаванням парафіну, розчиненого в ефірі. Це сприяє позбавленню прилипання формувальної піщано-глинистої суміші до модельного комплекту.

Для підготовки модельних сумішей використовували змішувач чашковий катковий LM-2e. Зерновий склад тирси визначався за допомогою гранулометричного аналізу. Навіска 50±0,01 г піддавалася розсіюванню на ротапі АС-200У. Вологість тирси перевіряли за стандартною методикою. Для сушки використовували муфельну лабораторну шафу типу СНОЛ-7,2/1300. Висушування навіски деревини (близько 1 г) у скляному бюксі проводили до постійної маси за температури 100–105 °С.

Таблиця 1 – Склад модельної суміші та характеристики мі цності зразків

№ зразка	Склад модельної суміші	Співвідношення компонентів модельної суміші	Міцність на стискання, кгс/см^2	Межа міцності на стискання, кгс/см^2
Вихідний	сосна		49,8	0,0253
Режим № 1				
1	рідке скло:тирса	2,0:1,0	11,0	0,0056
2	рідке скло:тирса	1,75:1	6,5	0,0033
3	рідке скло:тирса	1,5:1	4,5	0,0021
Режим № 2				
4	рідке скло:тирса:гіпс	2:1:0,25	4,3	0,0022
5	рідке скло:тирса:гіпс	1,75:1:0,2	4,0	0,0020
6	рідке скло:тирса:гіпс	1,5:1:0,2	3,7	0,0017
Режим № 3				
7	смола:тирса	1,5:1	32,4	0,0174
8	смола:тирса	1,25:1	30,1	0,0153
9	смола:тирса	0,65:1	20,0	0,0102

Питому поверхню деревини досліджували методом сорбції [16]. Враховуючи, що обсяг зразків у ході сорбції не змінювався, розраховували значення питомої поверхні деревини згідно з формулою:

$$S_{пит} = \frac{\Delta m \cdot 10^{-3}}{m_0 g M_r} N_A S,$$

де Δm – різниця між масою зразка в час сорбційної рівноваги та вихідною масою зразка, г; m_0 – вихідна маса зразка, г; g – щільність сорбату, води, г/см^3; m_r – молярна маса адсорбату, г/моль; N_A – число Авогадро, моль$^{-1}$; S – площа поперечного перерізу молекули адсорбату, м^2.

Крайовий кут змочування (Θ) визначали згідно з методикою [17]. Крайовий кут знаходився за допомогою пристрою, що дозволяє проєктувати зображення краплі на підкладці на екран у вигляді аркуша міліметрового паперу. Для обчислення крайового кута замірялася висота краплі r та її основа h. Тангенс крайового кута, коли крапля змочує поверхню субстрату, визначається згідно з формулою:

$$tg\Theta = \frac{2rh}{r^2 - h^2}.$$

Значення крайового кута Θ або cos Θ обчислювалися з допомогою таблиці тригонометричних величин. Водопоглинення деревини (W) досліджували згідно з ГОСТ 16483.20-72 [18]. Зразки для визначення водопоглинання мали розміри 30×30×10 мм (останній розмір – по довжині волокон). Зразки зважували перший раз через 2 години після початку витримування у воді, а потім кожні дві доби на протязі 30 днів. З отриманих даних будували діаграму водопоглинання та визначали максимальну вологість деревини. При дослідженні фізико-механічних властивостей ливарних моделей були виготовлені зразки у вигляді циліндра діаметром 50 мм та висотою 40 мм. Для виготовлення брикету на гідравлічному брикет-пресі типу ТН-514Weima застосовувалася проста прес-форма з одностороннім пресуванням. Фізико-механічні випробування деревини проводилися згідно з ДСТУ ISO 3129:2015 [19]. Усі моделі піддавалися перевірці на вміст формальдегіду згідно з ДСанПіН 8.2.1-181-2012 [20], в якому встановлено рівень виділення формальдегіду для деревини в межах 0,01 мг/м^3.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи теоретичний та практичний досвід ливарного виробництва [21–29], у роботі запропонована схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва (рис. 1), яка починається від підготовки сировини та закінчується отриманням готової моделі. Ретельна робота і початковий контроль всіх вихідних матеріалів (рис. 2) є обов'язковими для ливарних форм, що забезпечують подальше отримання високоточних та якісних виливків.

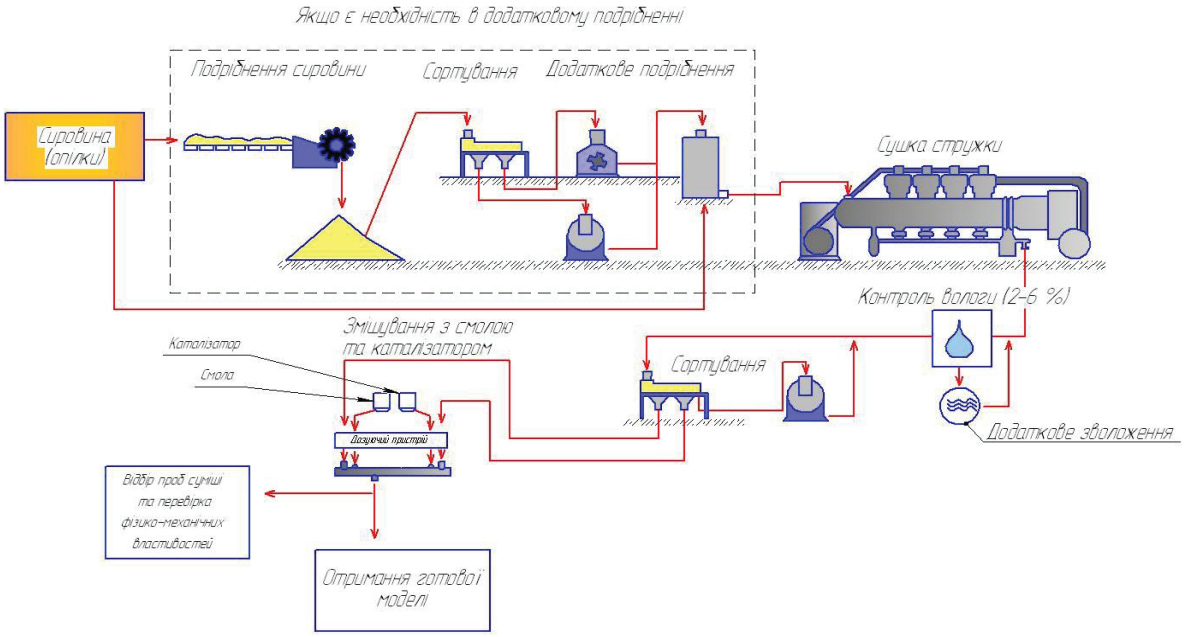


Рисунок 1 – Схема технологічного циклу виготовлення ливарних моделей з відходів деревообробного виробництва

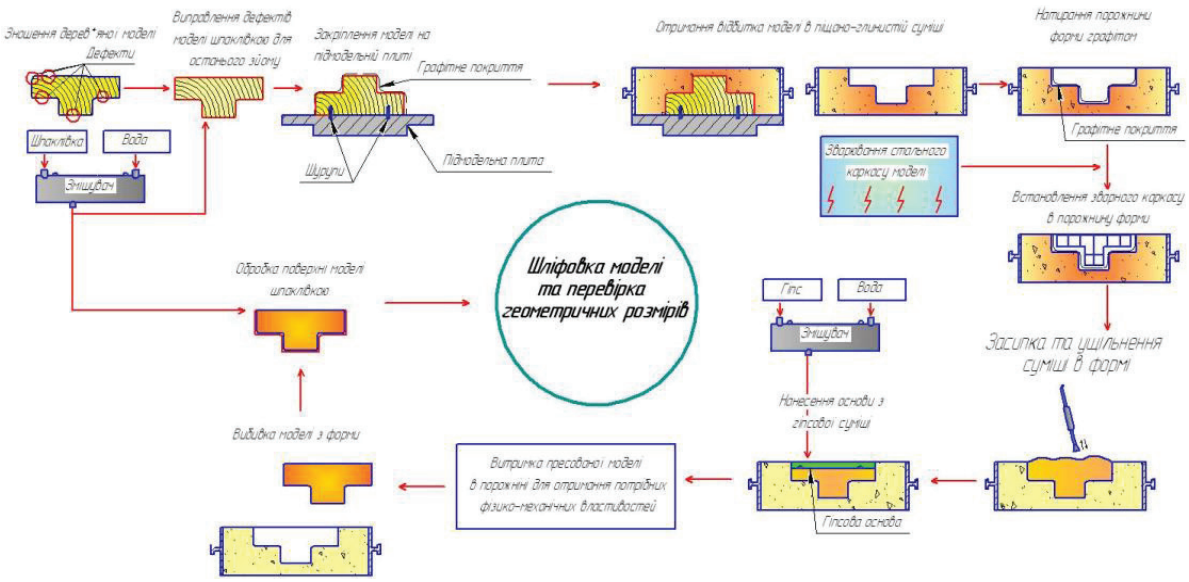


Рисунок 2 – Схема отримання готової моделі для ливарного виробництва

Як майстер-модель використовується вже існуюче модельне оснащення. По майстер-моделі виготовляється промислова модель (форма), яка заповнюється методом ущільнення з навантаженням 2 МПа модельною сумішшю. Після запресування

суміші в порожнину форми суміш обробляють каталізатором, щоб прискорити процес затвердівання смоли.

З метою збільшення характеристик міцності моделі можна використовувати металевий каркас з стального неіржавіючого дроту. Каркас встановлюється в порожнину форми, а потім запресовується сумішшю з тирси. Запресування суміші в порожнину форми виконується вібротрамбуванням або ручним трамбуванням. Після повної кристалізації суміші в порожнині форми модель виймають з форми.

Для подальшого використання моделі її необхідно облицювати шпаклівкою і зачистити наждачним папером різної зернистості (ISO 6344-2:2021 [30]). Після цього перевіряються усі розміри і якщо розміри відповідають заданим, то модель можна використовувати за призначенням.

Були проведені дослідження процесу адгезії глинястої суспензії до модельного комплекту, просоченого (модифікованого) покриттям на основі гідрофобної рідини. Покриття знижує крайовий кут змочування до краплі глинистої суспензії, яка присутня в формувальній суміші, що дозволить зменшити прилипаність формувальної суміші до модельного комплекту та поліпшить якість ливарної форми.

При приведенні досліджень водопоглинення слід відзначити, що краплі води, нанесені на поверхню немодифікованої деревини, зберігали свої контури протягом тривалого періоду, хоча крайовий кут змочування у разі був менше 90°. Краплі води, нанесені на поверхню модифікованих зразків не розтікалися тривалий час, що свідчить про зменшення полярності поверхні підкладки. Тобто встановлено, що водопоглинення зразків з відходів деревообробного виробництва менше, ніж вихідного зразка з сосни, для якого величина водопоглинання на протязі 30 діб збільшувалася до значень 135 %.

Порівняння крайового кута змочування немодифікованої деревини та модифікованої деревини показало на його зменшення зі значень cos Θ = 0,9344 (для вихідного зразка з сосни) до значень cos Θ = 0,9256 (для модельної суміші смола та тирса у співвідношенні 1,5:1).

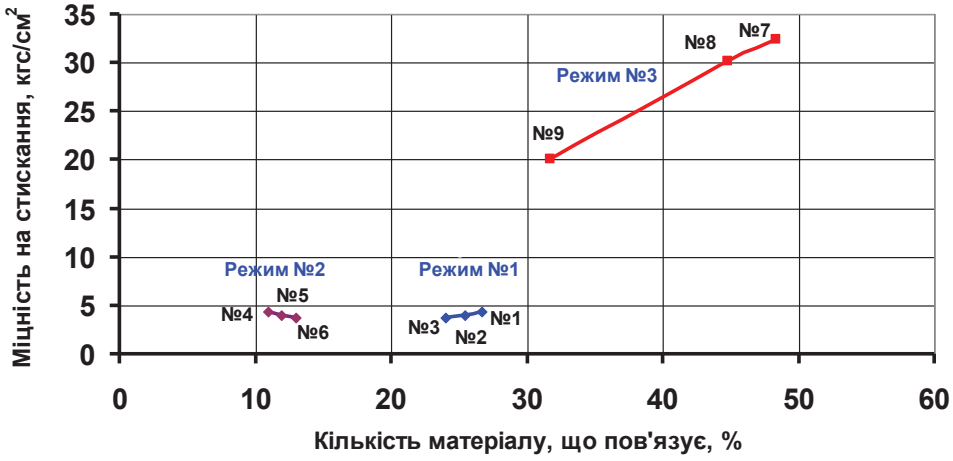
Додатково досліджувався вплив виду та кількості матеріалу, що пов’язує, на фізико-механічні властивості ливарних моделей. Так аналіз технологічного процесу випробувань міцності на стискання зразків № 1–№ 9 (рис. 3) показав, що руйнування зразків відбувається не однаково, що зумовлено насамперед співвідношенням кількості тирси до кількості матеріалу, що пов’язує. Зі збільшення кількості рідкого скла в суміші – збільшується міцність зразка, а також здатність до меншого тріщиноутворення (рис. 4).

Рисунок 3 – Технологічний процес випробувань міцності
на стискання зразків з відходів деревообробного виробництва

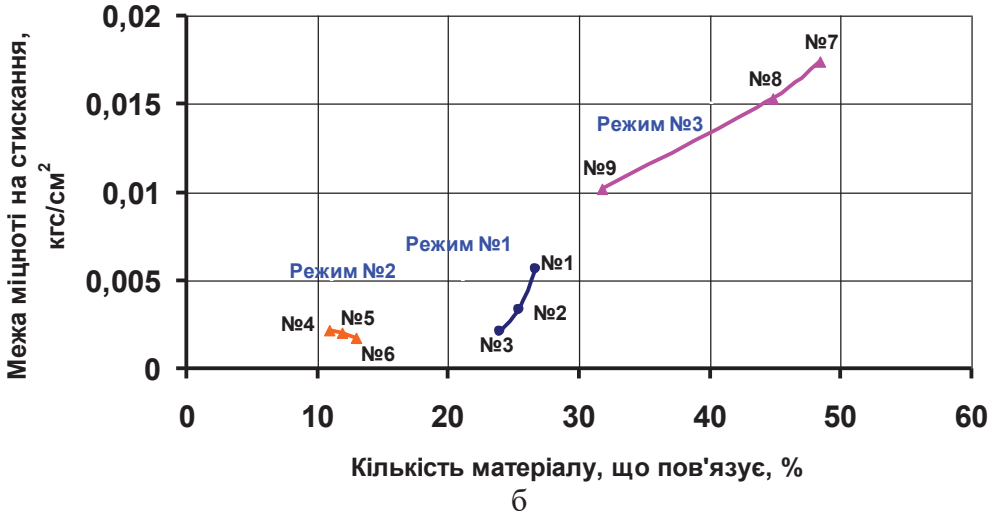
зразок № 6 зразок № 3 зразок № 7 вихідний зразок

Рисунок 4 – Загальний вигляд зруйнованих зразків з відходів деревообробного виробництва в залежності від складу модельної суміші

При використанні смоли як матеріалу, що пов'язує, (зразки № 7–№ 9) міцність на стискання та межа міцності на стискання зростають і становить до 32,4 кгс/см^2 та 0,0174 кгс/см^2 відповідно (табл. 1, рис. 5). Це обумовлено тим, що в результаті використання смоли, утворюється більш міцний каркас моделі, що майже не поступається за міцністю сосні.



а



б

а – міцність на стискання; б – межа міцності на стискання; режим № 1 – модельна суміш рідке скло та тирса (зразки № 1–№ 3); режим № 2 – модельна суміш рідке скло, тирса та гіпс (зразки № 4–№ 6); режим № 3 – модельна суміш смола та тирса (зразки № 7–№ 9)

Рисунок 5 – Залежність характеристик міцності модельної суміші від кількості матеріалу, що пов'язує

Дослідним шляхом встановлено, що максимальна кількість матеріалу, що пов'язую, досягає 48,3 % для модельної суміші смола та тирса у співвідношенні 1,5:1 (рис. 5, зразок № 7), а мінімальна – 10,9 % для модельної суміші рідке скло, тирса та гіпс у співвідношенні 1,5:1:0,2 (рис. 5, зразок № 6).

Слід зазначити, що для виробництва моделей використовують дерев'яні частки різної форми і розмірів. Характеристики міцності моделей із спеціально виготовленої (різаною) стружки дещо вище, ніж моделей зі стружки-відходів від стругальних верстатів і тирси при одній і тій же щільності і однаковій кількості доданого матеріалу, що пов'язує.

Зі збільшенням довжини стружки до 30–50 мм міцність моделі збільшується, при подальшому збільшенні довжини інтенсивність підвищення міцності різко падає. Однак довга стружка викликає труднощі при транспортуванні, змішуванні з матеріалом, що пов'язує, тому при виробництві моделей довжина стружки, як правило, не перевищує 2–4 мм. Із збільшенням ширини стружки міцність моделі падає, тому в практиці використовують стружку шириною до 5 мм. Ширина стружки має велике значення для отримання необхідного класу шорсткості поверхні моделі.

Таким чином, порівняльний аналіз межі міцності зразків з деревини та зразків з відходів деревообробного виробництва показали, що останні мають межу міцності в 1,65–4,5 рази нижче, ніж у вихідному зразку з деревини.

При дослідженні гранулометричного складу деревини та моделей з відходів деревообробного виробництва (табл. 2) було встановлено, що основна маса тирси складається зі фракції –1+0,5 мм та –0,5+0,25 мм, що становить відповідно 35,03 % та 40,45 % від загальної маси зразка. Збільшення фракції тирси з 0,25 до 2 мм призводить до збільшення межі міцності до 3-х разів.

Таблиця 2 – Гранулометричний склад відходів деревообробного виробництва (тирси)

Фракція тирси, мм	Маса тирси, г	Кількість тирси, %
+1,0	2,915	5,83
-1,0+0,5	17,515	35,03
-0,5+0,25	20,225	40,45
-0,25+0,16	5,840	11,68
-0,16+0,1	1,930	3,86
-0,1+0,071	1,005	2,01
-0,071+0,04	0,485	0,97
-0,04+0	0,085	0,17
Всього :	50,000	100,00

Аналіз впливу гранулометричного складу компонентів формувальної суміші рідке скло та тирса у співвідношенні 2:1 (зразок № 1) на фізико-механічні властивості готових моделей показав, що збільшення фракції суміші з 0,25 до 2 мм збільшує міцність на стискання та межу міцності на стискання в 3 рази (рис. 6).

Таким чином, застосування моделей з відходів деревообробного виробництва в порівнянні з традиційними (дерев'яною, металевою, пластиковою моделями) має ряд істотних переваг:

– виготовлення модельних комплектів у найкоротші терміни з мінімальними витратами на механічну обробку та без використання додаткового обладнання;

– нижча вартість порівняно з металевим оснащенням (за рахунок більш раціонального витрачання матеріалів та мінімальної трудомісткості виготовлення);

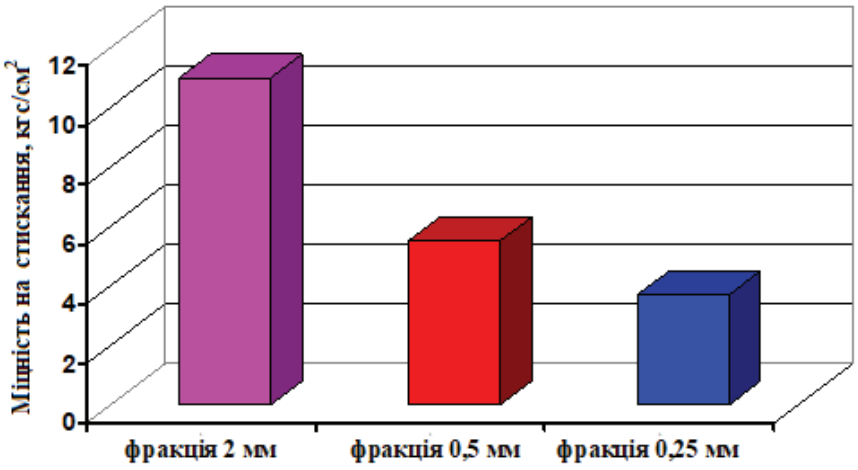
– висока зносостійкість, що не поступається пластиковим моделям;

– висока ремонтопридатність (тріщини, відколи та інше відновлюється тим же матеріалом, з якого виготовляється модель);

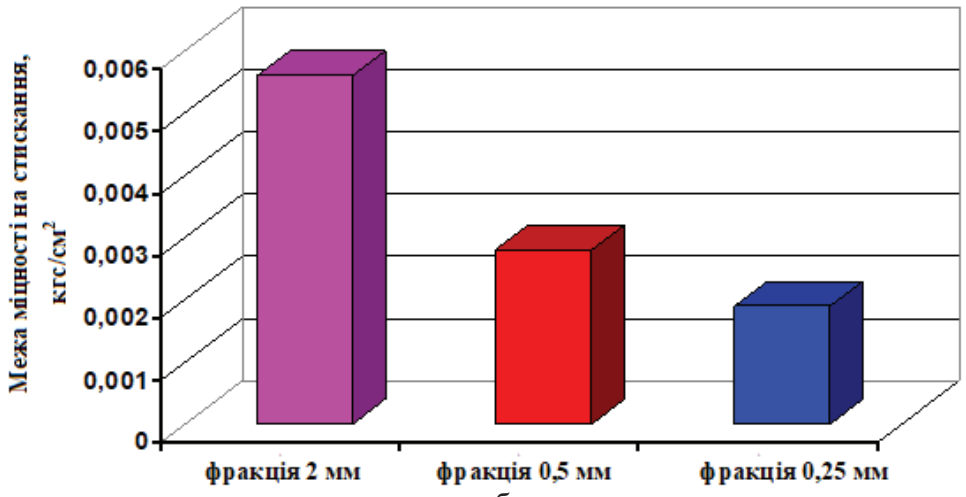
– точність, стабільність розмірів та конфігурації моделі протягом тривалого терміну служби;

– мінімальне зусилля знімання при формуванні, завдяки унікальним протиадгезійним властивостям за рахунок суміші для просочення, практично виключає необхідність використання розділових покриттів як при формуванні піщано-глинистих сумішей, так і при виготовленні форм і стрижнів сумішей;

– можливість тиражувати по одній майстер-моделі необмежену кількість моделей з абсолютно точним відтворенням еталона.



а



б

а – міцність на стискання; б – межа міцності на стискання
Рисунок 6 – Залежність характеристик міцності модельної суміші рідке скло та тирса у співвідношенні 2:1 від її фракції

Висновки. Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновано технологію виготовлення ливарних моделей з використанням відходів деревообробного виробництва (тирси) з доданням матеріалів, що пов'язують – смоли марки БС-40, рідкого скла та гіпсу марки Г-10, при цьому як майстер-модель використовується вже існуюче модельне оснащення.

2. При приведенні досліджень водопоглинення немодифікованої деревини та модифікованої деревини на протязі 30 діб слід відзначити, що водопоглинення зразків з відходів деревообробного виробництва менше, ніж вихідного зразка з деревини (сосни), для якого величина водопоглинання становить до 135%. Це пов'язано зі зменшенням крайового кута змочування, зокрема для вихідного зразка з деревини $\cos \Theta = 0{,}9344$, а для модельної суміші смола та тирса у співвідношенні 1,5:1 він знижується до значень $\Theta = 0{,}9256$.

3. Проаналізовано вплив виду та кількості матеріалу, що пов'язує, на фізико-механічні властивості ливарних моделей та показано, що межа міцності на стискання зразків з відходів деревообробного виробництва в 1,65–4,5 разів нижче, ніж у вихідному зразку з деревини (сосни).

4. Проаналізовано вплив гранулометричного складу формувальної суміші рідке скло та тирса у співвідношенні 2:1 на фізико-механічні властивості готових моделей та показало, що збільшення фракції суміші з 0,25 до 2 мм збільшує межу міцності на стискання в 3 рази.

5. Встановлено, що виготовлення моделей з відходів деревообробного виробництва дозволяє зменшити витрати на виготовлення моделей з первинної деревини; зменшити енергозатрати виробництва; зменшити трудомісткість виготовлення моделі; автоматизувати виробництво ливарних моделей.

Бібліографічний перелік

1. Технологія виготовлення моделей і стрижневих ящиків. URL: https://ferrum.at.ua/publ/tekhnologija_metaliv/11_tekhnologija_vigotovlennja_modelej_i_strizhnevikh_jashhikiv/1-1-0-11 (дата звернення: 12.01.2023).

2. Технологія виготовлення ливарних форм. URL: http://obrobka.pp.ua/1858-tehnology-vigotovlennya-livarnih-form.html (дата звернення: 11.11.2021).

3. Изготовление деревянных модельных комплектов в литейном производстве. URL: http://www.stroitelstvo-new.ru/drevesina/model/ (дата звернення: 12.01.2023).

4. Проектування і виготовлення ливарного оснащення. URL: https://stud.com.ua/173351/tehnika/proektuvannya_vigotovlennya_livarnogo_osnaschennya (дата звернення: 12.01.2023).

5. Сутність ливарного виробництва. URL: https://jak.bono.odessa.ua/articles/sutnist-livarnogo-virobnictva.php (дата звернення: 12.01.2023).

6. Ливарний модельний комплект. URL: http://um.co.ua/8/8-2/8-237978.html (дата звернення: 12.01.2023).

7. Саранин Л.Г. Сравнительная оценка материалов из древесины при изготовлении модельной литейной оснастки. *Известия ТулГУ. Серия «Технические науки»*. 2018. Вып. 1. С. 16–20.

8. Воденнікова О.С., Скідін І.Е., Панченко С.О. Можливості виготовлення дерев'яних моделей з відходів деревообробного виробництва. *Теоретичні та практичні засади розвитку економіки, обліку, фінансів, менеджменту та права* : Всеукраїнська науково-практична конференція (м. Запоріжжя, 23–24 листопада 2021 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2021. С. 152–154.

9. Дерев'яне модельне оснащення. URL: https://modelpoltava.com.ua/derevyane-modelne-osnashhennya/ (дата звернення: 12.01.2023).

10. ДСТУ EN 1927-2:2019. Лісоматеріали круглі хвойні. Класифікація за якістю. Частина 2. Сосна (EN 1927-2:2008; AC:2009, IDT) [Діючий від 2021-01-01]. 2021. 10 с.

11. ДСТУ 2034-92. Отходы древесные. Общие технические условия [Действующий с 1993-07-01]. *Изд. офиц*. Киев : Госстандарс Украины, 1993. 19 с.

12. ГОСТ 13078-2021. Стекло натриевое жидкое. Технические условия [Действующий с 2022-05-01]. *Изд. офиц.* Москва : ФГБУ «РСТ», 2021.

13. ДСТУ Б В.2.7-82:2010. Будівельні матеріали. В'яжучі гіпсові. Технічні умови [Діючий від 2011-03-01]. *Вид. офіц*. Київ : Мінрегіонбут України, 2010.

14. ГОСТ 13354-91. Комплекты модельные деревянные. Технические условия [Действующий с 1993-01-01]. *Изд. офиц*. Москва : Издательство стандартов, 1992.

15. ГОСТ 3212-92. Комплекты модельне. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров [Действующий с 1993-07-01]. *Изд. офиц*. Москва : Издательство стандартов, 1992, ИПК Издательство стандартов, 2004, 14 с.

16. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Москва : Мир, 1970. 408 с.

17. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров. В 2-х частях / пер. с англ. Москва : Мир, 1983. 480 с.

18. ГОСТ 16483.20-72. Древесина. Метод определения водопоглощения [Действующий с 1994-01-01]. *Изд. офиц*. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. 3 с.

19. ДСТУ ISO 3129:2015. Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків (ISO 3129:2012, IDT) [Діючий від 2016-01-01].

20. ДСанПіН 8.2.1-181-2012. Державні санітарні норми та правила. Полімерні та полімервмісні матеріали, вироби і конструкції, що застосовуються у будівництві та виробництві меблів. Гігієнічні вимоги [Діючий від 2013-02-01]. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0087-13

21. Теоретичні основи ливарного виробництва : навч. посіб. для студ. спец. «Обладнання ливарного виробництва» і «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів» / В.Г. Могилатенко та ін. Харків : НТУ «ХПІ», 2011. 287 с.

22. Теоретичні основи формування виливків : навч. посіб. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навчаються за спец. «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів» та «Обладнання та технології ливарного виробництва» / Т.В. Лисенко та ін. Харків : НТУ «ХПІ», 2014. 191 с.

23. Дан Л.О., Трофімова Л.О. Ливарне виробництво : навч. посіб. для студентів металургійних спеціальностей. Маріуполь : ПДТУ, 2013. 207 с.

24. Дусанюк Ж.П., Шиліна О.П., Репінський С.В., Дусанюк С.В. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2009. 199 с.

25. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И. Теоретические основы литейного производства. Теория формирования отливки : учебн. Москва : Машиностроение, 2015. 480 с.

26. Sahoo M., Sahu S. Principles of Metal Casting. 3rd Edition. MsGraw-Hill Education. 2014. 795 p.

27. Chakrabarti A.K. Casting technology and cast alloys. PHI Learning Pvt. Ltd., 2005. 288 p.

28. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы : учебн. / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М.Ю. Ершов и др. Москва : Академия, 2005. 528 с.

29. Кукуй Д.М., Скворцов В.А., Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства : учебник. В 2 ч. Ч. 1. Формовочные материалы и смеси. Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2011. 384 с.

30. ISO 6344-2:2021. Coated abrasives – Determination and designation of grain size distribution – Part 2 : Macrogrit sizes P12 to P220. Second edition 2021-11 [Start Date 30.112021, Due Date 30.072021, Completion Date 30.072021]. 2021. 4 p.

References

1. Technology of manufacturing models and rod boxes. URL: https://ferrum.at.ua/publ/tekhnologija_metaliv/11_tekhnologija_vigotovlennja_modelej_i_strizhnevikh_jashhikiv/1-1-0-11(accessed 12.01.2023).

2. Manufacturing technology of casting molds. URL: http://obrobka.pp.ua/1858-tehnology-vigotovlennya-livarnih-form.html (accessed 11.11.2021).

3. Production of wooden model kits in foundry production. URL: http://www.stroitelstvo-new.ru/drevesina/model/ (accessed 12.01.2023).

4. Design and manufacture of foundry equipment. https://stud.com.ua/173351/tehnika/proektuvannya_vigotovlennya_livarnogo_osnaschennya(accessed 12.01.2023).

5. The essence of foundry production. URL: https://jak.bono.odessa.ua/articles/sutnist-livarnogo-virobnictva.php (accessed 12.01.2023).

6. Foundry model kit. URL: http://um.co.ua/8/8-2/8-237978.html (accessed 12.01.2023).

7. Saranin L.G. Comparative evaluation of materials from wood for manufacture of model foundry tools. *News of TulSU. Series "Technical sciences"*. 2018. Issue 1. P. 16–20.

8. Vodennikova O.S., Skidin I.E., Panchenko S.O. Possibilities of making wooden models from woodworking waste. *Theoretical and practical foundations of the development of economics, accounting, finance, management and law* : All-Ukrainian scientific and practical conference (Zaporizhia, November 23–24, 2021). Zaporizhzhia : ZNU, 2021. P. 152–154.

9. Wooden model equipment. URL: https://modelpoltava.com.ua/derevyane-modelne-osnashhennya/ (accessed 12.01.2023).

10. DSTU EN 1927-2:2019. Qualitative classification of softwood round timber. Part 2. Pines (EN 1927-2:2008; AC:2009, IDT) [Effective from 2021-01-01]. 2021. 10 p.

11. DSTU 2034-92. Wood waste. General technical conditions [Effective since 1993-07-01]. *Ed. officer*. Kyiv : Gosstandars Ukrainy, 1993. 19 p.

12. GOST 13078-2021. Sodium silicate solution. Specifications [Effective from 2022-05-01]. *Ed. officer*. Moscow : FSBU «RST», 2021.

13. DSTU B V.2.7-82:2010. Building materials. Binding gypsum. Specifications [Effective from 2011-03-01]. *Ed. officer*. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010.

14. 14. GOST 13354-91. Gated wooden patterns. Specifications [Effective since 1993-01-01]. *Ed. officer.* Moscow : Standard Publishing House, 1992.

15. GOST 3212-92. Gated patterns. Pattern tapers, core prints, dimensional tolerances [Effective since 1993-07-01]. *Ed. officer*. Moscow : Izdatelstvo standartov, 1992, IPK Izdatelstvo standartov, 2004, 14 p.

16. Greg S., Singh K. Adsorption, specific surface, porosity. Moscow : Mir, 1970. 408 p.

17. Rabek Ya. Experimental methods in the chemistry of polymers. In 2 parts / trans. with English Moscow : Mir, 1983. 480 p.

18. GOST 16483.20-72. Wood. Determination method of water absorption [Effective since 1994-01-01]. Ed. officer. Moscow : IPK Izdatelstvo Standartov, 1999. 3p.

19. DSTU ISO 3129:2015. Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens (ISO 3129:2012, IDT) [Effective from 2016-01-01].

20. DSanPiN 8.2.1-181-2012. State sanitary norms and rules. Polymer and polymer-containing materials, products and structures used in construction and furniture production. Hygienic requirements [Effective from 2013-02-01]. URL: http://zakon2.rada.gov. ua/laws/show/z0087-13

21. Mogylatenko V.G., Ponomarenko O.I., Drobyazko V.M., Kocheshkov A.S., Yamshinskyi M.M. Theoretical foundations of foundry production : training. manual for students special “Equipment of foundry production” and “Foundry production of ferrous and non-ferrous metals”. Kharkiv : National Technical University “KhPI”, 2011. 287 p.

22. Lysenko T.V., Ponomarenko O.I., Dotsenko V.P., Shinskyi I.O., Serdyuk L. I. Theoretical foundations of the formation of castings : teaching. manual for university students technical education students who study for special “Foundry production of black and non-ferrous metals and alloys” and “Equipment and technologies of foundry production”. Kharkiv : National Technical University “KhPI”, 2014. 191 p.

23. Dan L.O., Trofimova L.O. Foundry production: a study guide for students of metallurgical specialties. Mariupol : PDTU, 2013. 207 p.

24. Dusanyuk Zh.P., Shilina O.P., Repinskiy S.V., Dusanyuk S.V. Design and production of blanks for machine parts. Cast blanks : a study guide. Vinnytsia : VNTU, 2009. 199 p.

25. Chernyshov E.A., Evstigneev A.I. Theoretical foundations of foundry production. The theory of casting formation : textbook. Moscow : Mashinostroenie, 2015. 480 p.

26. Sahoo M., Sahu S. Principles of Metal Casting. 3rd Edition, MsGraw-Hill Education. 2014. 795 p.

27. Chakrabarti A.K. Casting technology and cast alloys. PHI Learning Pvt. Ltd., 2005. 288 p.

28. Trukhov A.P., Sorokin Yu.A., Ershov M.Yu., Blagonravov B.P., Minaev A.A., Gini E.Ch. Technology of foundry production. Casting in sand molds: academic. Moscow : Academy, 2005. 528 p.

29. Kukui D.M., Skvortsov V.A., Andrianov N.V. Theory and technology of foundry production : textbook. In 2 parts. Part 1. Forming materials and mixtures. Minsk : New Knowledge; Moscow : INFRA-M, 2011. 384 p.

30. ISO 6344-2:2021. Coated abrasives – Determination and designation of grain size distribution – Part 2 : Macrogrit sizes P12 to P220. Second edition 2021-11 [Start Date 30.112021, Due Date 30.072021, Completion Date 30.072021]. 2021. 4 p.

Vodennikova Oksana, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Zaporizhia National University, ORCID: 0000-0003-0496-5435
Skidin Ihor, Senior Lecturer, Candidate of Technical Sciences, Kryvyi Rih National University, ORCID: 0000-0003-3247-473X
Vodennikova Larysa, assistant, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, ORCID: 0000-0002-1602-8257

MANUFACTURING TECHNOLOGY OF FOUNDRY MODELS USING WOODWORKING WASTE

The proposed scheme of the technological cycle of manufacturing foundry models from woodworking waste (sawdust). The existing model equipment is used as a master model. Based on the master model, an industrial model (form) is made, filled by compaction with a load of 2 MPa with a model mixture. The model mixture consists of woodworking waste and binding materials – BS-40 resin, liquid glass, and G-10 gypsum. It has a number of significant advantages: production of model sets in the shortest possible time with minimal costs for mechanical processing and without the use of additional equipment; lower cost compared to metal equipment; high wear resistance, which is not inferior to plastic models; high maintainability. Accuracy, stability of dimensions and configuration of the model during a long service life, minimal removal effort during molding; thanks to the unique anti-adhesion properties of the impregnation mixture, practically eliminates the need for additional equipment. The influence of the type and amount of binding material on the physical and mechanical properties of the models was analyzed. It is shown that application resins and sawdust in the ratio1.25:1 allow zoom-compressive strength up to 30kgf/cm^2 and compressive strength to 0,0153 kgf/cm^2. This is due to the fact that as a result of the use of resin, a stronger frame of the model is formed, which is almost not inferior to the strength characteristics of wood (pine). Considered the influence of the granulometry composition of the component model mixture – liquid glass and sawdust in a ratio of 2:1 on the physical and mechanical properties of the finished models. It showed that increasing the liquid glass and sawdust mixture fraction from 0,25 to 2 mm increases the compressive strength limit by 3 times.

Keywords: model set, wooden model, foundry model, model equipment, model mixture, waste of woodworking production

Стаття надійшла до редакції 01.05.2023 р.