

УДК 621.74.045

Федоров М. М.

ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ ЮВЕЛІРНОГО ЛИТТЯ

Технологічні методи виготовлення ливарних форм для процесу лиття ювелірних виробів за виплавленими моделями можна розділити на дві основні групи [1]:

1) виготовлення багатошарових оболонкових форм шляхом нанесення вогнетривких облицювальних (шаруватих) покриттів на поверхню виплавлених моделей;

2) виготовлення ливарних форм-монолітів шляхом заповнення рідкими облицювально-наповнювальними суспензіями опок із встановленими в них модельними блоками.

В обох випадках процес тверднення шарів або монолітів протікає за колоїдно-хімічною схемою з аморфним, змішаним або кристалічним станом в'язких компонентів. Аморфний стан характерний, головним чином, для органічних зв'язувальних матеріалів (сульфітно-спиртової барди, масел, лаків і ін.), змішаний стан – для мінерально-органічних зв'язувальних матеріалів (етилсилікату, рідкого скла, алюмінатів і ін.), кристалічний стан – для мінеральних зв'язувальних матеріалів (гіпсу й цементу).

Використовується технологія лиття за виплавленими моделями у форми, виготовлені послідовним нанесенням на поверхню модельних блоків декількох шарів вогнетривких покриттів на етилсилікатному або рідкоскляному зв'язувальних матеріалах, не може бути використана при виробництві ювелірних виливків зі сплавів золота й срібла з ряду причин:

- шари вогнетривких покриттів на етилсилікатному або рідкоскляному зв'язувальних матеріалах є проникними для сплавів золота й срібла в рідкому стані, що приводить до неприпустимо високих втрат дорогоцінних металів у процесі лиття;

- операції вибивання виливків із вогнетривких форм на етилсилікатному або рідкоскляному зв'язувальних матеріалах й очищення досить дрібних і складних за конфігурацією виливків із ювелірних сплавів занадто трудомісткі, і, в більшості випадків, можуть бути виконані тільки шляхом травлення в плавиковій кислоті, яка шкідлива для людського організму;

- вогнетривкі форми на етилсилікатному або рідкоскляному зв'язувальних матеріалах не забезпечують необхідної й досить чіткої відтворюваності рельєфу моделей на виливках через погану змочуваність поверхні восківок вогнетривкими суспензіями на мінерально-органічних зв'язувальних матеріалах, а також через явище відшаровування сирих шарів оболонкових форм під власною вагою.

У сучасному ювелірному виробництві використовується процес лиття за виплавленими моделями з використанням кремнеземно-гіпсових форм-монолітів, що не має вищевказаних недоліків.

При виготовленні ливарних форм-монолітів формувальна суміш проходить складний цикл, який включає значну кількість технологічних операцій:

- приготування й зберігання суміші;

- виготовлення, складання й зберігання форми;

- заливання металом, охолодження форми, відділення суміші при вибиванні виливків.

Тому формувальні суміші для ювелірного литва повинні мати наступні властивості: текучість, міцність в сирому стані й після прожарювання, термостійкість, газопроникність, вогнетривкість, вибивальність, інертність стосовно сплавів, що заливаються, і ін.

Якщо матеріал форми реагує з металом, що заливається, то продукти, які утворюються в результаті протікання реакцій, викликають хімічний пригар і є причиною браку виливків.

Якщо форми маломіцні, то вони будуть розмиватися розплавом, що заливається, викликаючи брак виливків за геометрією форми, а дрібні частки форми, що відокремилися при цьому, будуть причиною засорів у виливках.

Якщо форми мають підвищену міцність і твердість, то вони будуть важко розбиватися, що підвищить трудомісткість роботи при вибиванні виливків і може привести до утворення на них додаткових дефектів.

При литті у форми з низькою газопроникністю, повітря, що знаходиться у порожнині форми, й гази, що виділяються з розплавленого металу при його заливанні, не зможуть вийти через стінки форми й стануть причиною утворення у виливках внутрішньої поруватості і зниження якості їх поверхні.

У технології ювелірного лиття, в більшості випадків, використовують готові до застосування формувальні суміші (маси, формомаси, формувальні матеріали), як правило, закордонного виробництва. Формувальні суміші являють собою суміші порошків: кристобаліту, тридиміту, кварцу, аморфного кремнезему, гіпсу або фосфатних з'єднань (для високотемпературного лиття), а також ряду спеціалізованих добавок.

Зв'язувальний матеріал формувальних сумішей для ювелірного лиття, призначений для об'ємного втримання порошку вогнетривкого наповнювача, утворений з мінерального гіпсу.

Природний мінерал гіпс утворює осадові породи значного геологічного віку й кристалізується у вигляді призматичної структури, що розташовується шарами, які втримуються разом молекулами води. Таким чином, у початковому виді гіпс являє собою бігидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). До використання у вигляді зв'язувального матеріалу мінеральний гіпс повинен бути перетворений у напівгідрат за допомогою термічної обробки:



Напівгідрат є нестабільним і всмоктує воду, переходячи при цьому в початковий стан бігидрату, який має більшу стабільність. Коли порошок формомаси додається у воду в процесі приготування рідкої формувальної суміші, у її об'ємі поступово з'являються переплетені один з одним кристали гіпсу – ці гіпсові зчіпки й утримують формомасу, що застигає. При твердінні суміші на її характеристики впливає наявність незначних добавок модифікаторів, які змінюють довжину й форму кристалічних голок, які утворюють зародки кристалізації.

Можна контролювати швидкість росту кристалічних зерен, додаючи сповільнювачі, які заважають росту кристалів, або прискорювачі, які можуть збільшувати швидкість, з якої напівгідрат переходить у розчин, або збільшувати швидкість перетворення напівгідрату гіпсу у бігидрат. У ювелірних формомасах можна впливати на швидкість схоплювання й кінцеву твердість сумішей, змінюючи співвідношення порошок – вода, температуру рідкого замісу, техніку замісу.

В процесі прожарювання ливарної форми різні компоненти формувальної суміші проходять ряд трансформацій, які супроводжуються зміною їхнього об'єму.

На початковому етапі прожарювання розпочинається видалення води і гіпс значно стискається. Стискання гіпсу набуває найбільшого значення при температурах від 300 °С до 450 °С – коли напівгідрат гіпсу перетворюється в ангідрит. Якби для виготовлення форми використовувався лише один гіпс, то такі форми легко б розтріскувалися й мали б фактичні розміри порожнини набагато менше ніж це потрібно.

Роль компенсатора термічного стискання гіпсу й регулятора термічного стискання форми в ювелірних формомасах виконує вогнетривкий наповнювач – діоксид кремнію (SiO_2).

Діоксид кремнію існує в декількох кристалічних формах, які поширено використовуються у формомасах для ювелірного лиття.

Кварц – це найбільш поширена в природі кристалічна форма діоксиду кремнію. Зміна кристалографічної модифікації кварцу при температурі 570–580 °С супроводжується збільшенням його об'єму.

Кристобаліт – це інша кристалічна форма діоксиду кремнію, яка в природних умовах має вулканічне походження. Штучний кристобаліт одержують, нагріваючи кварц до температур 1 470–1 670 °С. Корисна властивість кристобаліту, як і кварцу полягає в тому,

що при температурах 220–270 °С, переходячи з однієї кристалографічної модифікації в іншу, кристобаліт також збільшується в об'ємі.

Таким чином, у формувальних сумішах для ювелірного лиття саме кварц і кристобаліт, окрім основної функції вогнетривких наповнювачів, виконують функцію компенсації термічного стискання зв'язувального матеріалу – гіпсу: до 270 °С кристобаліт забезпечує розширення ювелірної суміші, компенсуючи початкове стискання гіпсу; в інтервалі температур 300–570 °С переважає стискання форми гіпсом; при температурах 570–580 °С знов відбувається компенсація термічного стискання гіпсу через розширення кварцу.

Після перетворення кварцу при 570–580 °С при подальшому нагріванні у формомасі повністю завершуються будь-які зміни об'єму. Це важливо враховувати для визначення кінцевої температури прожарювання форми, якої потрібно досягти до моменту заливання розплавом. Стає очевидним, що форма, яка виготовлена з ювелірної гіпсо-кварцевої формомаси, повинна бути прогріта до температури не нижче 600 °С. У разі недосягнення цієї температури під час прожарювання форми її термічна усадка не буде компенсована в повному обсязі.

Крім зазначених вище властивостей кварцу, слід також враховувати його вплив на твердість і міцність форми, особливо при підвищених температурах прожарювання. Чим більше вміст кварцу в суміші, тим жорсткіше й міцніше стає форма в процесі прожарювання. Інтенсивне спікання кварцу відбувається в інтервалі 820–870 °С. Якщо під час прожарювання ливарної форми перевищується вказаний температурний інтервал, то під час вибивання такої форми завжди будуть виникати додаткові труднощі через надмірне спікання кварцу.

Під час охолодження формомаса знову проходить через фази трансформації кварцу та кристобаліту, що викликає стискання майже рівне й протилежне попередньому розширенню, а стискання гіпсу при цьому залишається постійним. При охолодженні кварц зменшується в об'ємі приблизно на 90 % у порівнянні з розширенням при нагріванні, але тільки в тому випадку, коли вся формувальна суміш повністю прогріта до температури спікання кварцу. Точність дозування кількості кварцу у формомасі дозволяє досягти повернення параметрів порожнини ливарної форми до початкових розмірів при охолодженні й зменшенні об'єму форми.

Після лиття при наступному охолодженні залитої форми гіпс стає дуже крихким і разом із тріщинами, викликаними стисканням через трансформації діоксиду кремнію під час охолодження, забезпечує легке видалення формомаси з опоки.

Крім гіпсу, кварцу й кристобаліту у формувальні суміші вводять добавки, які змінюють час тверднення формомаси, величину її в'язкості або текучості, впливають на окислювально-відновлювальні процеси в порожнині ливарної форми в процесі її заливання металом і кристалізації виливків, сприяють видаленню піни й повітря при підготовці формомаси шляхом вакуумування.

Виробники ювелірних порошкових формомас намагаються виготовляти прості суміші, змінюючи основні компоненти й регулюючи добавки в невеликих кількостях і пропорціях, змінюючи розміри часток, задаючи, таким чином, великий вибір формомас. Рецептний склад формомас і технологія їх виготовлення є комерційною таємницею фірм-виробників. Приблизний рецептний склад у більшості марок формомас різних виробників майже однаковий: 70–80 % вогнетривкого наповнювача, 20–30 % гіпсу й спеціальних добавок.

При виборі типу й марки формомаси слід керуватися наступними вимогами, які пред'являються до формувальних сумішей для виготовлення форм ювелірного лиття [2]:

- формомаса повинна витримувати необхідні для випалювання модельного воску температури (750–770 °С) і бути тріщиностійкою при цих температурах;
- формомаса повинна витримувати температуру заливання металу (для сплавів золота близько 1 000 °С), а також динамічний напір сплаву, що подається у форму з великою швидкістю;
- формомаса не повинна вміщувати хімічно шкідливих речовин, які можуть привести до корозії чи окислення опоки або виливків;

- формувальна суміш повинна забезпечувати швидке й легке вибивання виливків із опоки після лиття.

Формомаси імпортованих виробників (табл. 1, [3]) характеризуються високою хімічною чистотою складових компонентів – кварцу, кристобаліту й високоміцного гіпсу. Крупність зерен порошку формомас не перевищує 100 мкм.

Таблиця 1

Марки формомас імпортованого виробництва для ювелірного лиття

Типи сплавів	Фірми – виробники формомас			
	Kerrlab, США	Hoben International, Великобританія	Ransom&Randolph, США	SRS, Великобританія
Стандартні сплави золота	Satin Cast 20, Kerrcast 2000, Supervest 20	GoldStar Ultima, GoldStar XL, GoldStar 21	Ultravest, Americast	Classik, Eurovest-standart, Eurovest-extra
Біле золото, платина	Platinite PT	GoldStar Ultima, Platincast	Platinum, Astrovest	-
Литво з камінням	Satin Cast 20	Gemset	Solitaire	Stonecast

Характеристики формомас, які одержали найбільшу популярність у ювелірному литті, представлено в табл. 2 [2].

Таблиця 2

Характеристики формомас для ювелірного лиття

Марка формомаси	Опис марки	Основні характеристики
1	2	3
Kerrcast 2000	Використовується для роботи із золотом і сріблом. Дозволяє легко відокремлювати форму від виливків у холодній воді. Забезпечує високу якість поверхні литва.	- час приготування: 9–10 хв.; - час тверднення в опоці: 11–12 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.; - температура заливання: не більш 1 093 °С.
GoldStar XL	Формомаса на гіпсовій основі з вмістом кремнезему (71–75 %), сульфату кальцію (24–28 %) і органічних речовин (1 %).	- час приготування: 7,5–9 хв.; - час тверднення в опоці: 10–11 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.; - температура заливання: не більш 1 100 °С; - максимальна температура прожарювання: 740 °С.

Продовження табл. 2

1	2	3
GoldStar Ultima	Спеціально розроблена для лиття високотемпературних сплавів, таких як благородне біле золото, сплави платини та ін.	<ul style="list-style-type: none"> - час приготування: 9–11 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.; - температура заливання: не більш 1 300 °С; - максимальна температура прожарювання: 850 °С.
Eurovest-standart, Eurovest-extra	Розроблені для підвищення стійкості до термоудару під час циклів нагрівання-охолодження. Мають високі характеристики міцності, легко змочуються й розводяться водою. Забезпечують високу якість поверхні литва.	<ul style="list-style-type: none"> - час приготування: 8–9 хв.; - час тверднення в опоці: 11–12 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.; - температура заливання: не більш 1 100 °С; - максимальна температура прожарювання: 750 °С.
Classik	Формомаса має велику технологічну гнучкість, що дозволяє змінювати параметри лиття. Підходить для більшості ювелірних сплавів. Легко вибивається після лиття. Виливки мають більш високу чистоту поверхні.	<ul style="list-style-type: none"> - час приготування: 8–9 хв.; - час тверднення в опоці: 10–12 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.; - температура заливання: не більш 1100 °С; - об'ємний вихід формомаси з 1 кг порошку: 795 мл.
Stonecast	Формомаси містять спеціальні добавки, які захищають ювелірні камені від впливу температури під час прожарювання опок. Забезпечується висока газопроникність форми, а отже, висока швидкість вакуумування суміші. Наявність наддрібного зерна забезпечує гладку глянцеvu поверхню порожнини форми.	<ul style="list-style-type: none"> - співвідношення формомаса / вода: 100 / 38 мас.ч.; - час приготування: 8–9 хв.; - час тверднення в опоці: 10–12 хв.; - час прожарювання: ≤ 15 год.; - температура заливання: не більш 1093 °С; - термічне розширення при 750 °С: 0,73 %; - розширення через 2 год. після твердіння: 0,45 %; - об'ємний вихід формомаси з 1 кг порошку: 795 мл.

Спеціально для лиття з натуральним ювелірним камінням були розроблені формувальні маси, які дозволяють захистити ювелірні камені від шкідливого впливу підвищеної температури й окислювальної атмосфери під час прожарювання форм й операцій лиття. Прикладом таких сумішей є формомаса «Stonecast» (табл. 2).

Формувальна суміш у технологічному процесі лиття ювелірних виробів за виплавлюваними моделями – це матеріал з найбільш обмеженим терміном придатності. Зазвичай термін придатності порошку формомаси, за умови правильного зберігання, становить один рік. Гіпс, як зв'язувальний матеріал формомаси, є дуже гігроскопічним й інтенсивно поглинає вологу при контакті з вологою атмосферою, що приводить до втрати його зв'язувальної здатності. Тому формомасу завжди потрібно зберігати в сухих умовах, бажано в герметичному стані.

Перед використанням нової партії формомаси рекомендується здійснювати вхідний контроль її якості, вимірявши час досягнення стану «без блиску» («gloss-off») [3]. Для цього необхідно налити в пластикову склянку воду й додати до неї порошок формомаси в необхідній кількості, згідно з інструкцією, і далі ввімкнути секундомір. Протягом рекомендованого часу необхідно розмішувати суміш скляною паличкою (приготувати шлікер), а потім виконувати спостереження за поверхнею шлікеру: у момент, коли суміш почне схоплюватися, буде помітна зміна зовнішнього вигляду поверхні суміші – від яскравого блиску до матовості. Час, що відповідає цьому переходу, називається точкою стану «без блиску». При наявності достатньо якісної формомаси при температурі води 20 °С ця точка повинна настати через 7–10 хв.

ВИСНОВКИ

1. У теперішній час на ринку витратних формувальних матеріалів представлена велика кількість різновидів сумішей на основі гіпсу, які призначені для різних видів литва.

2. Якість ювелірного литва багато в чому визначається властивостями застосовуваної формувальної суміші, технологією її приготування й умовами її використання. Основні фактори, які впливають на якість формомас – це розмір часток наповнювача, хімічна чистота наповнювача й зв'язувального матеріалу, механічний опір і газопроникність форми. Більш дешеві види формомас, як правило, містять більш грубу й менш чисту суміш.

3. Основу технологічного процесу виготовлення ливарних форм-монолітів для ювелірного лиття становлять фізико-хімічні й технологічні властивості формувальних сумішей, які складаються з двох основних складових компонентів: наповнювача з вогнетривкого матеріалу – діоксиду кремнію, переважно у вигляді кварцу та кристобаліту, й зв'язувального матеріалу – гіпсу.

4. Кваліфікований технолог-ювелір повинен якісно орієнтуватися у сучасному різноманітті витратних матеріалів для виготовлення ливарних форм і вміти призначати оптимальний за якістю і ціною вид формомаси, залежно від технологічних особливостей операцій лиття та виду сплаву, з кінцевою метою – виготовлення якісних литих ювелірних виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. Ч. Гини [и др.]; под ред. В. А. Рыбкина. – М. : Издательский центр «Академия». – 2005. – 352 с.*
2. *Халилов И. Х. Ювелирное литье / И. Х. Халилов, М. И. Халилов – Махачкала. – 2000. – 104 с.*
3. *Валерио Фачченда. Литье по выплавляемым моделям. Справочник / В. Фачченда; пер. с англ. – Омск : Издательский Дом «Дедал-Пресс». – 2005.*