
НОВІ МЕТОДИ ТА ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ

<https://doi.org/10.15407/plit2023.03.041>

УДК: 621.74:666.85/86.061.62

А.Г. Малявін, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.;

e-mail: amalavin621@gmail.com; ORCID 0000-0003-0004-2393

О.А. Кузьменко, мол. наук. співроб.; *e-mail: kuzma17071986@gmail.com;*

ORCID 0009-0005-5713-1401

В.О. Щерецький, канд. техн. наук, пров. наук. співроб.;

e-mail: rnmptima@ukr.net; ORCID 0000-0002-8561-4444

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ОДЕРЖАННЯ ФАСОННИХ ФТОРФЛОГОПІТОВИХ ВИРОБІВ МЕТОДОМ КОКІЛЬНОГО ЛИТТЯ

У роботі розглянуто вплив методів лиття на якість каменелитих фторфлогопітових виробів та причини виникнення ливарних дефектів. Зазначено, що кокільне лиття дозволяє отримувати високоякісні виливки з точністю геометричних розмірів, зменшує затрати на приготування ливарних форм та дає можливість механізувати технологічний процес. Дослідено можливість отримання складних фасонних виробів методом кокільного литва. Проведено дослідження якості виливок із фторфлогопіту в холодних та гарячих кокілях. Установлено, що при зменшенні швидкості заливання поверхня виливків стає шорсткою з неспаями, особливо при заливанні в холодний кокіль. Дослідження поперечних відколів виливків показало, що макробудова виливків, отриманих у холодних і гарячих кокілях, має помітну відмінність. Виливки, отримані при температурі заливки вище 1400 °С, мають до 10–12 усадкових раковин, розташовані одна під одною і відгороджені перетинками. Усадкові раковини зосереджені в прибутковій частині та під нею на глибині не більше 50–60 мм. При литті в піщану форму товщина коркового шару становить 1–2 мм, тоді як у графітовій — збільшується до 4–5 мм, що пояснюється зміною теплофізичних умов затвердіння виливка. Збільшення товщини ливарної корки є бажаним фактором, що сприяє підвищенню корозійної й термомеханічної стійкості фторфлогопітових виробів. Таким чином, лиття фторфлогопітових виробів у графітовий кокіль є перспективним методом виготовлення фасонного фторфлогопітового литва з підвищеною точністю і чистотою поверхні.

Ключові слова: кокільне лиття, фторфлогопіт, графітовий кокіль, усадкова раковина, ливарні дефекти.

Термін працездатності й техніко-економічні показники основних апаратів титано-магнієвого виробництва дуже залежать від якості футерувальних матеріалів. Каменелиті фторфлогопітові вироби переточного каналу бездіафрагменного магнієвого електролізера, що виготовляються у піщаних ливарних формах, мають багато ливарних дефектів: засміченість, газові й піщані раковини та ін. Крім того, спосіб виготовлення каменелитих виробів у піщаних ливарних формах характеризується малою продуктивністю, великими об'ємами ручної праці та шкідливими умовами праці.

Згадані недоліки відсутні при виробництві литих виробів методом кокільного литва. Використання кокільного литва в ливарному виробництві кольорових металів, чавуну та сталі дозволяють одержувати високоякісні виливки з високою точністю геометричних розмірів, скоротити затрати на приготування ливарних форм тощо [1–3].

Зараз із фторфлогопітового матеріалу методом кокільного лиття отримують вироби простої геометричної форми у вигляді плит, циліндрів та ін. Тому дослідження можливості одержання складних фасонних виробів методом кокільного лиття викликає значний практичний інтерес. Крім того, при використанні лиття у кокіль з'являється можливість механізації технологічного процесу, що забезпечує стабільність технологічного режиму виготовлення виливків та, головне, їх високу якість.

Об'єктом дослідження обрано наймасовіший виріб — «верхній камінь» — елемент переточного каналу бездіафрагменного магнієвого електролізера.

Аналіз конструкції виробу «верхній камінь» показує, що він являє собою масивний великогабаритний фасонний виріб у вигляді паралелепіпеда масою 75–90 кг і габаритними розмірами (329–470) × (325–414) мм. З обох боків виробу виконані опорні плити товщиною 40–60 мм, що розширюються доверху. Середня частина виробу виконана в клиноподібній формі, що звужується до нижньої частини, на якій є циліндричний виступ висотою 30 мм та довжиною 260 мм. Верхня частина має правильну форму усіченої піраміди висотою 150 мм з площею перерізу 150 × 300–400 мм.

Видалення таких виливків із кокілю може бути виконане тільки після її розкриття у вертикальній та горизонтальній площинах. Рознімання у вертикальній площині зумовлене необхідністю отримання плоскопаралельних бокових поверхонь, щоб зазор між деталями при монтажі та експлуатації був мінімальним, не більше 1–2 мм. Поперечні стінки виробу мають ливарні нахили, що розширюються доверху та з'єднуються із суміжними плавними переходами, що сприяє легкому видаленню виливків із кокілю.

З огляду на невелику висоту виливків, заливку розплаву прийняли через надливков, що забезпечило нормальне живлення виливків та простоту конструкції кокілю. З метою усунення скалкування кутів і поверхонь виливків, а також зменшення усадкових дефектів, початкову температуру кокілю прийнято в межах 150–170 °С.

При розробці конструкції кокілю було необхідно вибрати матеріал. З огляду на високу температуру та агресивність оксифторидного розплаву, матеріал кокілю повинен добре протистояти термічному навантаженню, пов'язаному з термічними ударами при заливці розплаву, мати високі властивості міцності при експлуатації та невелику масу. Тому для виготовлення кокілю було обрано блочний графіт як матеріал, що відповідає висунутим вимогам. У результаті було спроектовано та виготовлено кокіль із відходів блочного графіту.

Виготовлений кокіль складається з 3-х частин: двох роз'ємних бічних і центральної, в яких розміщується і формується виливок.

В основу дослідної кокільної установки покладено такі вимоги.

Дослідно-промислова установка повинна бути однопозиційною з механізацією однієї операції — формування каменелитого виливка з оксифторидного розплаву. Верхня площа виливка утворюється фасонним пуансоном, який закриває кокіль зверху. Привід установки — пневматичний.

Виготовлення виливка відбувається так: розплав після випуску з плавильної печі витримують у ковші 2–3 хв для дегазації, а потім заливають у ливникову чашу кокілю протягом 45–60 с, через 5–10 хв (час, необхідний для утворення досить міцної ливарної кори на виливку), здійснюють підйом пуансона і виконують витримку для більшого затверднення виливка. Після чого піднімають пуансон і розводять убік бандажі з бічними частинами кокілю. Центральну частину кокілю з виливком, розташованим на піддоні, переміщують по рольгангу вперед за межі пуансона. За допомогою спеціального захвату та підйомного пристрою виливок витягають із кокілю й переміщують у термічну піч на відпал. Кокіль очищають від залишків лиття, повертають піддон із центральною частиною кокілю на місце, замикають бандажі та замикають кокіль зверху пуансоном. Цикл виготовлення виливків повторюється.

При розробці кокільної установки застосовано метод її компонування з окремих вузлів: станини з консольною рамою та двома стійками, пуансона, бандажів, піддона, рольганга, пневмоциліндрів і пульта керування з пневмосистемою.

Станина є зварною конструкцією, у центральній частині якої розташована консольна рама або кронштейн, а зліва й справа стійки. На кронштейн вертикально встановлено пневмоциліндр, що приводить у рух пуансон, який вертикально переміщується направляючими. Пуансон виконує роль верхньої частини кокілью, оскільки його нижня поверхня є формотворчою. До бічних стійок кріпляться пневмоциліндри, що їх приводять у рух бандажі, в які вмонтовані бічні плити графітового кокілью. Піддон із закріпленою в ньому центральною частиною кокілью переміщається рольгангом за допомогою пневмоциліндра, встановленого на задній частині станини.

Для керування роботою кокільної установки виготовлено пневмосистему, змонтовану в окремій шафі.

Кокільна установка була виготовлена дослідницьким виробництвом ФТІМС НАНУ. Загальний вид установки у зібраному вигляді на рис. 1, вигляд установки у положенні «видача виливка» — на рис. 2.

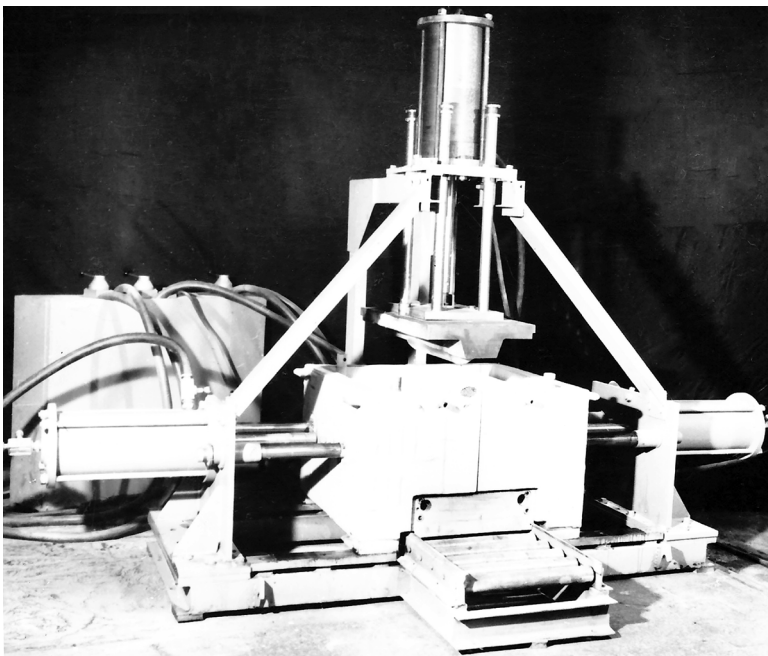


Рис. 1. Загальний вигляд кокільної установки

Випробування установки, відпрацювання технології одержання верхнього каменю було проведено на експериментальній ділянці відділу. У процесі випробувань визначено оптимальну температуру заливки розплаву в кокіль і температурно-часові характеристики отримання виливків. Методом термічного аналізу досліджено характер розподілу температурного поля у виливку при затвердінні та швидкість тверднення розплаву; методами петрографії досліджено будову і фазовий склад виливків.

Після випуску з плавильної печі у ківш розплав для дегазації витримували протягом 3–4 хв. Було проведено кілька серій дослідних плавок, по 2 у кожній. Розплав першої плавки заливали в холодний кокіль, другий — у гарячий, із температурою 120–170 °С. Для визначення оптимальної температури заливки розплаву температуру розплаву змінювали в інтервалі 1375–1425 °С. Для зняття температурного поля виливка, що формується, перед заливкою в кокіль поміщали термопари ВР20, розміщуючи їх по осевій лінії на відстані 100 мм від верхньої площини виливка в центрі, на відстані 50 і 25 мм від бічної поверхні, а також у поверхневому шарі виливка, рис. 3. Крім того,

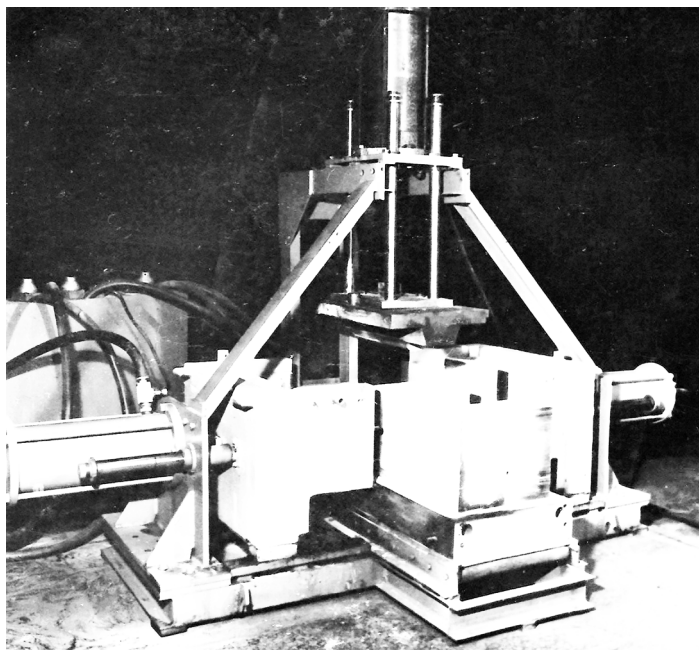


Рис. 2. Вигляд установки у положенні «видача виливка»

дві термопари розмістили в центрі опорної плити товщиною 50 мм і поверхневому шарі. Для запису температури застосували АЦП NI6009 USB. Температуру кокілю вимірювали переносною хромель-алюмелевою термопарою.

У першій серії дослідів при гарячому випробуванні кокілю визначено можливість отримання виливків. Заливку розплаву здійснювали у відкритий кокіль протягом 20–25 с. Виливки витримували в кокілі 15 та 20 хв для тверднення. Усі виливки отримано придатними: тріщини відсутні, поверхня рівна, грані та кути чіткі, склофаза відсутня. На поверхні місцями є краплі застиглого розплаву, що утворилися від бризок при заливанні. Структура виливків по всьому перерізу однорідна, дрібнозерниста в зовнішньому шарі і середньозерниста в центральній частині з величиною кристалів фторфлогопіту від 1–2 до 3–5 мм. Усадкові раковини в кількості 3–5 шт. мали висоту 10–15 мм, ширину 60–110 мм, рис. 4. Під усадковими раковинами є пухкість шириною 40–70 мм, висотою 20–30 мм.

У другій серії дослідів визначено температурно-часові характеристики отримання виливків. Заливку розплаву здійснювали через металеву трубу діаметром 50 мм із заливною лійкою, яку видаляли після заливання. Виливки витримували в кокілі 13–16 хв та витягували. Показники технологічних параметрів отриманих виливків наведено у таблиці.

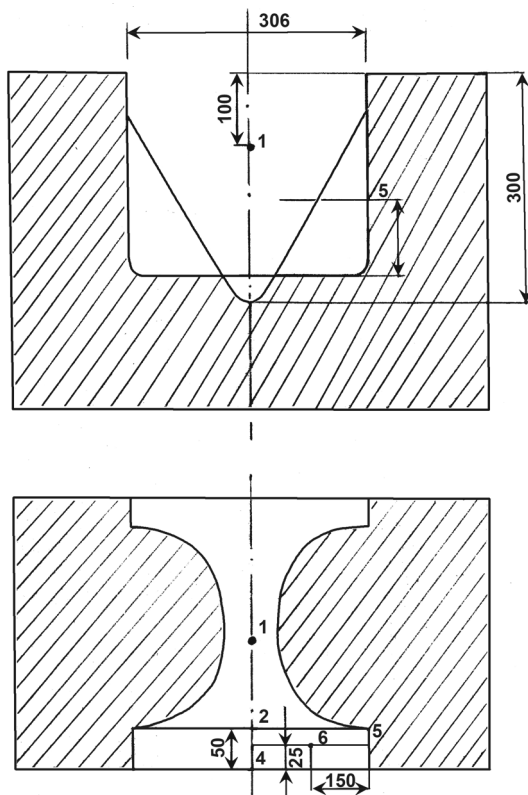


Рис. 3. схематичне зображення кокілю в розрізі



Рис. 4. Структура матеріалу та розташування усадкових раковин

Виливки вийшли придатними, тріщини були відсутні, поверхня рівна, грані та кути чіткі. Помічено, що при зменшенні швидкості заливання поверхня виливків шорстка з неспаями, особливо при заливанні в холодний кокіль.

Дослідження поперечних відколів виливків показало, що макробудова виливків, отриманих у холодних і гарячих кокілях, має помітну відмінність. Так, перші мають дрібнокристалічну, практично однорідну будову, а другі — крупнокристалічну, із вираженою зональністю, рис. 4 і 5.

Об'ємна усадка, яка реалізується у вигляді концентричних усадкових раковин, збільшується з підвищенням

Температурно-часові параметри одержання виливка верхнього каменя в кокільній установці

Параметри	Серія 2		Серія 3	
	Плавка 1	Плавка 2	Плавка 1	Плавка 2
Температура розплаву в розливному ківші, °C	—	1520	1425	1605
Тривалість заповнення ковша розплавом при розливці з печі, с	120	60	120	130
Тривалість заповнення кокілю, с	75	66	45	69
Витримка в кокілі, хв	15	15,5	13	13
Рознімання форми і розбирання кокілю, хв	2	2,4	3	3
Температура внутрішньої поверхні кокілю в нижній частині, °C	—	200	—	200
Температура внутрішньої поверхні кокілю в нижній частині, °C	—	190	—	195

температури заливки, подібно до металів. Так, при температурі заливки вище 1400 °C виливки мають до 10–12 усадкових раковин, що розташовані одна під одною і відгороджені мостами, товщина яких збільшується від верху надливу до тіла виливка від 2–3 мм до 10–15 мм. При нижчих температурах заливки кількість та розмір усадкових раковин скорочується до 4–5 шт. Усадкові раковини, як правило, зосереджені в надливній частині та під нею на глибині не більше 50–60 мм і на якість виливків «верхній камінь» не впливають, оскільки при експлуатації вони розташовані вище за рівень електроліту в електролізері.

Дослідження мікроструктури матеріалу виливків показало, що зразки мають полікристалічну будову, утворену кристалами калієвого фторфлогопіту гексагональної та псевдогексагональної форми, у поверхневих шарах вони деформовані, переплетені, зім'яті, вигнуті, що пояснюється нерівноважними умовами їх зростання при миттєвому затвердінні та кристалізації. Фазовий склад матеріалу представлений зазвичай фторфлогопітом і домішками енстатиту та склофазою.

Результати експериментального дослідження затверднення виливків із фторфлогопіту в графітовому кокілї наведено на рис. 6. Аналіз даних показує, що найбільш інтенсивно виливок охолоджується в перший період після заливки на початковій стадії тверднення, що характерно для каменелитих виробів [5]. Особливо чітко це проявляється у поверхневих шарах виливка (криві 4 та 5), де протягом перших 5–6 хв в інтервалі температур заливка-початок кристалізації охолодження відбувається зі швидкістю 100–120 °С. Потім швидкість охолодження в цих шарах зменшується до 20–30 °С, а через 10–20 хв до 3–5 °С. У проміжному шарі 25 і 50 мм від поверхні виливка (криві 5 і 6) протягом перших 2–3 хв також спостерігається велика швидкість охолодження (60–100 °С), але менше, ніж у поверхневому шарі. Горизонтальні ділянки на кривих 3 і 6 свідчать про кристалізацію фторфлогопіту, яка триває 3–4 хв. У наступні 15 хв швидкість охолодження на кривій 3 становить близько 10 °С/хв, а на кривій 6 близько 25 °С/хв, і далі інтенсивність охолодження зменшується.

У центрі виливка і в 50 мм від поверхні (криві 1 і 2) протягом перших 5–6 хв в інтервалі температур заливка-початок кристалізації швидкість охолодження значно менша, ніж у зовнішніх шарах, і становить близько 30 °С/хв. Потім на кривих 1 і 2 відзначено горизонтальні ділянки, що свідчать про кристалізацію фторфлогопіту, яка в центрі виливки відбувалася протягом 35 хв, а в 50 мм від поверхні близько 20–25 хв. Потім швидкість охолодження зменшується до 10 °С/хв і менше.

Аналіз температурних кривих охолодження виливків показує також, що перепад температур між центром і поверхнею протягом усього часу тверднення досягає



Рис. 5. Структура матеріалу та розташування усадкових раковин

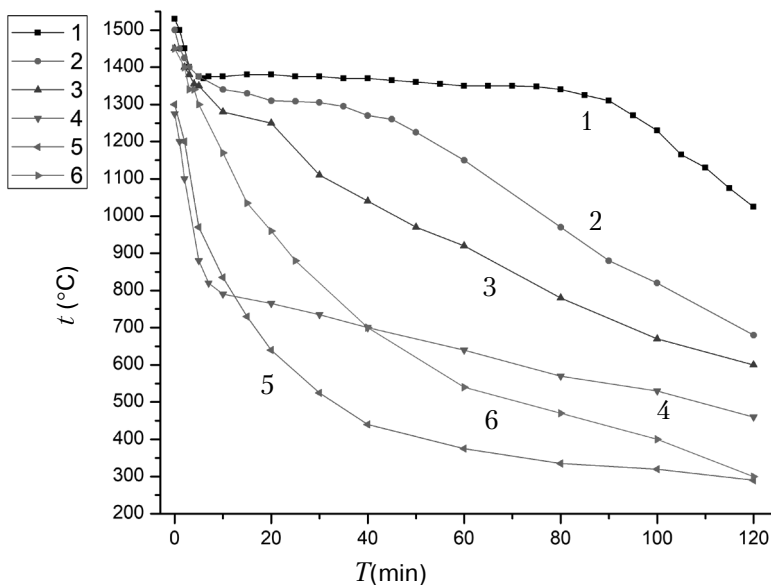


Рис. 6. Графік дослідження тверднення виливків

значної величини 700–1000 °С. Особливо суттєво ця різниця проявляється після перших 5–6 хв, тобто після тверднення проміжного шару товщиною 25 мм. При цьому слід зазначити, що температура поверхневих шарів вилівка через 5–6 хв після заливання розплаву становить близько 900 °С, а через 10 хв — 800 °С. Тому при отриманні фторфлогопітового литва у графітовій формі вилівок можна витягувати з неї через 18–20 хв, оскільки температура зовнішнього шару завтовшки 25–30 мм не перевищуватиме 900 °С. При цій температурі властивості міцності кам'янолитного матеріалу досить високі і становлять 100–150 кгс/см² [6].

Дослідження макробудови матеріалу дослідних виливків, отриманих литтям у пісочну та графітову форми, показало, що ця будова здебільшого є функцією хімічного складу. Однак при литті в піщану форму товщина коркового шару становить 1–2 мм, тоді як у графітовій — збільшується до 4–5 мм, що пояснюється зміною теплофізичних умов тверднення вилівка. Збільшення товщини ливарної корки є фактором, що сприяє підвищенню корозійної і термомеханічної стійкості фторфлогопітових виробів. Таким чином, застосування графітового кокілю є перспективним методом виготовлення фасонних фторфлогопітових виробів.

Список літератури

- 1 Литейное производство / Под ред. Д.т.н., проф. И.Б. Куманина, Москва: Машиностроение, 1971. 320 с.
- 2 Вейник А.Й. Кокиль. Минск: Наука и техника, 1972. 352 с.
- 3 Липницкий А.М. Литье в металлические формы. Ленинград: Машиностроение, 1969. 105 с.
- 4 Липницкий А.М. Литье в металлические формы. Ленинград: Машиностроение, 1969, 105 с.
- 5 Хан Б.Х. и др. Затвердевание и кристаллизация каменного литья. Киев: Наук. думка, 1969. 163 с.
- 6 Малявин А.Г. Исследование и разработка технологии получения фасонного фторфлогопитового литья: Дис. канд...техн. наук. Киев, 1983. 216 с.

Надійшла 25.05.2023

References

- 1 Foundry production / pod red. Y.B. Kumanyina. M oskva: Mashynostroenye, 1971. 320 p. [in Russian].
- 2 Veinyk A.I. Chill mold. Mynsk: Nauka y tekhnika, 1972. 352 p. [in Russian].
- 3 Lypnytskyi A.M. Casting in metal molds. Lenynhrad: Mashynostroenye, 1969. 105 p. [in Russian].
- 4 Khan B.Kh. and others. Application of fluorophlogopite casting in magnesium production. Tsvetnye metally, 1984. No 1. P. 61–63 [in Russian].
- 5 Khan B.Kh. and others. Solidification and crystallization of stone casting. Kyiv: Nauk. dumka, 1969. 163 p. [in Russian].
- 6 Maliavyn A.H. Research and development of technology for obtaining shaped fuorophlogopite casting. Dys. kand. tekhn. nauk. Kyiv, 1983. 216 p. [in Russian].

Received 25.05.2023

A.H. Maliavin, PhD (Engin.), Senior Researcher; e-mail: amalavin621@gmail.com;
ORCID 0000-0003-0004-2393

O.A. Kuzmenko, Junior Researcher; e-mail: kuzma17071986@gmail.com;
ORCID 0009-0005-5713-1401

V.O. Shcheretskyi, PhD (Engin.), Leading Researcher; e-mail: rnmptima@ukr.net;
ORCID 0000-0002-8561-4444

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

OBTAINING SHAPED FLUOROPHLOGOPITE PRODUCTS BY CHILL CASTING

The paper examines the influence of casting methods on the quality of fluorophlogopite products, as well as the occurrence of casting defects. It is noted that sand casting allows one to obtain high-quality castings with precise geometric dimensions, reduces the cost of preparing casting molds, and allows to automation the technological process. The possibility of obtaining complex-shaped products by sand casting is studied. The quality of castings made of fluorophlogopite in cold and hot sand molds was investigated. It was established that the pouring rate reduction makes the surface of the castings becomes rougher with non-bonded areas, especially when pouring into a cold mold. The study of transverse fractures of castings showed that the macrostructure of castings obtained in cold and hot sand molds has a noticeable difference. Castings obtained at a pouring temperature above 1400 °C have up to 10–12 shrinkage cavities, located one under the other and separated by partitions. Shrinkage cavities are concentrated in the inflow part and below it to a depth of no more than 50–60 mm. The sand mold casting has the thickness of the crust layer 1–2 mm, for graphite mold, it increases up to 4–5 mm, due to the change in thermophysical conditions of solidification of the casting. An increase in the thickness of the casting crust is a favorable factor that contributes to an increase in the corrosion and thermomechanical stability of fluorophlogopite products. Thus, casting fluorophlogopite products in a graphite mold is a promising method for manufacturing shaped fluorophlogopite castings with increased accuracy and smooth surface

Keywords: chill casting, fluorophlogopite, graphite chill mold, shrink sink, casting defects.