

**Затуловський А.С., Малявін А.Г., Кузьменко О.А., Щерецький В.О.**  
**(ФТІМС НАН України, м. Київ)**  
**ФТОРФЛОГОПІТОВОЕ КАМ'ЯНЕ ЛИТТЯ -**  
**ДІЕЛЕКТРИЧНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ КРІОГЕННОЇ ТЕХНІКИ**  
**E-mail: kuzma17071986@gmail.com**

Унікальний комплекс фізико-хімічних і механічних властивостей, а також висока технологічність в процесі виготовлення і обробки каменелитого фторфлогопітового матеріалу забезпечили йому широке застосування в кольоровій металургії і ливарному виробництві. Фасонні вироби, тиглі, труби, корозійностійка ливарна оснастка використовується при плавці, розливанні, дозуванні алюмінію, цинку, магнію, мідних сплавів. Як жароміцний і термостійкий, діелектричний матеріал застосовують для деталей енергетичного устаткування, що працює при високих (до 900-1000 °С) температурах, а також для ізоляторів теплостійких електричних з'єднань.

Матеріал каменелитих фторфлогопітових виробів володіє унікальним поєднанням і рівнем фізико-технічних властивостей і структури, які не мають вогнетривкі матеріали, що застосовуються у виробництві кольорових металів (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристика каменелитого матеріалу

Властивості	Одиниці виміру	Температура, °С		
		20	600	900
Щільність	кг/м <sup>3</sup>	2,65	-	-
Межа міцності при стисненні	МПа	60-120	-	-
Межа міцності при згинанні	МПа	20-35	-	-
Термічна стійкість	Кільк. циклів	-	>500	>300
Коефіцієнт лінійного термічного розширення	Град <sup>-1</sup> •10 <sup>-6</sup>	7,6	6,2	6,0
Питомий об'ємний опір	МОм•см	2,1•10 <sup>13</sup> -4•10 <sup>14</sup>	-	1•10 <sup>9</sup> -3•10 <sup>12</sup>
Питомий поверхневий опір	МОм	4•10 <sup>11</sup> -1,8•10 <sup>13</sup>	-	-
Електрична міцність	КВт/мм	135-140	85	-

З метою визначення можливості застосування каменелитого фторфлогопітового матеріалу в якості діелектрика для контактних плат надпровідних

магнітних систем (СМС) були виготовлені зразки і проведено їх випробування. Для цього з фторфлогопітового розплаву були відлиті циліндричні стрижні діаметром 110 мм, з яких на металообробних верстатах виготовили зразки.

Хімічний склад фторфлогопітового матеріалу наступний (мас. %):  $\text{SiO}_2 = 41,6$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,8$ ;  $\text{MgO} = 26,9$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 9,1$ ;  $\text{CaO} = 0,7$ ;  $\text{F}_2 = 10,6$ . Отримані виливки мали однорідну полікристалічну будову з розміром кристалів фторфлогопіту 0,5-2,5 мм. Пластинчасті кристали фторфлогопіту орієнтовані хаотично, обумовлюючи змішано-пластинчасту структуру литого матеріалу. Фазовий склад матеріалу містить в основному калієвий фторфлогопіт (85-90 об.%), домішки – енстатит і склофаза (10-15 об.%).

На першому етапі випробувань виконували вакуумний відпал зразків при  $800\text{ }^\circ\text{C}$  і тиску  $1 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст. протягом 2 год. Визначили, що фізико-механічні властивості каменелитого матеріалу не змінюються. Крім цього, геометричні розміри зразків також не змінюються, тобто вони не дають усадки і не утворюють газоподібних продуктів.

Потім зразки матеріалу були піддані циклічному низькотемпературному впливу шляхом обробки рідким гелієм при температурі  $-268\text{ }^\circ\text{C}$  та з наступним нагріванням до  $100\text{ }^\circ\text{C}$  протягом 5 хв. Всього було вироблено 35 таких циклів. Всі зразки витримали термоциклічні випробування без змін. Результати випробувань показали можливість роботи фторфлогопітового матеріалу в умовах низьких і високих температур в діапазоні від  $-268$  до  $900\text{ }^\circ\text{C}$ .

На основі проведених випробувань була виготовлена дослідна партія електроізоляційних контактних плат діаметром 105 мм, висотою 15 мм в кількості 8 шт. Контактні плати були встановлені на робочих надпровідних магнітних системах.