



ХІІ Міжнародна он-лайн конференція
«Проблеми теплофізики та теплоенергетики»
26-27 жовтня 2021 р.

ГІДРОДИНАМІКА ТА ТЕПЛООБМІН РОЗПЛАВУ БАЗАЛЬТУ В ФІДЕРІ ПЕЧІ ПЛАВИЛЬНОЇ

**Доповідач – пров. наук. співроб. лаб. ТМО ПУ відділу ТМПТ
зав. лаб. ТМО ПУ відділу ТМПТ
зав. відділом ТОЕТ
доц. кафедри КН КиМУ**

**Тимощенко А.В.
Кремньов В.О.
Басок Б.І.
Тимощенко О.Б.**

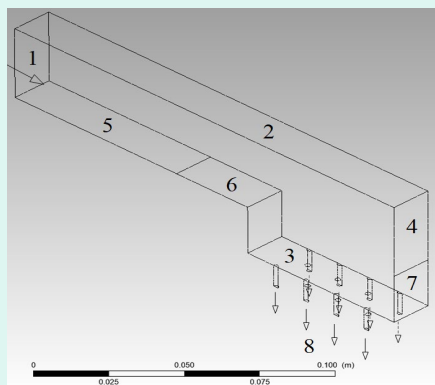
Мета роботи полягала в побудові границь гарнісажного шару в ванній та фідерній частинах печі, обчисленні значень верхньої та нижньої меж кристалізації розплаву, аналізі впливу граничних умов моделі на процеси витікання розплаву з фідерної частини печі через філь'єрний живильник при формуванні базальтових волокон.

Методи досліджень

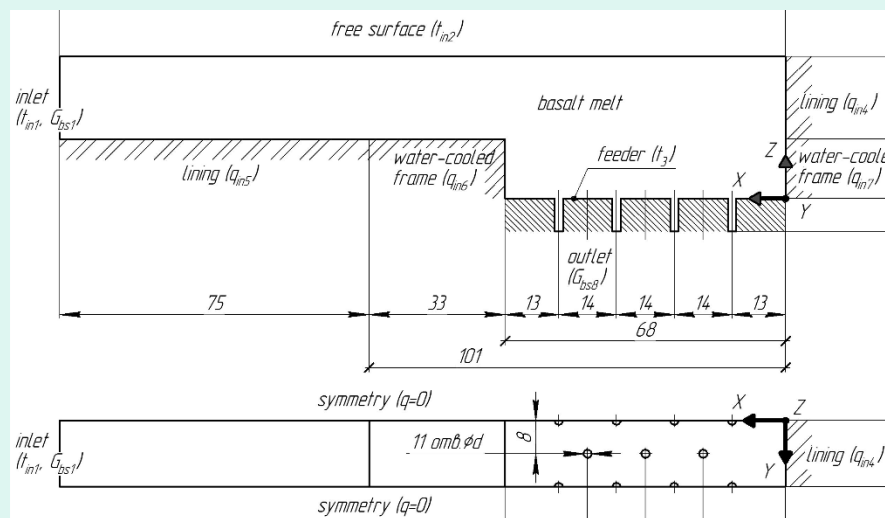
Реальна картина течії та теплообміну розплаву базальту в модульних плавильних установках обмежена кінцевими розмірами ванної та фідерної частин печей та, з огляду на їх співрозмірність з товщиною шару розплаву, розглядалася в тривимірній постановці. Досліджувалися гідродинаміка та теплообмін розплаву базальту при ламінарній безнапірній усталеній течії з урахуванням зміни його теплофізичних властивостей від температури, в ванній та фідерній частинах плавильної печі. Розплав розглядався як ньютонівська нестислива рідина, середовище розглядалося як непрозоре, дисипативні ефекти не враховувалися.

Застосовувався комбінований метод дослідження. Спочатку проводилося математичне моделювання течії та теплообміну в розплаві базальту з використанням CFD пакета в 3D постановці. Зокрема, для моделювання руху та теплообміну розплаву з вільною поверхнею використовувалась модель VOF (Volume of Fluid) в постановці Open Channel Flow. Апробація результатів дослідження проводилась на експериментальних, дослідних та головних зразках обладнання під час їх промислової підконтрольної експлуатації. Пряме вимірювання полів швидкостей та температур розплаву базальту не проводилося. Про достовірність (якісну та кількісну відповідність) результатів моделювання реальному процесу судили за непрямими ознаками: а) розмірам та структурі мінералізованого розплаву в фідері плавильної установки; б) рівномірності витікання розплаву з філь'єр (при забезпеченні рівних зовнішніх умов для витікання розплаву та формування волокна); в) за величиною розкиду та законом розподілу діаметрів безперервних базальтових волокон.

Результати. Одержано поля швидкостей, температури та тиску, встановлено розміри гарнісажного шару в фідері печі, вивчено вплив на них таких технологічних факторів, як температури, рівня та витрати розплаву, температури поверхні фільєрного живильника. Встановлено, що температурна неоднорідність призводить до гідродинамічної неоднорідності, внаслідок чого різні елементарні об'єми розплаву базальту не однаковий час перебувають у ванній печі плавильної і повинні мати різну ступінь гомогенізації. Ситуація ускладнюється на водоохолоджувальних елементах кріплення фільєрного живильника, на них спостерігається значна деформація профілів швидкості і температури, значно збільшуються розміри гарнісажного шару, стаючи пропорційними з глибиною шару розплаву. Наслідком температурної, а за нею й в'язкостної, неоднорідності, є нерівномірна робота фільєрних каналів. Течія в них характеризується різними масовими витратами розплаву та, в тому числі, виступає джерелом різнотовщинності базальтових волокон. Крім того, наявність в фільєрному живильнику областей розплаву з різною в'язкістю викликає подальше порушення технологічного процесу за рахунок збільшеної обривності волокна.



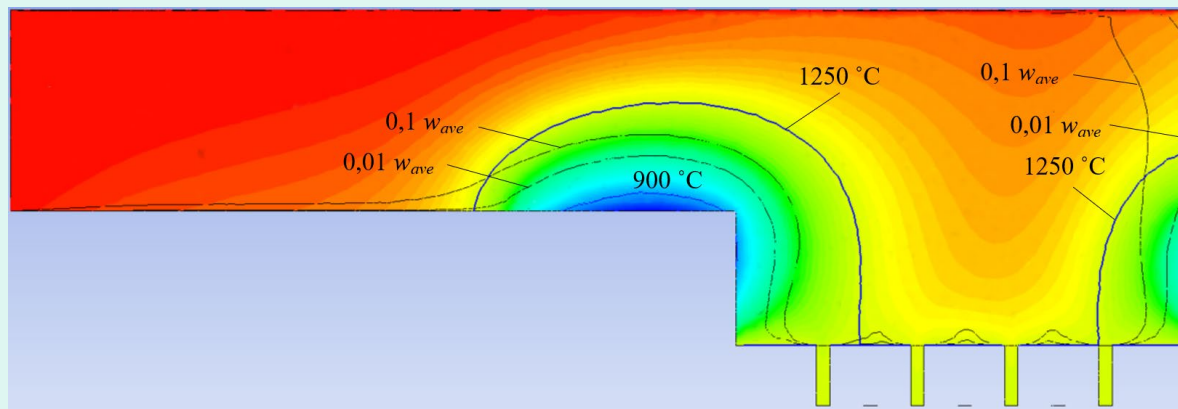
а)



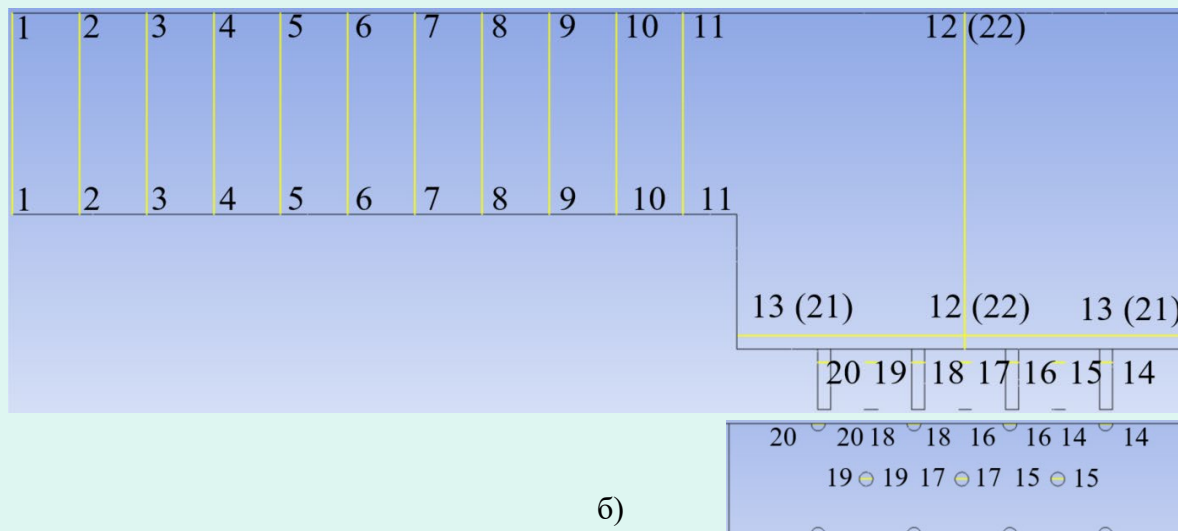
б)

Рис. 1. Розрахункова область: а) ізометрія області: 1 – початковий переріз (вхід розплаву базальту); 2 – вільна поверхня розплаву базальту; 3 – фільєрний живильник; 4 – футеровка фідера печі; 5 – футеровка ванної печі (перелив); 6, 7 – кріплення фільєрного живильника, яке охолоджується водою; б) розміри та позначення границь моделі (мм).

В якості факторів, які впливають на об'єкт, розглядалися: а) рівень розплаву базальту над фільтрним живильником (h); б) температура розплаву на границі розрахункової області (t_{in}); в) густина теплового потоку на границях розрахункової області (q_{in}); г) масова витрата розплаву через розрахункову область (G_{bs}); д) температура поверхні пластинчастого живильника (t_3).

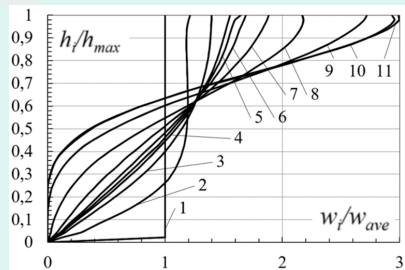


а)

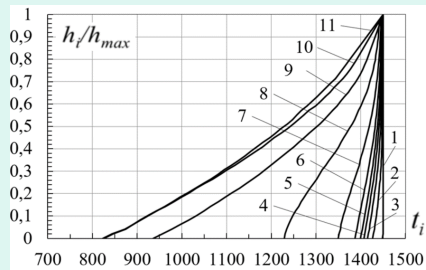


б)

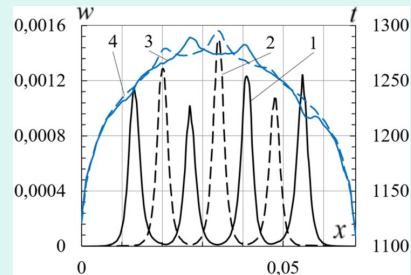
Рис. 2. Розрахункова область: а) перетини паралельні площині ZY; б) перетини паралельні площині XY та розташовані в фільтрних каналах.



а)

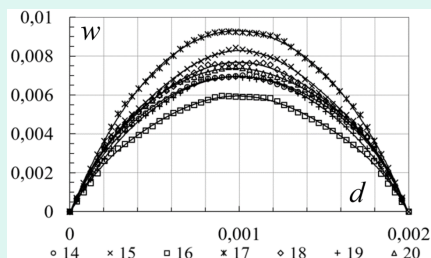


б)

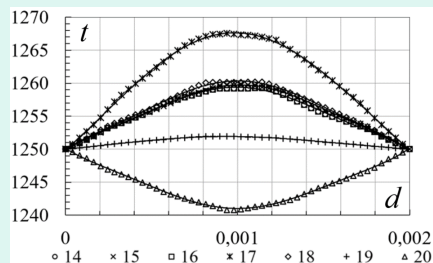


в)

Рис. 3. Результати моделювання (G_{max} ; $h_{max} = 30$ мм): швидкості (а) та температури (б) розплаву по глибині шару; (в) профілі швидкості та температури розплаву (1, 2 – профілі швидкості w (м/с), перетини 13-13 та 21-21, відповідно, ліва вісь ординат; 3, 4 – профілі температури t (°C), перетини 13-13 та 21-21, відповідно, права вісь ординат).



а)



б)

Рис. 4. Розподіл швидкостей (а) та температур (б) за перерізом фільтрального каналу.

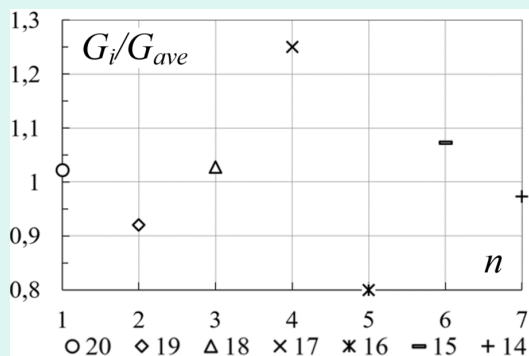


Рис. 5. Розподіл відносної витрати розплаву по рядах фільтрних каналів.

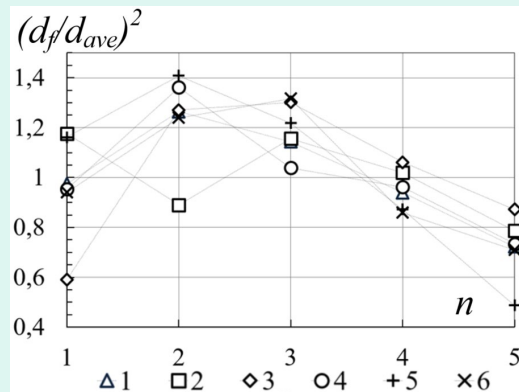


Рис. 6. Розподіл величини $\left(\frac{d_f}{d_{ave}}\right)^2$ по рядах фільтрних каналів.

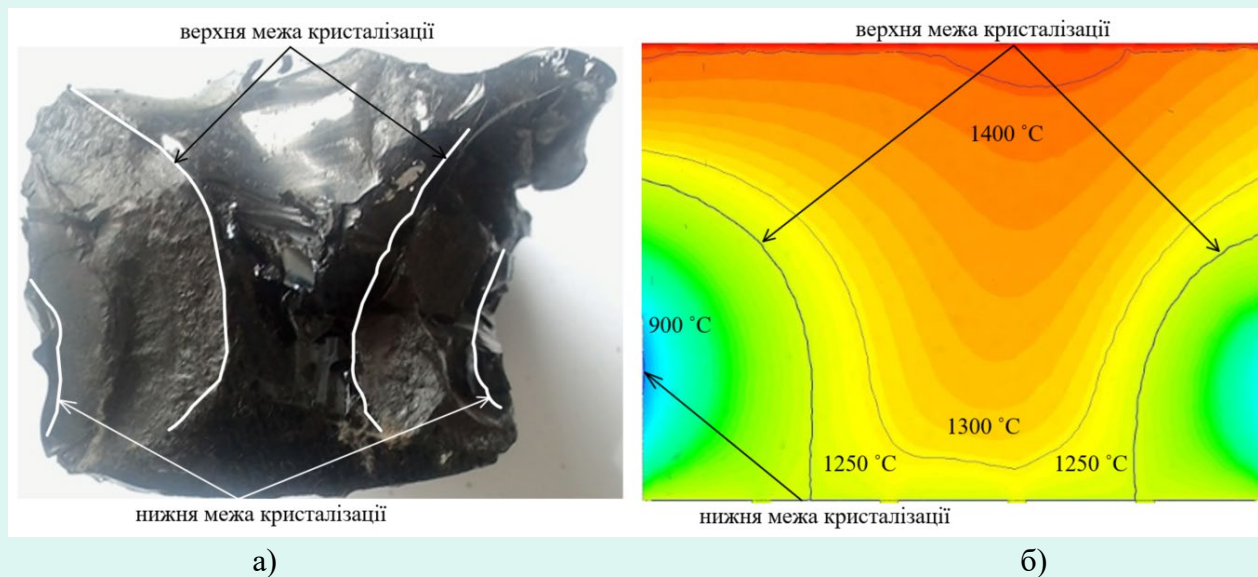


Рис. 7. Порівняння зразка базальту (а) з результатами моделювання (б).

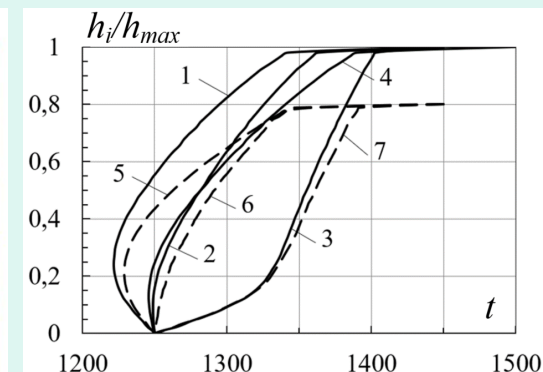


Рис. 8. Розподіл температури розплаву по висоті фідера, перетин 12-12:

- 1 - $0,3G_{max}$; 2 - $0,5G_{max}$;
- 3 - G_{max} ; 4 - $0,3G_{max}$;
- 5 - $h = 40$ мм; $0,3G_{max}$;
- 6 - $h = 40$ мм; $0,5G_{max}$;
- 7 - $h = 40$ мм; G_{max} .

ВИСНОВОК

Одержано розміри гарнісажного шару в ванному та фідерному просторі печі. Досліджено вплив на розміри гарнісажного шару інтенсивності охолодження поверхні розділу, витрати, рівня та середньої температури розплаву базальту. Встановлено, що до сукупності факторів, що впливають на стабільність технологічного процесу та однорідність ансамблю базальтових волокон, слід додати внутрішні умови течії та теплообміну розплаву в ванній та фідері печі плавильної. На практиці це дозволило сформулювати вихідні дані для модернізації фідеру плавильної печі та вузла кріплення пластинчастого фільтрального живильника.