

УДК 621.74.5

Чайковський О. А., Хасан О. С., Литвинець Є. А., Ольшевський В. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРВИННОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ

Використання термічного аналізу (ТА) із застосуванням сучасного високошвидкісного обладнання надає можливість детально аналізувати фазові перетворення розплавів під час кристалізації [1]. Сутність його полягає у побудові температурних кривих (термограм) і знаходженні на них характерних ділянок, які пов'язані з тепловими ефектами при фазових перетвореннях.

Дослідження первинної кристалізації чавуну модифікованого у ливарній формі за допомогою ТА у поєднанні з мікроструктурним аналізом дозволило встановити залежності впливу зміни швидкості охолодження на площу зайняту графітовими включеннями та їх розмір у чавуні з кулястим графітом.

Перебіг процесів графітоутворення сірого чавуну (СЧ) та чавуну з кулястим графітом (ЧКГ), обробленого поза формою, вивчені достатньо, а чавун модифікований у ливарній формі практично не досліджувався методами ТА у залежності від швидкості охолодження виливка. Різна швидкість охолодження виливків з модифікованого чавуну змінює умови перебігу процесів графітоутворення чавуну. В теплових вузлах масивних виливків з'являється небезпека утворення нерівномірного формування графітних включень [2, 3].

Метою роботи було дослідження впливу швидкості охолодження виливків на розмір і площу, зайняту графітом у чавуні, модифікованому у формі.

Чавун (С – 3,8 %; Si – 1,8 %; Mn – 0,3 %; S–0,03 %; P – 0,05 %) виплавляли в індукційній печі ІСТ-006 і заливали в підсушені піщано-глинисті форми. Тривалість заливання складала 12 ± 2 с.

Для сфероїдизувального модифікування чавуну у формі («інмолд-процес») використовували модифікатор ФСМг-7 (ТУ 14-5-134-86) (табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад модифікатора ФСМг-7

Елемент	Mg	Ca	PЗМ	Si	Al	Fe
Вміст, %	5,5–8,5	0,2–1,0	0,3–1,0	45–55	1,2	решта

Для дослідження впливу товщини стінки виливка на розподілення графітних включень у чавуні була розроблена технологічна проба, яка імітувала умови кристалізації виливків за різних умов охолодження. Експериментальна проба складалася з 5 зразків ($15 \times 5 \times 30$, $15 \times 10 \times 30$, $15 \times 15 \times 30$, $15 \times 20 \times 30$, $15 \times 30 \times 30$), реакційної камери, відцентрового шлаковловлювача, ливникового ходу з живильниками (рис. 1).

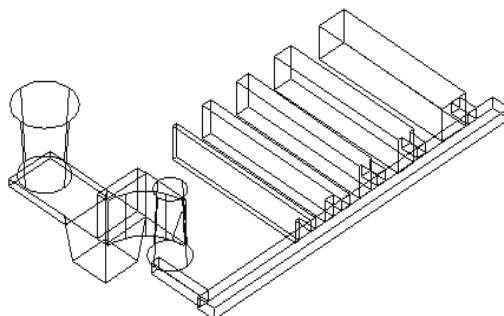


Рис. 1. Технологічна проба

Температуру чавуну у ковші перед заливанням вимірювали за допомогою термопару марки ВР-5/20, що була під'єднана до потенціометра. У порожнину кожного зразка встановлювали термопару ВР-5/20 для зняття кривої охолодження. Розливання металу проводили заливальними ковшами ємністю 60 та 10 кг.

Форми охолоджувалися до кімнатної температури, після чого проводили їх вибивання. Із отриманих зразків технологічної проби виготовляли шліфи для проведення мікроструктурного аналізу чавуну.

Чавун заливали при температурі 1400 °С. Реєстрацію і обробку кривих охолодження проводили за допомогою контрольно-вимірювального комплексу, який складався з комп'ютера, восьмиканального АЦП і спеціально розробленого програмного забезпечення.

Аналіз розподілення графітних включень в структурі чавуну проводили на шліфах, що були виготовлені зі зразків експериментальної проби. Для визначення площі, що займають графітові включення в структурі чавуну, використовували точковий метод Глаголева.

Аналіз кривої охолодження та її першої похідної дозволив визначити характерні етапи формування виливків: зняття перегріву, кристалізацію та охолодження після завершення кристалізації (рис. 2).

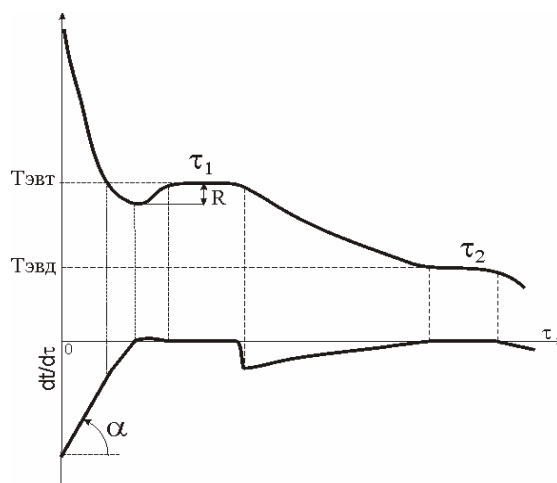


Рис. 2. Узагальнений вигляд кривої охолодження та її першої похідної:

$T_{эвт}$ – температура евтектичного перетворення; $T_{эвд}$ – температура евтектоїдного перетворення; τ_1 – тривалість евтектичного перетворення; τ_2 – тривалість евтектоїдного перетворення; R – величина рекалесценції; α – кут нахилу першої похідної на ділянці охолодження рідини

Аналіз часових і температурних характеристик даних етапів дозволив визначити швидкості охолодження чавуну, величину рекалесценції, температуру та тривалість евтектичного перетворення для виливків з різною товщиною стінок.

В результаті проведених експериментів встановлено, що при збільшенні товщини стінки зразків від 5 мм до 30 мм площа зайнята графітом зменшується з 18 % до 10 %, розмір графітових включень збільшується від 14 мкм до 32 мкм (рис. 3). Природно, що при різній товщині стінки зразків змінюються й умови їх охолодження у формі. Аналіз отриманих кривих охолодження показав наступне.

При збільшенні товщини стінки зразка знижується швидкість охолодження розплаву. Таким чином, збільшується час охолодження розплаву до початку кристалізації та зменшується кут нахилу першої похідної ділянки охолодження розплаву, що й визначає цей час (рис. 4). Це створює сприятливі умови для збільшення розмірів стійких центрів кристалізації за рахунок дифузії вуглецю з розплаву та за рахунок флуктуаційних процесів утворення та розпаду не стійких центрів кристалізації.

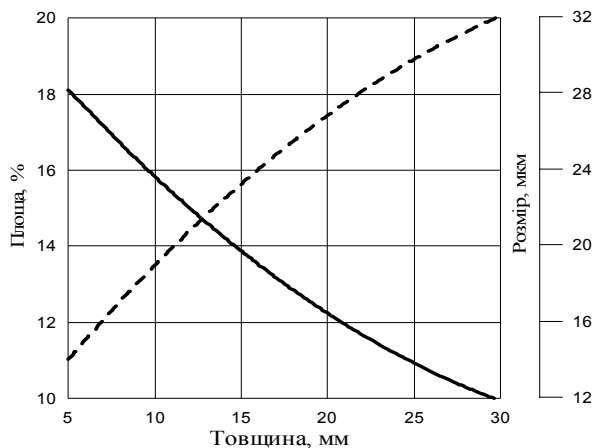


Рис. 3. Вплив товщини стінки виливка на площу, зайняту графітом та на його розмір:

----- Розмір
 ————— Площа

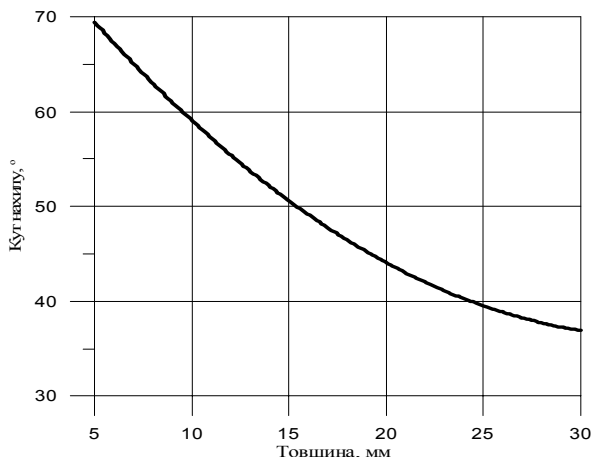


Рис. 4. Вплив товщини стінки виливка на кут нахилу першої похідної кривої охолодження

Також, при збільшенні товщини зразків, у вказаних межах, спостерігається зменшення величини рекалесценції від 60 °С до 42 °С (рис. 5). Величина рекалесценції обумовлена виділенням прихованої теплоти при зростанні центрів кристалізації. Таким чином, зменшення значення величини рекалесценції вказує, що виділяється менша кількість прихованої теплоти кристалізації. Це відбувається за рахунок зменшення кількості стійких центрів кристалізації графіту у розплаві, що починає кристалізуватись, та, ймовірно додатково, внаслідок уповільнення їх зростання. Уповільнення зростання пов'язано з тим, що швидкість дифузії вуглецю є величиною постійною, при вказаних умовах проведення експерименту, а зменшення кількості стійких центрів кристалізації призводить до збільшення відстані між ними. Тобто, вуглець має подолати більшу відстань, а відповідно на це витрачається й більше часу.

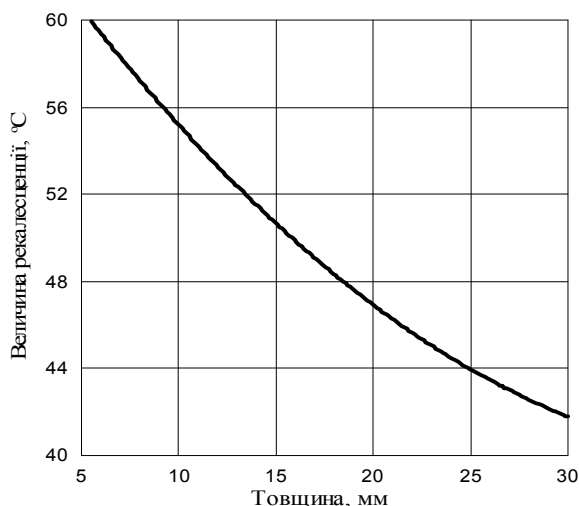


Рис. 5. Вплив товщини стінки виливка на величину рекалесценції

При збільшенні товщини стінки зразків та, відповідно, зміні умов охолодження, тобто, уповільнення, спостерігається підвищення температури евтектичного перетворення від 1056 °С до 1090 °С. При цьому, одночасно, відбувається збільшення тривалості евтектичного перетворення з 11 с до 40 с (рис. 6). Збільшення температури та тривалості евтектичного перетворення створює сприятливіші умови для дифузії вуглецю до центрів кристалізації. Підвищення температури, вірогідно, призводить й до збільшення швидкості дифузії вуглецю за рахунок підвищення

термодинамічної активності вуглецю у розплаві. Збільшення тривалості евтектичного перетворення поліпшує кінетичні умови дифузії вуглецю. Таким чином створюються сприятливі термодинамічні та кінетичні умови для збільшення розмірів графітових включень.

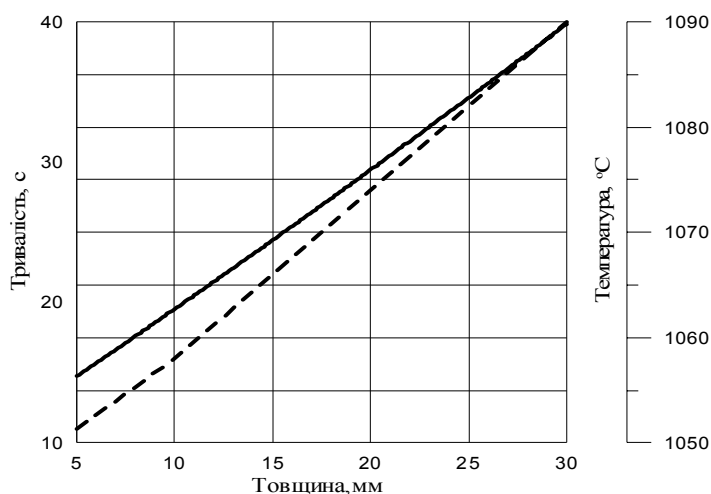


Рис. 6. Вплив товщини стінки виливка на температуру і тривалість евтектичного перетворення

На рис. 7 представлені характерні структури зразків технологічної проби з різною товщиною стінок.

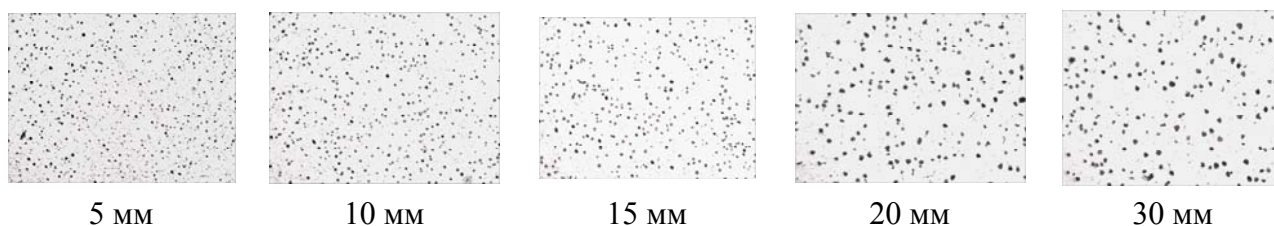


Рис. 7. Розмір та площа графітних включень в залежності від товщини стінки виливка

ВИСНОВКИ

В результаті проведених експериментів встановлено, вплив зміни товщини стінки виливка на зміну умов охолодження та, відповідно, зміни характерних ділянок кривої охолодження при сфероїдизувальному модифікуванні чавуну у ливарній формі. При збільшенні товщини стінки виливка спостерігається збільшення розмірів графітових включень від 14 мкм до 32 мкм, а площа, зайнята графітом, зменшується з 18 % до 10 %.

Аналіз кривих охолодження дозволив встановити наступне. При збільшенні товщини стінки виливка від 5 мм до 30 мм зменшується величина рекалесценції від 60 °C до 42 °C, збільшується температура евтектичного перетворення від 1056 °C до 1090 °C та збільшується тривалість евтектичного перетворення від 11 с до 40 с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Косников Г. А. Термический анализ процессов структурообразования в чугунах : матер. НТК «Совр. литейн. матер. и технол. получения отливок» / Г. А. Косников, А. И. Куценко, Д. Аруса. – ЛДНТП. – Л., 1991. – С. 16–17.
2. Emadi D. Applications of thermal analysis in quality control of solidification process / D. Emadi, L. V. Whiting, S. Nafisi // Journal of thermal analysis and calorimetry. – Vol. 8, 2005. – P. 235–242.
3. Chen I.-G. Computer – aided differential thermal analysis of spheroidal and compact graphite cast irons / I.-G. Chen, D. M. Stefanescu // Transact. Amer. Foundrymens Soc., 1984. – № 92. – P. 947–964.