



УКРАЇНА

(19) UA (11) 81881 (13) C2

(51) МПК (2006)

G01N 25/20

G01N 25/30 (2007.01)

G01N 25/32 (2007.01)

G01N 25/38 (2007.01)

G01K 7/02

G01K 7/04 (2007.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ КАЛОРИМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ ОРГАНІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

1

2

(21) а200701608

(22) 15.02.2007

(24) 11.02.2008

(72) ЯКОВИШИН ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ, UA

(73) ЯКОВИШИН ОЛЕГ АНАТОЛІЙОВИЧ, UA

(56) SU, 1 182 282, A, 30.09.1985

UA, 14 740, A, 04.02.1997

UA, 20 143, A, 25.12.1997

UA, 69 549, A, 28.07.2003

Заявка RU, 95110981, A1, 27.04.1997

RU, 2 221 994, C1, 20.01.2004

RU, 2 229 117, C1, 20.05.2004

Заявка RU, 2004116418, 10.11.2005

GB, 1 391 121, A, 16.04.1875

EP, 0 977 983, B1, 03.07.2002

WO, 2006/066862, A2, 29.06.2006

JP, 10-160695, A, 19.06.1998

US, 4 812 051, A, 14.03.1989

Заявка US, 2002/0196834, A1, 26.12.2002

Литье по газифицируемым моделям. Под. ред.
Ю.А. Степанова. - М.:Машиностроение, 1976.- С.
6-34Рабек Я. Экспериментальные методы в химии
полимеров. Ч. 2. - М.: Мир, 1983. С. 171-202
Золотухин А.В. Прибор ДТА/ДСК для температур
300-2100 К с синхронной автокалибровкой по
встроенной капсуле с реперными
материалами//Завод. лаб. - 1996.- № 10.- С.25-28
Вишнякова Л.П., Шинский О.И., Моргун И.Н.
Исследование особенностей деструкции
пенополистироловых моделей с

имплантированными

металлическими

присадками//Процессы литья.- 2002.-№4.- С.48-51

(57) Спосіб калориметричного аналізу органічного матеріалу, за яким визначають температури фазових переходів органічного матеріалу при його нагріванні з їх фіксуванням за допомогою гарячого спаю термопари та одночасною реєстрацією змін температури термовимірювальним пристроєм, який відрізняється тим, що дослідження фазових переходів органічного матеріалу здійснюють шляхом занурення в розплав сплаву гарячого спаю термопари, який розташовують в кварцовому ковпачку з досліджуванним органічним матеріалом, незахищеного гарячого спаю додаткової другої термопари в зазначений розплав, гарячого спаю додаткової третьої термопари, який розташовують в кварцовому ковпачку з інертною речовиною також в зазначений розплав, гарячого спаю додаткової четвертої термопари, який розташовують в пустому кварцовому ковпачку, в також зазначений розплав сплаву - середовище, що передає тепло, при цьому одночасно реєструють і записують зміни температур, які фіксують всі термопари, що під'єднані до термовимірювального пристрою, в якому за допомогою програмного забезпечення порівнюють одержані температурні дані між собою і з їх еталонними значеннями і одержують значення температур фазових переходів органічного матеріалу.

Винахід відноситься до області фізичних методів дослідження матеріалів і може бути використаний в ливарному виробництві, металургійній та хімічній промисловостях.

Відомий спосіб дослідження газотвірності пінополістиролу [Вишнякова Л.П., Шинский О.И., Моргун И.Н.// Процессы литья.—2002—№4.— С.48-51], згідно якого механізм деструкції і кінетику газовиділення пінополістиролового зразка з

(19) UA (11) 81881 (13) C2

імплантованими металевими присадками проводять на установці, що складається з печі опору і контрольно-вимірювальної апаратури.

Недоліком цього способу є те, що він не повністю відтворює механізм взаємодії рідкого металу і моделі в процесі заповнення сплавом реальної форми.

Відомий спосіб високошвидкісної калориметрії для вивчення термічних явищ в полімерах при розкладенні або фазових переходах, включаючи нерівноважні стани [Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров.—М.: Мир, 1983.— Ч.2.—С.171—202].

При нагріванні полімерних зразків з великою швидкістю звичайно виникають значні температурні градієнти, що призводить до труднощів при виявленні кореляції між температурою зразка і властивостями, що вимірюються. Калориметричні виміри проводять при швидкостях нагріву близьких до 1 К/с, що не відповідає взаємодії полімерів з високотемпературним джерелом енергії, яка проходить з значно більшою швидкістю, наприклад, взаємодією полімеру і розплавленого сплаву.

Відомий спосіб тонкоплівкової калориметрії, згідно якого зразок полімеру нагрівають пропусканням електричного струму по металевій фользі, що контактує зі зразком. Швидкості нагрівання зразка полімеру можуть досягати значень 600 К/с [Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров.— М.: Мир, 1983.— 42.-с.171—202].

Недоліком цього способу є його значна складність. Для того, щоб якомога зменшити довжину шляху теплового потоку і звести до мінімуму проблеми, пов'язані зі значним температурним градієнтом, в спосіб використовують тонкоплівкові зразки полімерів товщиною 0.0005 см. Підготовчі операції даного способу займають значну кількість часу для виготовлення пакету з фольги і полімерних плівок для досліджень. Існує також нагальна необхідність використання тонкоплівкових термопар 0.001 см (мідь—константан). Оскільки зразок нагрівають пропусканням електричного струму по металевій фользі, досягти температури в пакеті, яка б відповідала температурі розплавленого залізовуглецевого сплаву немає ніякої технологічної можливості.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб вивчення газифікації пінополістиролу за методом випаровування малих крапель [Литье по газифицируемым моделям / Под ред. Ю.А.Степанова.—М.: Машиностроение, 1976.—С.22—23]. Суть методу полягає в подачі зразка пінополістиролу на нагріту до заданої температури поверхню нагрівача і визначення часу його газифікації від моменту контакту з тепловим джерелом до повного зникнення.

Недоліком цього способу є те, що він лише моделює процеси, які відбуваються в формі. Криві швидкості випаровування і газифікації пінополістиролу згідно опису способу, наведено лише для температур 700°C і 900°C.

Задача винаходу полягає в створенні способу теплової дії на органічні матеріали, при якому умови термічного розкладення матеріалів наближалися б до умов їх розкладення при контакті з високотемпературним джерелом теплової енергії, наприклад, розплавленим сплавом, і результати досліджень були б найбільш достовірними.

Поставлена задача досягається тим, що в спосіб калориметричного аналізу органічного матеріалу, що полягає в визначенні температур фазових переходів органічного матеріалу при його нагріванні з И фіксуванням за допомогою гарячого спаю термопар та одночасною реєстрацією змін температури термовимірювальним пристроєм, згідно з винаходом, дослідження фазових переходів органічного матеріалу здійснюють шляхом занурення в розплав сплаву гарячого спаю термопар, який знаходиться в кварцовому ковпачку з досліджуваним органічним матеріалом, незахищеного гарячого спаю додаткової другої термопар в зазначений розплав, гарячого спаю додаткової третьої термопар, який знаходиться в кварцовому ковпачку з інертною речовиною також в зазначений розплав, гарячого спаю додаткової четвертої термопар, який знаходиться в пустому кварцовому ковпачку, в також зазначений розплав сплаву—середовище, що передає тепло, при цьому одночасно реєструють і записують зміни температур, які фіксують всі термопар, що під'єднані до термовимірювального пристрою, який дозволяє за допомогою програмного забезпечення порівнювати одержані температурні дані між собою і з її еталонними значеннями і одержувати значення температур фазових переходів органічного матеріалу.

Методично спосіб калориметричного аналізу органічного матеріалу здійснюють наступним чином (фіг.1). Зразок органічного матеріалу 1 вводять в кварцовий ковпачок 2. Потім беруть першу термопару 3 в алундовій трубці 4 і вставляють 11 в кварцовий ковпачок 2 з таким розрахунком, щоб гарячий спай знаходився повністю в органічному матеріалі 1. Для уникнення люфтів ковпачка і термопар в процесі досліджень, їх фіксують разом за допомогою азбесту 5 і рідкого скла. Для проведення порівняльного аналізу динаміки розкладення органічного матеріалу під дією теплоти рідкого сплаву, проводять аналогічні приготування з пустим кварцовим ковпачком 6 і додатковою четвертою термопарою 7. Для дослідження термохімічних перетворень органічного матеріалу, що мають місце при нагріванні, в ковпачок 8 вводять інертну речовину 9, швидкість нагрівання якої реєструється додатковою третьою термопарою 10. Різниця в швидкості нагрівання досліджуваного і інертного зразків дозволяє визначити температури, при яких відбуваються екзотермічні або ендотермічні перетворення. В якості інертної речовини може бути використано, наприклад, Al_2O_3 . Додаткова друга термопара 11 з незахищеним гарячим спаєм реєструє температуру розплавленого сплаву. Швидкість прогріву гарячого спаю даної термопар

демонструє величину інерційності термопар і використовується для уточнення динаміки прогріву термопар, що знаходяться в кварцових ковпачках. Всі термопарі підключають до спеціального багатоканального термовимірювального пристрою 12, що дозволяє реєструвати та безперервно вносити значення температур в пам'ять пристрою. Термопарі для зручності і з метою проведення робіт на безпечному рівні, монтують на штанзі 13 за допомогою фіксаторів 14. В плавильному агрегаті розплавляють сплав і5 потрібного хімічного складу і доводять до температури, при якій заплановано проведення досліджень. Для уникнення наведень на схему вимірювального пристрою, безпосередньо перед вимірюванням відключають систему управління плавильним агрегатом. Потім гарячі спайи 3, 7, 10 термопар відповідно в ковпачок 2, 6, 8 і гарячий спай 11 термопар занурюють в сплав 15, записуючи таким чином інформацію про нагрівання гарячих спайів 3, 7, 10, 11 термопар. В процесі вимірювань з ковпачка з органічним матеріалом інтенсивно виділяється газова фаза, тому для попередження вибуху ковпачка, алундова трубка, в якій знаходиться термопара, повинна заходити в ковпачок з достатнім зазором для забезпечення своєчасного і безперешкодного видалення утворених газів. Контролюючи по табло термовимірювального пристрою значення температури в ковпачку з органічним матеріалом, вимірювання припиняють і досягненням температурної рівноваги. Потім всі термопарі відключають від термовимірювального пристрою і за допомогою його програмного забезпечення здійснюють порівняння отриманих температурних даних між собою і з еталонними значеннями і отримують значення температур фазових переходів органічного матеріалу.

На відміну від представленого аналогу, запропонований спосіб дозволяє значно розширити експериментальні можливості вивчення взаємодії органічного матеріалу і розплавленого сплаву. Використання способу для дослідження пінополістиролу при температурах в діапазоні 700—1700 °С, дозволило встановити двостадійність процесу нагріву рідкої фази, що виділяється в процесі його термодеструкції [1] Яковешин О.А., Шинский И.О., Зинченко В.Д. // Высокоскоростная сканирующая калориметрия жидкой фазы продуктов термодеструкции газифицируемой модели: Тез. докл. // Международный научно-технический конгресс "Процессы плавки, обработки и разливы металлов: отливки, слитки, заготовки."—Киев 6.06.2006—Процессы литья.-с.90-93. 2) Яковешин О.А. // Исследование термодеструкции жидкой фазы продуктов взаимодействия полимера с расплавленным металлом в условиях литья по газифицируемым моделям: Тез. докл. // Киевская конференция молодых ученых "Новейшие материалы и технологии".—Киев: 17.11.2006.-С.32.]. Наслідком цього є висока інтенсивність тепловіддачі при пазирковому кипінні (на початковому етапі прогріву), що зростає зі збільшенням кількості діючих центрів

пароутворення і кількості утвореної пари. При пазирковому кипінні (другий етап прогріву) рідка фаза продуктів термодеструкції полістиролу відділена від поверхні нагріву шаром пари. Внаслідок відносно малої теплопровідності парового шару інтенсивність тепловіддачі при пазирковому кипінні значно менше, ніж при пазирковому. Виявлено, що температура рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролової моделі в процесі заливання сплаву в форму і його кристалізації не перевищує 550°С. Точність вимірювань, що проводились згідно запропонованого способу, була вищою на 3% порівняно зі способом найближчого аналогу. Проведення досліджень за запропонованим способом дало можливість встановити час випаровування рідкої фази (наважка 1 г) продуктів термодеструкції пінополістиролу при умові контакту з різними видами сплавів, що не знайшло відображення в способі найближчого аналогу. Так, для алюмінію він дорівнює 13 с, для бронзи 9 с 3 поверхні розплавлених чавуну і сталі рідка фаза продуктів термодеструкції пінополістиролу випаровується за 4 с і 3 с відповідно. Результати цих досліджень можна використати для більш точного визначення значення теплоти випаровування рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу.

Приклад. В умовах діючої ливарної дільниці було проведено експериментальні роботи з органічним матеріалом згідно запропонованого винаходу. Досліджували рідку фазу продуктів термодеструкції пінополістиролу. Для цього в кварцовий ковпачок 2 (D—9, L—100 ГОСТ—9110—74) вводили пінополістирол густиною 19,5 кг/м³, після чого ковпачок 2 нагрівали за допомогою печі опору потужністю 1 кВт, нагрівальним елементом якої була ніхромова спіраль, температура якої дорівнювала 400—450 °С. В результаті дії теплової енергії печі на пінополістирол, він деструктував і на дні ковпачка утворювалась рідка фаза продуктів термодеструкції пінополістиролу. Кількість введенного в кварцовий ковпачок пінополістиролу була такою, щоб після його термодеструкції наважка отриманої рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу складала 1г. Після цього гарячий спай термопар 3 в алундовій трубці 4 занурювався в рідку фазу продуктів термодеструкції пінополістиролу 1 з таким розрахунком, щоб він повністю знаходився в рідкій фазі продуктів термодеструкції пінополістиролу. Оскільки рідка фаза продуктів термодеструкції пінополістиролу при охолодженні переходить в склоподібний стан, під час цього переходу положення гарячого спаю термопар стабілізували для забезпечення розміщення гарячого спаю термопар в рідкій фазі продуктів термодеструкції пінополістиролу з одночасним дотриманням розташування гарячого спаю термопар на однаковій відстані від стінок ковпачка. Потім алундову трубку, в якій знаходилась термопара, і кварцовий ковпачок 2 фіксували разом за допомогою азбесту 5 і рідкого скра. Додаткова друга термопара 11 в досліді використовувалась

з незахищеним гарячим спаєм. Додаткова третя термопара 10 вставлялась в ковпачок 8, в якій знаходилась інертна речовина 9, в якості якої було використано Al_2O_3 , наважкою 1 г. Гарячий спай третьої термопари 10 розміщували в ковпачку 8 з таким розрахунком, щоб він повністю знаходився в інертній речовині 9. Потім алунову трубку, в якій знаходилась термопара 10 і ковпачок 8 фіксували разом за допомогою азбесту і рідкого скла з одночасним дотриманням розташування гарячого спаю термопари на однаковій відстані від стінок ковпачка. Додаткова четверта термопара 7 вставлялась в пустий кварцовий ковпачок 6. Гарячий спай додаткової четвертої термопари 7 розміщували в ковпачку 6 в тій самій точці, в якій розміщувались гарячі спаї термопари 3 і додаткової третьої термопари 10 у кварцових ковпачках, відповідно 2 і 8. Тобто, розміщення гарячих спаїв всіх термопар в ковпачках знаходилося в одному і тому ж положенні, по відношенню до стінок ковпачків. Алунову трубку в якій знаходилась додаткова четверта термопара 7 і пустий кварцовий ковпачок 6 фіксували разом за допомогою азбесту і рідкого скла з одночасним дотриманням розташування гарячого спаю термопари на однаковій відстані від стінок ковпачка. В дослідях зі сплавами, температура яких була нижче $1200^{\circ}C$ використовували термопари типу ХА. Хромель—марки НХ9,5, \varnothing 0,2мм. Алюмель—марки НМцАК2-2-1, \varnothing 0,2мм. В дослідях зі сплавами, температура яких досягала $1700^{\circ}C$ застосовували термопари типу ВР-20, \varnothing 0,2мм. Всі підготовлені термопари підключали до спеціального багатоканального термовимірювального пристрою 12 МИРТ-8 (розробка відділу автоматизації Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України), що дозволяє реєструвати та безперервно вносити значення температур в пам'ять пристрою. Прилад МИРТ-8 дозволяє виконувати перетворення вимірюваних термоЕРС з компенсацією "холодних" кінців термопар з врахуванням нелінійності нормованої стандартної характеристики термоелектричного перетворювача. Технічні характеристики пристрою МИРТ-8 наступні: діапазон вимірюваних температур $0-1800^{\circ}C$; вид термоперетворювача—хромель-алюмель, вольфрам-рений; кількість вимірювальних каналів—до 8; основна похибка $\pm 5^{\circ}C$; кількість записів в пам'ять значень температури—7680; живлення приладу під час вимірювання—автоматичне. Термопари для зручності і з метою проведення робіт на безпечному рівні, монтували на виготовленій з азбесту штанзі 13 за допомогою металевих фіксаторів 14. При цьому гарячі спаї всіх чотирьох термопар знаходилися на одній горизонтальній лінії. В плавильному агрегаті (індукційній печі ИСТ-016) розплавляли сплав 15 потрібного хімічного складу і доводили до температури, при якій заплановано проведення експерименту. В дослідженнях використовували наступні сплави: сталь марки 55Л, чавун марки СЧ-20, бронзу марки БрАЖМц10-3-1,5, алюмінієвий сплав марки АЛ5. Хімічний склад

вказаних марок сплавів наведено в таблицях 1-4. Слід відмітити, що рідка фаза продуктів термодеструкції пінополістиролу при температурі приблизно до $80^{\circ}C$ знаходиться в склоподібному стані, а тому при різкому нагріванні відбувається її значне об'ємне розширення, яке може спричинити вибух ковпачка, в якому вона знаходиться. Тому, за 5-40 хвилин до початку досліду проводили прогрів рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу в полум'ї цехового газового пальника. З метою забезпечення однакових стартових умов вимірювання температур трьома додатковими термопарами, їх також прогрівали. Температуру прогріву всіх чотирьох термопар утримували в діапазоні $150-470^{\circ}C$. Вибір значення верхньої межі діапазону обумовлений тим, що при температурі $170^{\circ}C$, як показують дослідження, відбувається плавлення пінополістиролу і утворюється рідка фаза продуктів його термодеструкції, а, отже це дозволить максимально наблизити процеси дослідження органічного матеріалу згідно способу, що заявляється, до тих процесів, які відбуваються в реальній ливарній формі. Для уникнення наведень на схему вимірювального пристрою, безпосередньо перед вимірюванням відключали систему управління плавильним агрегатом і включали систему запису інформації термовимірювального пристрою МИРТ-8. Потім за допомогою штанги гарячі спаї термопар 3, 7, 10 відповідно в ковпачках 2, 6, 8 і гарячий спай термопари 11 занурювали в сплав 15 з таким розрахунком, щоб рівень досліджуваного матеріалу в кварцовому ковпачку 2 був нижчим від рівня розплаву сплаву в печі на 3+5 мм для забезпечення надійного об'ємного теплового контакту між досліджуваним органічним матеріалом і розплавом сплаву. В процесі вимірювань з ковпачка з органічним матеріалом інтенсивно виділяється газова фаза, тому для попередження вибуху ковпачка, алунова трубка, в якій знаходиться термопара, повинна заходити в ковпачок з достатнім зазором для забезпечення своєчасного і безперешкодного видалення утворених газів. Контролюючи по табло термовимірювального пристрою МИРТ-8 значення температури в ковпачку з досліджуваним органічним матеріалом, вимірювання припиняли з досягненням температурної рівноваги. Потім всі термопари відключали від термовимірювального пристрою і за допомогою його програмного забезпечення здійснювали порівняння отриманих температурних даних ніж собою і з еталонними значеннями і отримували значення температур фазових переходів органічного матеріалу. На фіг.2, 3, 4, 5 представлено графічні матеріали проведених досліджень згідно запропонованого способу, аналіз яких дозволяє зробити наступні висновки. При взаємодії рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу з розплавом сплаву можна відмітити етап, що відбувається в температурному діапазоні $170-500^{\circ}C$, який називають пухирковим кипінням, внаслідок чого з рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу поступово видаляються

компоненти з низьким значенням температури кипіння. При температурі близькій до 500 °С розпочинається етап плівкового кипіння. В цьому випадку рідка фаза продуктів термодеструкції пінополістиролу відділена від стінок ковпачка прошарком парогазової фази продуктів термодеструкції, внаслідок чого знижується темп її розкладення. Вище 500 °С можна констатувати факт відсутності в ковпачку рідкої фази і наявність в ній твердих продуктів розкладення. Кількісне співвідношення утворених газових та твердих продуктів розкладення рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу наведено в таблиці 5. Той факт, що в усіх дослідах крива, зареєстрована термопарою 1, знаходиться нижче кривої, зареєстрованої додатковою третьою термопарою, вказує на ендотермічний характер протікаючих процесів в ковпачку з досліджуванним матеріалом. Дані зареєстровані додатковими другою та четвертою термопарами дозволяють встановити їх інерційність з метою коректування показів даних першої та додаткової третьої термопар у відрізку часу. Проведення досліджень за запропонованим способом дало можливість встановити час випаровування рідкої фази (наважка 1 г) продуктів термодеструкції пінополістиролу при умові контакту з різними видами сплавів, що не знайшло відображення в способі найближчого аналогу. Так, для алюмінієвого сплаву Al5 він дорівнює 13 с, для бронзи БрАЖМц10-3-1,5— 9 с 3 поверхні розплавлених чавуну СЧ20 і сталі 55Л рідка фаза продуктів термодеструкції пінополістиролу випаровується за 4 с і 3 с відповідно. Точність вимірювань, що проводились згідно запропонованого способу, була вищою на 3% порівняно зі способом найближчого аналогу.

Результати цих досліджень можна використати для більш точного визначення значення теплоти випаровування рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу. Вивчення термограм дозволило зробити важливий висновок про граничне значення температури рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу на поверхні фронту розплаву, що заливається в форму. Встановлено, що значення температури рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу протягом всього часу заливання розплаву та його кристалізації знаходиться в інтервалі 500–550 °С незалежно від виду сплаву, що заливається. Застосування запропонованого способу дозволяє з великою точністю виявити граничні значення температури органічного матеріалу і рідкої фази, яка утворюється в процесі його деструкції на поверхні рідкого сплаву. Це має важливе значення для процесу лиття за моделями, що газифікуються, оскільки дозволяє прогнозувати кількість рідкої фази продуктів термодеструкції полімерної моделі на поверхні фронту розплаву в формі, від чого залежить якість отриманого виливка.

Таблиця 1. Хімічний склад сплаву 55Л

Склад елементів, %				
Fe	C	Mn	Si	Cr
98,25	0,55	0,6	0,3	не більше 0,30

Таблиця 2. Хімічний склад сплаву СЧ20

Склад елементів, %					
Fe	C	Mn	Si	P	S
93,65	3,35	0,5	2,2	0,2	0,1

Таблиця 3. Хімічний склад сплаву БрАЖМц10-3-1,5

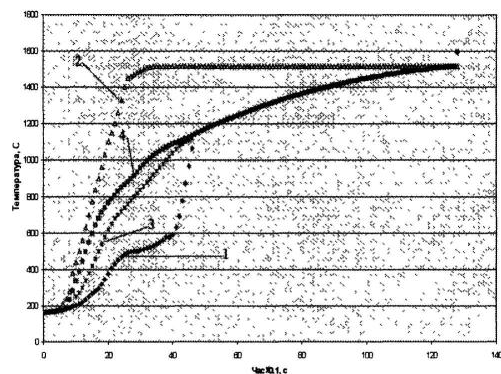
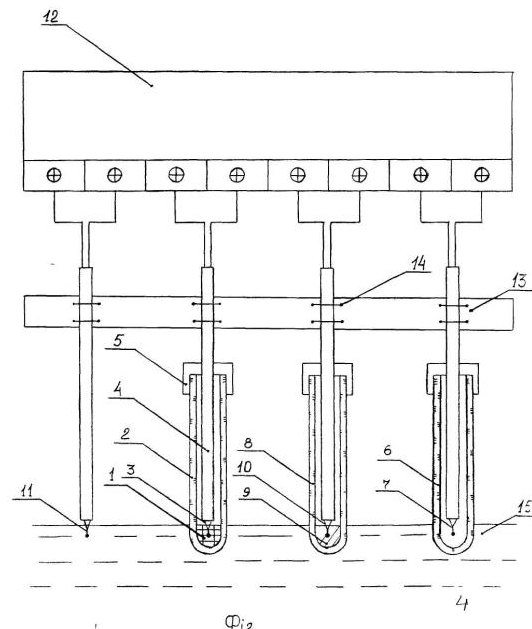
Склад елементів, %			
Cu	Al	Fe	Mn
85,5	10	3	1,5

Таблиця 4. Хімічний склад сплаву Al5

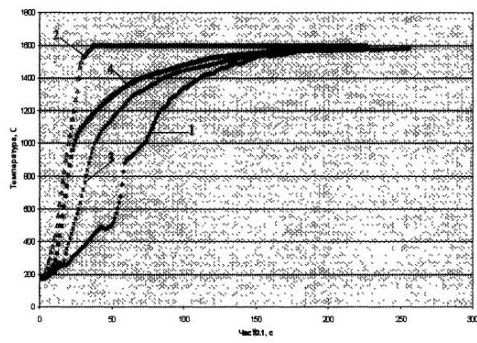
Склад елементів, %				
Al	Mg	Si	Mn	Cu
93,4	0,4	5	—	1,2

Таблиця 5. Кількісний склад продуктів розкладення рідкої фази продуктів термодеструкції пінополістиролу густиною 19,5 кг/м³

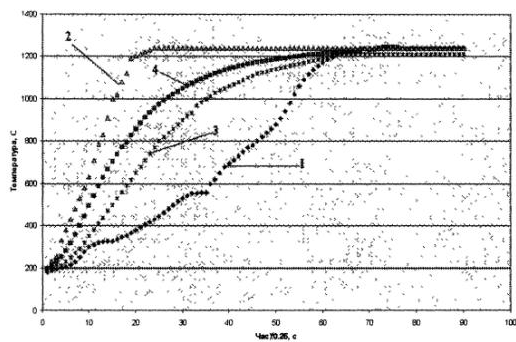
Джерело теплової енергії	Температура, °С	Продукти термодеструкції, % (мас.)	
		Газообразні	Тверді
Al5	820	98,6	1,4
БрАЖМц10-3-1,5	1250	96,8	3,2
СЧ20	1450	83,7	16,3
55Л	1550	82,2	17,8



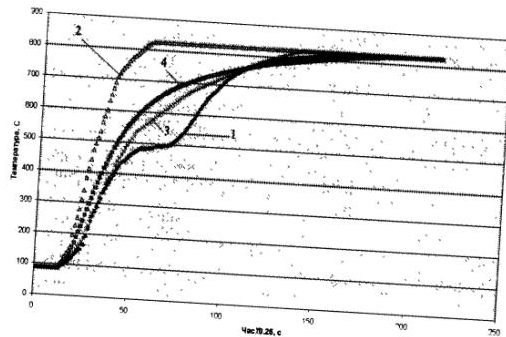
Фіг. 2 Температурні криві нагріву гарячих сплавів термопар в сплаві 55Л, отримані по даним зареєстрованим: 1—першою термопарою; 2—додатковою другою термопарою; 3—додатковою третьою термопарою; 4—додатковою четвертою термопарою.



Фіг.3 Температурні криві нагріву гарячих сплавів термопар в сплаві СЧ20, отримані по даним зареєстрованим: 1—першою термопарою; 2—додавковою другою термопарою; 3—додавковою третьою термопарою; 4—додавковою четвертою термопарою.



Фіг.4 Температурні криві нагріву гарячих сплавів термопар в сплаві БрАЖМц10-3-1.5, отримані по даним зареєстрованим: 1—першою термопарою; 2—додавковою другою термопарою; 3—додавковою третьою термопарою; 4—додавковою четвертою термопарою.



Фіг.5 Температурні криві нагріву гарячих сплавів термопар в сплаві Al5, отримані по даним зареєстрованим: 1—першою термопарою; 2—додавковою другою термопарою; 3—додавковою третьою термопарою; 4—додавковою четвертою термопарою.