

Розроблення енергоефективної технології виробництва ізостатичного графіту

Разработка энергоэффективной технологии производства изостатического графита

The development of energy-efficient technology of isostatic graphite production

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0116U003805,**
- 2. Науковий керівник - к.т.н., н.с. Лелека С.В., Лелека С.В., Leleka Sergiy V.**

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Розроблено енергоефективні технічні рішення та регламенти пресування, випалювання і графітування заготовок ізостатичного графіту, що не мають аналогів в Україні та забезпечують зменшення питомої витрати електроенергії. Визначено параметри сировинної бази для отримання заготовок ізостатичного графіту та сформульовано вимоги до напівфабрикату «зелених» зразків ізостатичного графіту, що отримуються на етапі пресування. Встановлено, що за наповнювач потрібно застосовувати прожарений кокс голковидної структури з середнім розміром (10–30) мкм, а за зв'язувальне – високотемпературний пек, спосіб помелу наповнювача – вібромлін або струменевий млин, спосіб змішування наповнювача з пеком – гаряче за температури 270 °С, спосіб пресування – гідростатичне в еластичних формах з густиною отримуваних зразків не менше 1500 кг/м³ та високою однорідністю. Визначено раціональний склад пресової суміші та енергоефективний регламент її пресування. Встановлено, що прессуміш для отримання ізостатичного графіту потребує більш якісного перемішування та використання високотемпературного зв'язувального. Розроблено фізичні, математичні та числові моделі процесів випалювання і графітування заготовок для отримання ізостатичного графіту. Визначено залежності теплофізичних, електричних та механічних властивостей заготовок ізостатичного графіту від характеристик технологічних регламентів випалювання і графітування. Встановлено залежності впливу габаритних розмірів заготовки на параметри регламентів їх випалювання і графітування. Визначено, що випалювання заготовок з ізостатичного графіту потребує високої однорідності температурного поля (низько градієнтного поля) та надзвичайно низьких темпів підйому температури, особливо в діапазоні інтенсивного залишкового газовиділення. Показано, що графітування ізостатичного графіту також потребує високої однорідності температурного поля. На підставі числового аналізу визначено, що обладнання для випалювання і графітування зразків ізостатичного графіту повинно забезпечувати такі умови термообробки: радіальний перепад температури по заготовках повинен бути не більше ніж 3–5 °С; випалювання заготовок ізостатичного графіту діаметром понад 200 мм у багатокамерних печах Рідгамера є неможливим із-за великої тривалості процесу. Тому для цього необхідно застосовувати однокамерні печі з викотним подом або електропечі, які забезпечують градієнт температури в заготовках не більше (10–36) К/м. На підставі числових та експериментальних досліджень розроблено енергоефективні регламенти випалювання та графітування заготовок ізостатичного графіту.

(рос.)

Разработаны энергоэффективные технические решения и регламенты прессования, обжига и графитирования заготовок изостатического графита, которые не имеют аналогов в Украине и обеспечивают снижение удельного расхода электроэнергии. Определены параметры сырьевой базы для получения заготовок изостатического графита и сформулированы требования к полуфабрикату «зеленых» образцов изостатического графита, получаемых на этапе прессования. Установлено, что в качестве наполнителя необходимо применять прокаленный кокс игольчатой структуры со средним размером (10–30) мкм, а в качестве связующего – високотемпературный пек, способ размолла наполнителя – вибромельница или струйная мельница, способ смешения наполнителя с пеком – горячее при температуре 270 °С, способ прессования – гидростатическое в эластичных формах с плотностью получаемых образцов не менее 1500 кг/м³ и высокой

однородностью. Определен рациональный состав прессовой смеси и энергоэффективный регламент ее прессования. Установлено, что прессмесь для получения изостатического графита требует более качественного перемешивания и использования высокотемпературного связующего. Разработаны физические, математические и численные модели процессов обжига и графитирования заготовок для получения изостатического графита. Определены зависимости теплофизических, электрических и механических свойств заготовок изостатического графита от характеристик технологических регламентов обжига и графитирования. Установлены зависимости влияния габаритных размеров заготовки на параметры регламентов их обжига и графитирования. Определено, что обжиг заготовок изостатического графита требует высокой однородности температурного поля (низко градиентного поля) и чрезвычайно низких темпов подъема температуры, особенно в диапазоне интенсивного остаточного газовыделения. Показано, что графитирование изостатического графита также требует высокой однородности температурного поля. На основе численного анализа определено, что оборудование для обжига и графитирования образцов изостатического графита должно обеспечивать следующие условия термообработки: радиальный перепад температуры по заготовкам должен быть не более чем 3–5 °С; обжиг заготовок изостатического графита диаметром более 200 мм в многокамерных печах Ридгаммера является невозможным из-за большой длительности процесса. Поэтому для этого необходимо применять однокамерные печи с выкотным подом или электропечи, обеспечивающие градиент температуры в заготовках не более (10–36) К/м. На основе численных и экспериментальных исследований разработаны энергоэффективные регламенты обжига и графитирования заготовок изостатического графита.

(англ.)

Energy efficient technical solutions and regulations of pressing, baking and graphitizing of isostatic graphite artifacts were developed, which do not have any analogues in Ukraine and enable specific energy consumption decrease. Parameters of material base for isostatic graphite artifacts obtaining were determined and the requirements for “green” isostatic graphite samples, which are obtained on the pressing stage, were formulated. It was found out that baked coke of needle structure with the average grain diameter (10–30) μm should be used as a filler, and high temperature pitch should be used as a binder. Filler milling is done through a vibrating or jet mill; filler is combined with pitch under 270 °С. The pressing method is hydrostatic in elastic forms with density of the gained samples not less than 1500 kg/m^3 unity. Rational content of the pressing mixture and energy efficient pressing regulations were determined. It was found out that pressing mixture needs to be better mixed and high temperature binder should be used to obtain isostatic graphite. Physical, mathematical and numerical models of artifacts baking and graphitizing for isostatic graphite obtaining were developed. Relation between thermal and physical, electrical and mechanical properties of isostatic graphite artifacts and technological regulations of baking and graphitization processes was determined. Artifact size also depends on baking and graphitization parameters. It was found out that isostatic graphite baking requires high temperature field unity (low gradient field) and highly low pace of temperature growth, especially in the range of intensive residual gas evolution. It was shown that isostatic graphite production also needs high unity of temperature field. Based on numerical analyses, it was determined that the equipment for isostatic graphite samples baking and graphitization must meet the following thermal processing requirements: radial temperature drop in artifacts must up to 3–5 °С; baking of isostatic graphite artifacts of diameter over 200 mm is impossible in multi-chamber Ridgammer furnaces due to long duration of the process. That’s why 1 chamber furnaces with draw-out hearth or electric furnaces should be used as they will enable temperature gradient in artifacts up to (10–36) K/m. Energy efficient regulations of baking and graphitization of isostatic graphite artifacts were developed based on numerical and experimental researches.

4. Наявність охоронних документів на об’єкти права інтелектуальної власності.

- Пат. 119184 У Україна, МПК G01F 11/18 (2006.01). Вібраційний дозатор сипких матеріалів/ І. О. Мікульонок, А. Я. Карвацький, В. І. Шкіль; заявники і

патентовласники — вони же. — № u201704102; заявл. 25.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. — 2 с.

- Пат. 107567 U Україна, МПК (2016.01) C25C 1/02 (2006.01) C25C 3/04 (2006.01) C25C 7/00. Катод магнієвого електролізера / Є. М. Панов, А. Я. Карвацький, І. О. Мікульонок, С. В. Лелека, Т. В. Лазарев; заявник Нац. техніч. ун-т України «Київ. політехн. ін-т»; — № u2015 13120 UA; заявл. 31.12.2016. опубл. 10.06.2016, Бюл. № 11. — 2 с.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати НДР відповідають аналогам таких провідних світових виробників як TOYO TANSO, Tokai, IBIDEN (Японія), SLG (Германія), Mersel (Франція), Baofeng Five-star Graphite, Fangda Carbon New Material, Datong Xincheng New Material (Китай), зокрема, за рівнем ПВЕ, продуктивності та показниках якості готової продукції і захищені відповідними охоронними документами на об'єкти права інтелектуальної власності (2 патенти) та опубліковані в журналах, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus (3 статті).

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розробок НДР у вигляді числових моделей фізичного стану обладнання під час відпрацювання енергоефективних конструкцій та регламентів експлуатації випалювання та графітування заготовок ізостатичного графіту в печах з відкотним подом і Кастнера має вагомі техніко-економічні переваги, порівняно з експериментальними дослідженнями:

- в першу чергу це відмова від виконання великої серії коштовних експериментальних досліджень, що забезпечує економію матеріальних та часових ресурсів, підвищує конкурентоспроможність підприємства;
- по-друге застосування методів наукоємного комп'ютерного інжинірингу надає змогу віртуально досліджувати теплоелектричний та механічний стан печей випалювання та графітування разом із заготовками ізостатичного графіту з метою відпрацювання раціональних конструкцій і регламентів нагрівання заготовок з великим ступенем достовірності отримуваних даних;
- в цілому техніко-економічні оцінки показують, що промислова реалізація технології виробництва ізостатичного графіту дасть змогу підвищити конкурентоздатність вже існуючих технологічних циклів виробництв у електродній, металургійній, атомній та мікроелектронній галузях, а також буде відігравати визначальну роль у створенні нових сучасних наукоємних підприємств для виготовлення високоприбуткових товарів, що дасть можливість створити нові робочі місця та підвищити ВВП країни.
- вартість реалізації проекту складає близько 750 млн грн;
- терміни впровадження та окупності складають 2 роки і 5 років, відповідно.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Підприємства електродної, металургійної, атомної та мікроелектронної галузей – ПрАТ «Укрграфіт», МК «Запоріжсталь», ПрАТ «Дніпроспецсталь» (м. Запоріжжя) та ін.

8. Стан готовності розробки.

Робота у вигляді технічних рішень, ескізних проектів і програмного забезпечення для виконання числового аналізу теплоелектричних та механічних полів під час випалювання та графітування заготовок ізостатичного графіту в печах з відкотним подом і Кастнера з метою визначення раціональних конструкцій та регламентів введення електричної потужності готова до впровадження.

9. Існуючі результати впровадження.

Основні теоретичні положення роботи, що пов'язані з фізичними властивостями вуглецевісних матеріалів і математичними моделями фізичних полів обладнання, викладені у монографіях грифом Вченої ради КПІ імені Ігоря Сікорського на теми: «Теоретично-експериментальні дослідження печей графітування Кастнера» і «Фізичні властивості вуглецевих сипучих матеріалів». За матеріалами роботи захищена кандидатська дисертація асп. Педченко А. Ю. на тему «Теплоелектричний стан печей графітування Кастнера». Видано навчальні посібники з грифом Вченої ради КПІ імені Ігоря Сікорського на теми: «Механіка суцільних середовищ» і «Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab». Результати роботи впроваджено у виробництво на ПрАТ «Укрграфіт», м. Запоріжжя. Предметом впровадження є: числові моделі фізичних полів процесів випалювання і графітування електродних заготовок ізостатичного графіту, що використовуються для розробки енергоефективних конструкцій і регламентів експлуатації обладнання; експериментальні дані з інтенсивності газовиділення заготовок; результати числового аналізу енергетичної ефективності різних конструкцій печей випалювання та прямого нагріву та їх регламенти; науково-обґрунтовані енергонефективні конструкції і технологічні регламенти випалювання і графітування продукції в печах випалювання і графітування.

10. Форма участі інвестора. В реалізації результатів проекту частка інвестора 100%, а частка від прибутку 75%.

11. Обсяг інвестицій \$27,700,000.

12. Мета інвестицій – забезпечення капітальних вкладень для переходу на виробництво великогабаритних заготовок ізостатичного графіту (придбання сучасного помельного та випалювального пічного обладнання, модернізація корпусу підприємства, будівництво печей Кастнера, придбання сучасного електроживильного та теплообмінного обладнання), впровадження раціональних регламентів помелу, змішування, пресування, введення електричної потужності в печі випалювання і графітування, тренінг користувачів програмного забезпечення.

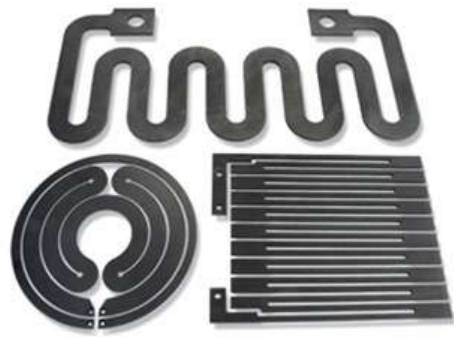
13. Назва підрозділу, телефон, e-mail

науково-дослідний центр «Ресурсозберігаючі технології» (НДЦ «РТ»), КПІ ім. Ігоря Сікорського, інженерно-хімічний факультет, 204-83-09, admin@rst.kpi.ua

14. Графічна презентація розробки



а – графітові фільтри та кристалізатори



б – нагрівники



в – підшипники ковзання

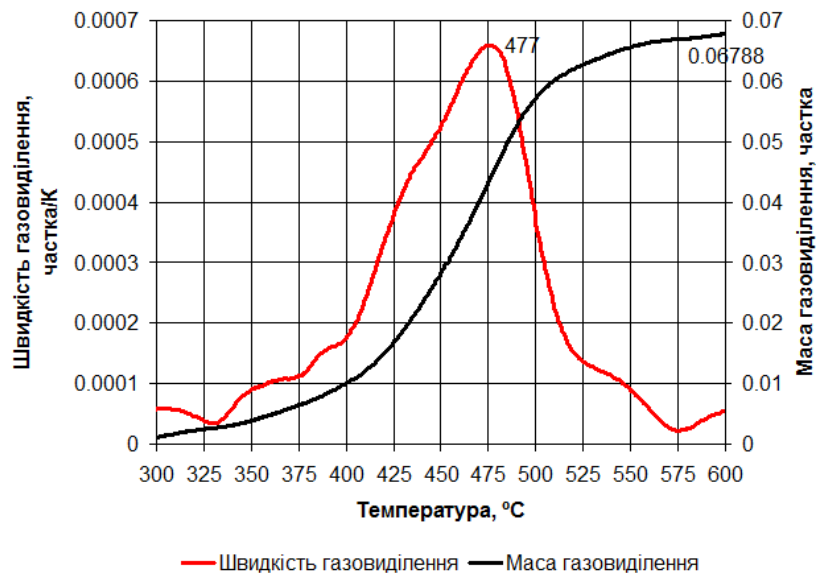


г – підкладка для виробництва світлодіодів

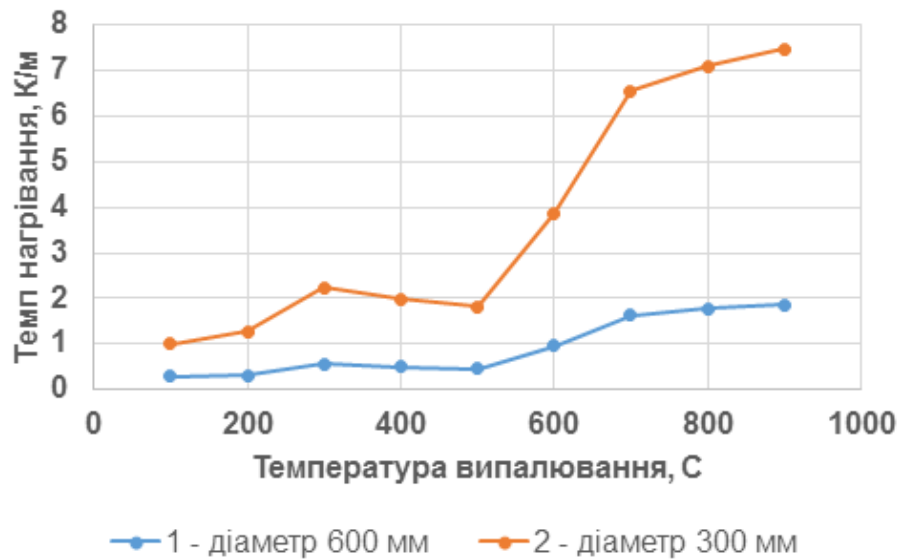
Вироби із ізостатичного графіту (високодисперсних марок)

оби із ізостатичного графіту (високодисперсних марок)

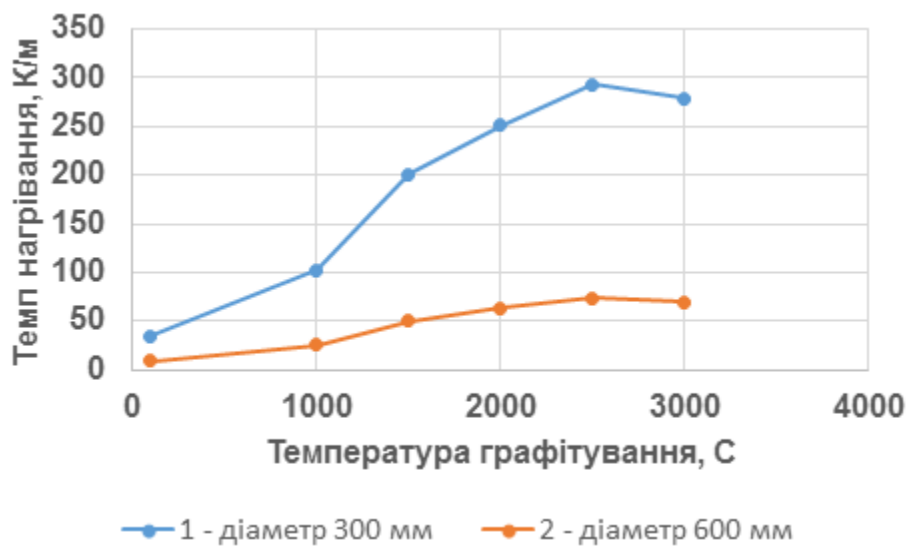
Вир



Динаміка інтенсивності газовиділення і втрата маси заготовок ізостатичного графіту (наповнювач – кокс прожарений голчастий розміром 150 мкм, зв'язувальне – високотемпературний пек– 22,5% мас.)



a



б

Регламенти випалювання (*a*) і графітування (*б*) заготовок ізостатичного графіту різних діаметрів

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Теоретично-експериментальні дослідження печей графітування Кастнера [Електронний ресурс]: монографія / А. Ю. Педченко, С. М. Панов, А. Я. Карвацький та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 174 с. Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (Протокол № 9 від 02.10.2017 р.)
2. Фізичні властивості вуглецевих сипучих матеріалів [Текст] : моногр. / Т. В. Чирка, Г. М. Васильченко, Е. Н. Панов, С. В. Лелека, А. Я. Карвацький. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського Вид-во «Політехніка», 2016. – 152 с. Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (Протокол № 5 від 11.04.2016 р.)
3. Карвацький А.Я. Механіка суцільних середовищ [Текст]: навч. посіб. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 292 с. Гриф – рекомендовано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (Протокол № 11 від 07.11.2016 р.)
4. Коржик М.В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab [Електронний ресурс]: навч. посіб. /М.В. Коржик. КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Електронні текстові дані (1 файл: 1, 04 Мбайт).–Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016.–174 с.

5. Numerical analysis of physical fields of graphitization process of electrode production in Castner`s furnace / A. Ya. Karvatskii, S. V. Leleka, A. Yu. Pedchenko, T. V. Lazarev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2016. — Vol. 6, No 5(84). — P. 19—25. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.83191
6. Modification of implicit algorithm for solving a problem on the elastic plasticity of bulk materials / A. Ya. Karvatskii, E. M. Panov, A. Yu. Pedchenko, V. I. Shkil // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2017. — Vol. 5, No 7(89). — P. 17—23. DOI:10.15587/1729-4061.2017.109550
7. Numerical modeling of physical fields in the process of drying of paper for corrugating by the infrared radiation / A. Karvatskii, V. Marchevsky, O. Novokhat // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2017. — Vol. 2, No 5(86). — P. 14—22. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.96741
8. Investigation of the current state of isostatic graphite production technology / A. Karvatskii, S. Leleka, A. Pedchenko, T. Lasarev // Technology audit and production reserves. — 2017. — № 2/1(34). — P. 16—21. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.98125
9. Застосування САД-систем для розв'язання пружно-пластичних задач з врахуванням ізотропного зміцнення / А. Я. Карвацький, Т. В. Лазарев, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2017. — № 7 (1229). — С. 55—63. doi:10.20998/2413-4295.2017.07.08
10. Відновлення теплофізичних властивостей сипких матеріалів за допомогою розв'язання зворотної задачі теплопровідності / А.Я. Карвацький, Г.М. Васильченко, Т.В. Чирка, К.М. Короленко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. — 2017. — Т. 251, № 4. С. 159—166.
11. Дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів на процес прямого графітування електродів у печах Кастнера / А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, А. Ю. Педченко, С. В. Лелека, Т. В. Лазарев, В. В. Деркач, О. В. Тютюнник // Вісник НТУ «ХП» серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» — 2017. — № 32 (1254). — С. 30—36. — doi : 10.20998/2413-4295.2017.32.05
12. Solving nonlinear nonstationary problem of heat-conductivity by finite element method / A. Ya. Karvatskii, A. Yu. Pedchenko // Вісник ПДТУ. Серія: Технічні науки. — 2016. — Вип. 32. — С. 205—214.

16. Ключові слова: ІЗОСТАТИЧНИЙ ГРАФІТ, ПРЕСУВАННЯ, ВИПАЛЮВАННЯ ГРАФІТУВАННЯ, ГАЗИФІКАЦІЯ, ТЕПЛО-ГІДРОДИНАМІЧНИЙ СТАН, ТЕПЛОЕЛЕКТРИЧНИЙ СТАН, ПІЧ З ВІДКОТНИМ ПОДОМ, ПІЧ КАСНЕРА