

Розробка ресурсозберігаючого регламенту пресування вуглеграфітових виробів

Разработка ресурсосберегающего регламента прессования углеграфитовых изделий

Development of conservation regulations compression carbon and graphite products

1. Номер державної реєстрації теми - 0115U002409.,

2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Карвацький А.Я., Карвацкий А.Я., Karvatskii Anton Ya.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Розроблено ресурсозберігаючий регламент екструзії вуглеграфітових блоків через мундштук, який полягає у визначенні раціональних температурно-швидкісних параметрів пресування електродних заготовок та забезпечує зменшення виходу бракованих виробів на 4–5 %. Експериментально досліджено коефіцієнт динамічної в'язкості коксопекової суміші, зсувні напруження під час її руху через мундштук на границі маса – поверхня мундштука та проведено термоаудит пресового інструменту під час екструзії електродних блоків в промислових умовах. Сформульовано фізичну модель поведінки коксопекової суміші процесу виготовлення «зелених» вуглеграфітових заготовок способом екструзії через мундштук та обґрунтовано застосування моделі рідини Bingham-Papanastasiou для математичного опису цього процесу. Розроблено числову модель тепло-гідродинамічного стану пресового інструменту під час екструзії електродних заготовок в середовищі вільного відкритого програмного коду OpenFOAM та проведено її верифікацію за даними експериментальних досліджень. Показано, що різниця між розрахунковими даними та експериментальними значеннями температур пресового інструменту не перевищують 10 %, що дає змогу застосовувати розроблену модель для відпрацювання раціональних регламентів пресування електродної продукції. Досліджено вплив визначальних технологічних параметрів на показники режиму пресування електродних заготовок (швидкість пресування, температура завантажувальної маси, потужність, температура індуктора та масного циліндра), що дало змогу побудувати залежності температур вуглепекової композиції у визначальних січеннях мундштука та масного циліндра в циклі екструзії пекококсових напівфабрикатів. Розроблено програмно-методичний комплекс для числового дослідження тепло-гідродинамічного стану пресового обладнання, який дає змогу безпосередньо на підприємстві розробляти регламенти екструзії електродних заготовок при переході на виробництво нової продукції в короткий термін, без виконання коштовних експериментальних досліджень.

(рос.)

Разработан ресурсосберегающий регламент экструзии углеграфитовых блоков через мундштук, который заключается в определении рациональных температурно-скоростных параметров прессования электродных заготовок и обеспечивает уменьшение выхода бракованных изделий на 4–5 %. Экспериментально исследован коэффициент динамической вязкости коксопековой смеси, сдвиговые напряжения при движении массы через мундштук на границе масса – поверхность мундштука. Выполнен термоаудит пресового инструмента при экструзии электродных блоков в промышленный условиях. Сформулирована физическая модель поведения коксопековой смеси процесса изготовления «зеленых» углеграфитовых заготовок способом экструзии через мундштук и обосновано применение модели жидкости Bingham-Papanastasiou для математического описания этого процесса. Разработана численная модель тепло-гидродинамического состояния пресового инструмента при экструзии электродных заготовок в среде свободно открытого программного кода OpenFOAM и проведена ее верификация по данным экспериментальных исследований. Показано, что различие между расчетными данными и экспериментальными значениями температур пресового инструмента не превышает 10 %, что дает возможность применять разработанную модель для отработки

рациональных регламентов прессования электродной продукции. Исследовано влияние определяющих технологических параметров на показатели режима прессования электродных заготовок (скорость прессования, температура загружаемой массы, мощность, температура индуктора и массного цилиндра), что дало возможность построить зависимости температур углеродистой композиции в определяющих сечениях мунштука и массного цилиндра в цикле экструзии пекококсовых полуфабрикатов. Разработан программно-методический комплекс для численного исследования тепло-гидродинамического состояния прессового оборудования, позволяющий непосредственно на предприятии разрабатывать регламенты экструзии электродных заготовок при переходе на производство новой продукции в короткий срок, без проведения дорогостоящих экспериментальных исследований.

(англ.)

Energy-saving constructions and regulations of the Castner furnaces operation were developed for graphitization of large-sized electrode workbenches, which have no other analogue in Ukraine and reach energy expenses decrease by 20–25 %. Thermal and electrical furnace state was experimentally investigated during graphitization of electrode workbenches with different expansion blocks. It was found out that gasification process of carbon material by water vapor occurs in operation area during graphitization process in the Castner furnace. It leads to decrease of heating velocity of electrode workbenches by 10–20 %. Physical and general mathematical models of graphitization process of electrode workbenches in the Castner directly heated furnaces were designed, taking into account transferring mechanisms of damp and water vapor, thermal effects of chemical gasification reactions of carbon containing furnace materials, hydrogen and carbonic oxide conversion in heat-insulating material, hydrostatic pressure in granular heat-insulating layer. Numerical model of thermal-electrical and mechanical state of the Castner graphitization furnace was developed, taking into account non-linear dependence of thermal and electrical properties of carbon materials on temperature and pressure. This dependence was verified by data of physical experiment. The influence on thermal and electrical state of graphitization furnace was defined for different parameters of technological regulations and equipment: electrical energy introduction mode; bleeder stacks location scheme; the form of electric-contact blocks; physical properties of heat-insulating furnace feed. Technical solution for temperature drop in end workbenches was found. It was determined that the usage of expansion blocks is the most efficient method. The blocks must be in the form of hollow graphite cylinders filled with high-resistance heat insulating granular material. The recommendations for implementation of energy-saving technological regulations of graphitization process and technical solutions for improvement of furnace construction were developed.

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

- Пат. на корисну модель 107104 України, кл. МПК(2006.01) В30В 11/26, G06F 17/12. Спосіб визначення конструктивно-технологічних параметрів процесу екструзійного пресування електродних заготовок з вуглевмісної композиції / А. Я. Карвацький, С. В. Лелека, І. О. Мікульонок, Т. В. Лазарєв, О. С. Тищенко (UA) ; заявник Нац. техніч. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». — № u201510605 ; заявл. 30.10.15; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. — 4 с.
- Пат. на корисну модель 107147 України, кл. МПК(2016.01) G01K 17/00, G01N 21/3563 (2014.01). Спосіб визначення густини теплового потоку твердого тіла в прозорому для інфрачервоного випромінювання рухомому середовищі / А. Я. Карвацький, Т. В. Лазарєв, С. В. Лелека, І. О. Мікульонок, А. Ю. Педченко (UA) ; заявник Нац. техніч. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». — № u201511173 ; заявл. 13.11.15; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. — 3 с.
- Пат. на корисну модель 107805 U України, кл. МПК (2016.01) В30В 11/00, В29В 11/00, В29В 11/12 (2006.01). Пристрій для пресування електродних заготовок / І. О. Мікульонок, А. Я. Карвацький, С. В. Лелека, Т. В. Лазарєв, А. Ю. Педченко ; заявник Нац. техніч. ун-т України «Київ. політехн. ін-т»; — № u 2015 12034 UA ; заявл. 04.12.2016. опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. — 2 с.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Розробки НДР відповідають світовому рівню (GrafTech International, Ltd.; Graphite India, Ltd.; HEG, Ltd.; JSC Energoprom Management; Nippon Carbon Co., Ltd; SEC Carbon, Ltd.; SGL Carbon Group; Showa Denko Carbon, Inc.), зокрема, за рівнем продуктивності та показниках якості готової продукції, захищені відповідними охоронними документами на об'єкти права інтелектуальної власності (3 патенти) та опубліковані у журналах, що входять до наукометричних баз даних (6 статей).

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розробок НДР під час відпрацювання регламентів при переході на випуск нової продукції 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 тепло-гідродинамічний стан пресового інструменту в цілому з метою відпрацювання раціональних регламентів екструзії електродних заготовок з великим ступенем достовірності отримуваних даних;
- вартість реалізації проекту складає мінімум 1,5 млн грн;
- терміни впровадження та окупності складають 1 рік і 2 роки, відповідно.

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

Підприємства металургійної галузі – МК «Запоріжсталь», ПАТ «Дніпроспецсталь» (м. Запоріжжя) та ін.

8. Стан готовності розробки.

Робота у вигляді програмно-методичного забезпечення для виконання числового аналізу підчас екструзії електродних заготовок через мундштук, розробленого на базі вільного відкритого програмного продукту OpenFOAM, готова до впровадження.

9. Існуючі результати впровадження.

Основні теоретичні положення роботи, що пов'язані з математичними моделями фізичних полів обладнання, викладені у монографії грифом Вченої ради КПІ імені Ігоря Сікорського на тему: «Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах». За матеріалами роботи захищено кандидатську дисертацію на тему: «Закономірності процесу високотемпературного оброблення рухомого шару сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах - електрокальцинаторах». Видано навчальні посібники з грифом Вченої ради КПІ імені Ігоря Сікорського на теми: «Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів» і «Механіка суцільних середовищ. Розв'язання задач». Результати роботи впроваджено у виробництво на ПАТ «Укрграфіт», м. Запоріжжя. Предметом впровадження є: математична і числова моделі тепло-гідродинамічного стану для числового аналізу фізичних полів пресового інструменту для формування композитної вуглевісної маси; експериментальні дані з розподілу температурних полів в пресовому інструменті й масі, що формується на діючому обладнанні; експериментальні дані з показників роботи пресового інструменту; експериментальні дані з теплофізичних властивостей вуглецевих композицій; результати числового аналізу фізичних полів пресового інструменту з розроблення раціональних регламентів, які забезпечують вихід бездефектної продукції; програмно-методичне забезпечення для виконання числового аналізу тепло-гідродинамічного стану пресового інструменту при виготовленні вуглевісної продукції шляхом екструзії через мундштук. Отримані дані використані для розробки технічних рішень з модернізації регламентів пресового устаткування.

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

11. Обсяг інвестицій \$100,000.

12. Мета інвестицій – забезпечення виходу бездефектної продукції під час екструзії електродних заготовок через мундштук, розробка регламентів пресування нової електродної продукції, що має попит на світовому ринку, тренінг користувачів програмно-методичного забезпечення.

13. Назва підрозділу, телефон, e-mail

Науково-дослідний центр «Ресурсозберігаючі технології» (НДЦ «РТ»), КПІ імені Ігоря Сікорського, інженерно-хімічний факультет, 406-83-09, admin@rst.kpi.ua

14. Графічна презентація розробки

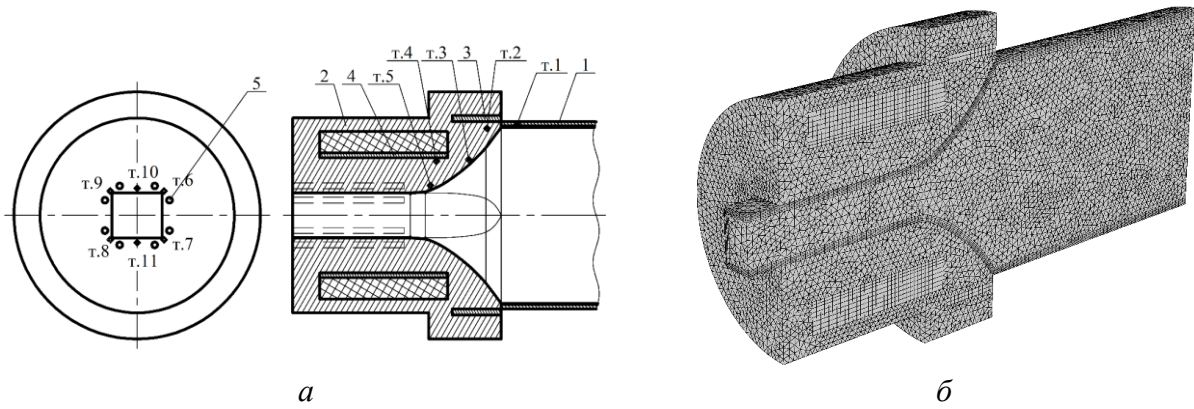
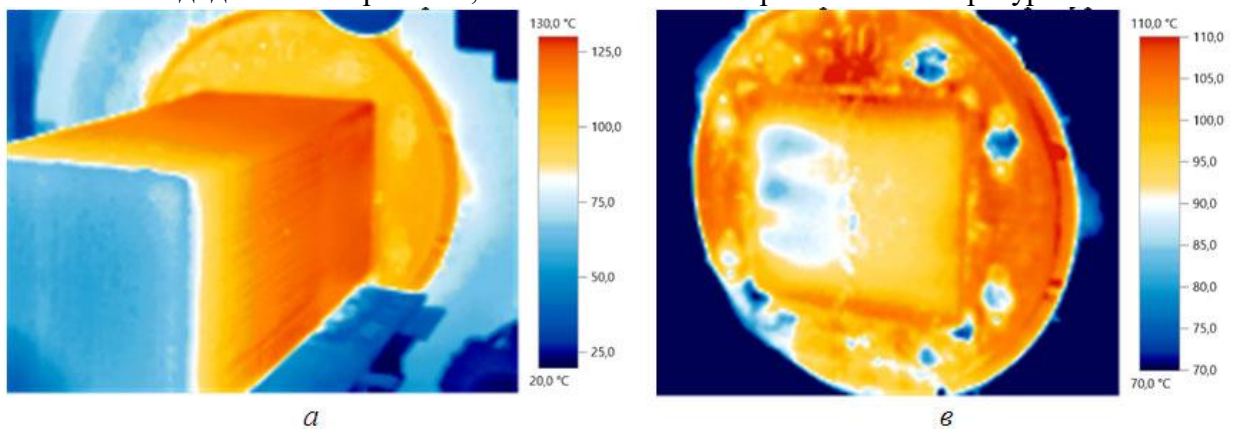


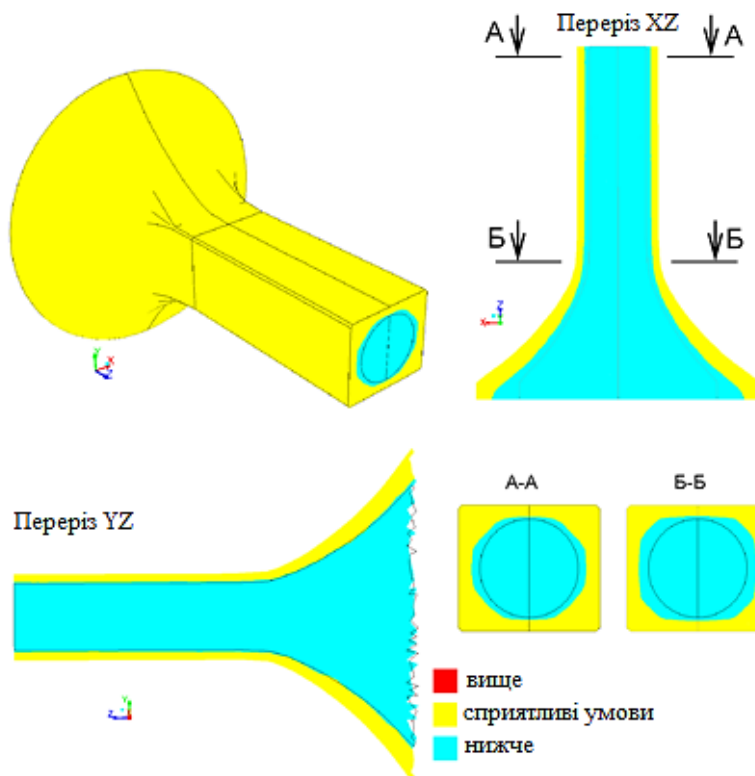
Схема з експериментальними точками (а) та дискретизована (б) модель пресового інструменту для формування великогабаритних вуглецевих заготовок:

1 – масний циліндр з нагрівником; 2 – мундштук; 3, 4 – основні нагрівники; 5 – додаткові нагрівники; т. 1–11 – точки вимірювання температури



Експериментальні термограми екструзії електродних заготовок (тепловізор Testo 875):
а – поверхня заготовки в момент пресування; б – зріз заготовки

Діапазон температур якісного пресування. Час: 85 хв



Температурний режим бездефектного пресування

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах [Текст] : моногр. / Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацький, Є. М. Панов та ін. — К.: НТУУ «КПІ», 2016. — 156 с. Гриф надано Вченою радою НТУУ «КПІ» (Протокол № 3 від 14.03.2016 р.)
2. Карвацький А.Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів [Текст]: навч. посіб. / А. Я. Карвацький — К.: НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2015. — 392 с. Гриф надано Вченою радою НТУУ «КПІ» (Протокол № 4 від 12.05.2015 р.)
3. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ. Розв'язання задач [Текст]: навч. посіб. / А. Я. Карвацький — К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. — 392 с. Гриф надано Вченою радою НТУУ «КПІ» (Протокол № 5 від 11.04.2016 р.)
4. Карвацький А. Я. Математичне моделювання екструзії електродних заготовок / А. Я. Карвацький, Т. В. Лазарев, О. С. Тищенко // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2015. — № 1(14). — С. 12—16.
5. Dешко V. I. Heat and mass transfer in cross-flow air-to-air membrane heat exchanger in heating mode / V. I. Dешко, A. Ya. Karvatskii, I. O. Sukhodub // Applied Thermal Engineering. — 2016. — No. 5, Vol. 100. — P. 133—145. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.01.139
6. Математическая модель процесса экструзии вязко-пластичной углеродной массы / Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацкий, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2016. — № 12 (1184). — С. 31—37. doi:10.20998/2413-4295.2016.12.05
7. Розв'язання нелінійних нестационарних задач теплопровідності з використанням cad-систем / А. Я. Карвацький, А. Ю. Педченко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки. — 2016. — № 13. — С. 67—77.
8. Реологічні властивості вуглецевих композицій в діапазоні температури 120-170 °С / А. Я. Карвацький, Т. В. Лазарев, Д. Г. Швачко, О. С. Тищенко // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — Харків: НТУ «ХПІ». — 2016. — № 18 (1190). — С. 74—79. — doi:10.20998/2413-4295.2016.18.11.
9. Экспериментальное исследование теплового состояния промышленного пресса для формования углеродной продукции / А.Я. Карвацкий, Т.В. Лазарев, А.Ю. Педченко // Вісник Хмельницького національного університету, Серія: Технічні науки.— Хмельницький. — 2016. — № 3 (237). — С. 188—194.
10. Коваленко І.В. Аналіз фізико-механічних властивостей сипких матеріалів, що впливають на точність їх безперервного дозування / І.В. Коваленко, Д.С. Янцибаєв // Додаток до журналу «Упаковка».— 2016. — №3. — С. 41—44.
11. Карвацький А. Я. Числові дослідження кампанії формування великогабаритних вуглецевих виробів методом екструзії через мундштук / А. Я. Карвацький, Т. В. Лазарев, М. В. Коржик // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2016. — № 25(1197). — С. 99—106. doi: 10.20998/2413-4295.2016.25.15.
12. Карвацький А. Я. Розв'язання нелінійної нестационарної задачі теплоелектропровідності методом скінченних елементів // А. Я. Карвацький, А. Ю. Педченко / Вісник ПДТУ. Серія: Технічні науки. — 2016. — Вип. 32. — С. 205—214.

16. ЕКСТРУЗИЯ, ВУГЛЕГРАФІТОВІ ЗАГОТОВКИ, МУНДШТУК, ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕПЛО-ГІДРОДИНАМІЧНИЙ СТАН, ПРЕСОВИЙ ІНСТРУМЕНТ