

5. Гуль, Ю.П. Влияние способа термического упрочнения на низкотемпературную прочность стержневой арматурной стали [Текст] / Ю.П. Гуль, А.С. Гулевский, А.П. Ярмоленко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1973. – Вып. 5. - С. 31-32.

### Abstract

The article presents the results of our studies in heat strengthening. Although there are many works, investigating heat strengthening of a reinforcing bar, modern literature could not provide sufficient information on formation of the structure and properties of reinforcement by broken hardening. To obtain the reinforcement with necessary distribution of the microstructure on the cross section, we have developed two modes of heat strengthening, varying by water pressure, supplied to the first section (mode 1 - 0.8 MPa, mode 2 - 1.5 MPa). The water pressure in the second and third sections, and the speed of rolling at two modes were similar and were equal to 0.6 MPa and 11.8 m/s respectively. The microstructures analysis showed that after the first mode of heat strengthening the structure consisted of colonies of quasieutectoid and rod cementite. After the second mode the structure consisted of bainite over the entire section.

The above results, obtained from experiments in the flow of jobbing mill 250-1 produced by public company «АМКР», confirmed the possibility of obtaining new data on the features of the phase transformations of austenite and the formation of such structure on the cross section of the reinforcement, which was little known. The use of broken hardening showed that such mechanical properties as strength and flexibility met the requirements of international standards. This improves handling of the process of the formation of structure and properties of bar, as well as adds to it additional consumer properties.

**Keywords:** structure, heat-strengthened reinforcing bar, broken hardening.

Представлено результати досліджень по створенню низкощільного вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу методом введення органічних пороутворювачів, що дозволяє одержувати матеріал із заздалегідь заданими властивостями. Матеріал, що одержують, з успіхом може бути використаний у якості теплоізоляції для електровакуумної техніки

**Ключеві слова:** вуглець-вуглецевий композиційний матеріал, карбонізація, пороутворювач, щільність, теплоізоляція

Представлены результаты исследований по созданию низкоплотного углерод-углеродного композиционного материала методом введения органических порообразователей, позволяющих получать материал с заранее заданными свойствами. Получаемый материал с успехом может быть использован в качестве теплоизоляции для электровакуумной техники

**Ключевые слова:** углерод-углеродный композиционный материал, карбонизация, порообразователь, плотность, теплоизоляция

УДК 620.22:661.666

## ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКОПЛОТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КАРБОНИЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**А. В. Карпенко**

Ассистент\*

Контактный тел.: 050-534-59-19

E-mail: abkarpenko@mail.ru

**В. А. Скачков**

Кандидат технических наук, доцент\*

**И. Ф. Червонный**

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой\*

Контактный тел.:(061) 223-82-61, 050-637-01-21

E-mail: rot44@yandex.ru

\*Кафедра металлургии цветных металлов

Запорожская государственная инженерная академия

пр. Ленина 226, г. Запорожье, Украина, 69006

### 1. Введение

Создание новых современных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) имеет важное значение для развития различных отраслей

промышленности, повышения эффективности и качества выпускаемой продукции. Особую роль при этом приобретает технология изготовления указанных материалов [1].

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Низкоплотные материалы могут быть получены двумя способами: высадкой из водной суспензии и введением порообразователей в заготовку карбонизируемого УУКМ. В первом случае плотность получаемого материала достигает  $0,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , но структуру такого материала трудно регулировать [3].

Проблема формирования карбонизованных углеродных композиционных материалов с заданной структурой и физико-механическими свойствами является актуальной, а методы расчета технологических режимов таких материалов представляют несомненный научный интерес.

Цель и задачи исследования сводятся к созданию низкоплотного углерод-углеродного композиционного материала методом введения органических порообразователей позволяющих получать материал с заранее заданными свойствами.

Одним из эффективных методов создания в объеме карбонизованных углеродных материалов заданной пористости с регулируемой формой и расположением пор является введение порообразователей. Порообразователи должны иметь низкий коксовый остаток, форму и расположение в объеме углеродных композиционных материалов, соответствующие требуемой пористости. В процессе сокарбонизации углеродных волокон, феноло-формальдегидной матрицы и порообразователей, формируется требуемая структура карбонизованных углеродных композиционных материалов.

При карбонизации заготовок из углепластика феноло-формальдегидная матрица изменяет свои физико-механические характеристики. Для исследования преобразований в феноло-формальдегидных смолах изготавливались образцы по следующей технологической схеме:

- получение форполимера (нагрев до температуры  $80 \pm 10^\circ\text{C}$  с выдержкой);
- приготовление пресспорошка (размол форполимера до порошка);
- прессование заготовок образцов;
- механическая вырезка.

Процесс карбонизации проводили в среде защитного газа (азот) при температуры  $900^\circ\text{C}$ . Усадки образцов определяли периодически через каждые  $100^\circ\text{C}$ .

На рис. 1 представлены объемные и линейные усадки феноло-формальдегидной смолы на основе СФ-010 и уротропина.

Как видно из представленного графика объемные и линейные усадки ФФС при карбонизации имеют три характеристические температуры. При карбонизации смолы до  $400^\circ\text{C}$  идет незначительное увеличение значений усадки, с повышением температуры до  $600^\circ\text{C}$  идет резкое увеличение значений величины усадки. При дальнейшем повышении температуры карбонизации до  $900^\circ\text{C}$  усадка ФФС происходит более плавно.

Углеродные волокна в процессе карбонизации заготовок УУКМ термохимических преобразований не претерпевают [4].

В качестве порообразователей предполагается использовать органические материалы с низким коксовым остатком. Введение органических порообра-

зователей позволяет получать УУКМ по обычной технологической схеме плотностью от  $0,4 \dots 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . В зависимости от выбранного порообразователя в конечном материале образуются поры различного размера, формы и назначения [3].

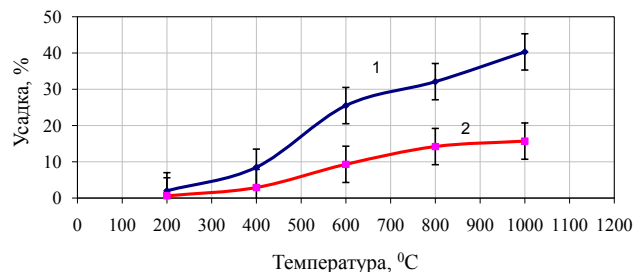


Рис. 1. Усадки феноло-формальдегидной смолы в зависимости от температуры обработки: 1 – объемные усадки; 2 – линейные усадки

Исследовали органические материалы – порообразователи имеющие низкий коксовый остаток: хлопок, полистирол, полиэтилен, древесные волокна, полиуретан, вискозу, древесные опилки. Исследования по определению коксового остатка проводили в лабораторной печи без доступа кислорода при температуре  $850^\circ\text{C}$  (табл. 1). В процессе карбонизации происходят сложные физико-химические превращения в объеме полимерной матрицы и порообразователей с образованием коксового остатка. При этом выделяются летучие газообразные вещества различного состава и реализуются процессы термохимической усадки, температурного расширения и порообразования. Такое многообразие процессов обуславливает образование микротрещин, микропор и формирование поля структурных напряжений.

Таблица 1

Свойства исследуемых материалов - порообразователей

Материал	Плотность $10^3, \text{ кг/м}^3$	Потеря массы, %
Хлопок	1,54...1,56	81,0
Полистирол	1,05	83,0
Полиэтилен	0,90	82,0
Древесные волокна	0,30	90,9
Вискоза	1,30	83,5
Древесные опилки	0,40	84,4

Расчет теоретической плотности  $\rho_m$  карбонизованного материала с порообразователем осуществляли с использованием следующей зависимости:

$$\rho_m = \sum_{i=1}^N q_i \cdot \rho_i \cdot k_i, \quad (1)$$

где  $q_i$  – объемное содержание  $i$ -го компонента в композиции;

$\rho_i$  – плотность  $i$ -го компонента системы;

$k_i$  – углеродный остаток каждого из компонентов.

Для изготовления образцов были взяты углеродные волокна на основе вискозы. В качестве связующего выбрана фенол-формальдегидная смола СФ-010 с уротропином в качестве отвердителя, традиционно используемая при получении УУКМ [1].

Таблица 3

Физико-механические свойства низкоплотного УУКМ

Показатели	Значения
Плотность материала (кажущаяся), 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	0,45...0,75
Разноплотность материала по высоте заготовки, %	до 0,3
Открытая пористость, не менее %	60
Коэффициент температурного линейного расширения, 1/К	(5,5...6,1)·10 <sup>-6</sup>
Предел прочности при изгибе, МПа не менее	90
Предел прочности при сжатии: перпендикулярно плоскости прессования, МПа	60...80
параллельно плоскости прессования, МПа	85...105
Содержание серы, % масс	0,2
Содержание углерода, не менее % масс	99,6
Теплопроводность, не более Вт/м·К	0,43

Общая схема получения низкоплотного УУКМ с порообразователем проходит по традиционной технологии прессования пластика на основе фенольного связующего [3]:

1. Подготовительные операции:  
- приготовление углеродных волокон;  
- приготовление связующего.
2. Приготовление пресс-массы материала.
3. Прессование заготовок.
4. Карбонизация.
5. Определение плотности и пористости.

Образцы были изготовлены традиционным методом горячего прессования с добавлением порообразователя по предложенным рецептурам (табл. 2).

На формирование пористой структуры УУКМ существенное влияние оказывают технологические параметры получения того или иного наполнителя, а также особенность его молекулярной структуры.

Таблица 2

Рецептуры для получения низкоплотного материала с ожидаемой плотностью материала

Вид порообразователя	Содержание компонентов системы, %			Плотность материалов до карбонизации 10 <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	Расчетная плотность материалов после карбонизации 10 <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	Экспериментальная плотность материала 10 <sup>3</sup> , кг/м <sup>3</sup>
	УВ	ФФС	Наполнитель			
Полиэтиленовое волокно	8	32	60	1,08	0,62	0,51
	5	36	59	1,15	0,75	0,67
	15	39	46	1,19	0,89	0,73
	10	40	50	1,25	1,02	0,97
Вискозное волокно	10	30	60	0,75	0,52	0,44
	5	39	59	0,85	0,67	0,52
	20	35	45	1,01	0,83	0,71
	10	40	50	1,15	0,98	0,86
Хлопковое волокно	10	40	50	1,66	0,51	0,42
	5	35	60	1,78	0,67	0,49
	15	40	45	0,98	0,83	0,73
	8	32	60	1,19	0,98	0,84
Древесная мука	10	40	50	0,88	0,55	0,46
	10	30	60	0,95	0,7	0,59
	15	40	45	1,06	0,85	0,71
	5	35	60	1,18	0,99	0,79

Так, при введении наполнителя волокнистой структуры поры после карбонизации приобретают линейный характер, то есть становятся транспортными. При добавлении порообразователя в виде гранул или порошка после карбонизации образуются поры сферической формы. Наличие пористости в углеродных материалах оказывает существенное влияние на их физико-механические свойства (прочность, модуль упругости, электросопротивление, теплопроводность и др.).

Заготовки карбонизовали при 1000 °С, в инертной или восстановительной атмосфере. Карбонизация обеспечивает деструкцию фенол-формальдегидной смолы и переход ее в твердую углеродную матрицу. На этой стадии технологии происходит выделение летучих продуктов пиролиза, образование закрытой и открытой пористости, усадка заготовки.

Полученные по предложенной схеме низкоплотные материалы обладают следующими физико-механическими свойствами (табл.3):

3. Выводы

Применение УУКМ с низкой плотностью (до 0,2·10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>), термической устойчивостью до 3000 °С и теплопроводностью до 0,4 Вт/(м·К) позволит в 2...5 раз снизить тепловые потери электропечей по сравнению с агрегатами, оснащенными экранной теплоизоляцией на основе тугоплавких металлов.

Рассмотренный подход к реализации процесса карбонизации углеродных композитов с порообразователями позволяет разрабатывать рациональные технологические режимы производства профильных изделий различных геометрических размеров и формы. Разработаны рецептурные составы и технологии изготовления композитов данного типа, применяемых для систем теплозащиты, силицированных УКМ для антифрикционных узлов и высоконагруженных конструкций.

Литература

1. Фиалков, А. С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе [Текст] / А. С. Фиалков - М. : Аспект Пресс, 1997. - 714 с. - Библиогр. : с. 662-711. - 2000 экз. - ISBN 5-756701907.
2. Мармер, Э. Н. Электропечи для термовакуумных процессов [Текст] / Э. Н. Мармер, С. Г. Мурованная, Ю. Э. Васильев; 2-е изд. перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 232 с. - Библиогр. : с. 219-229. - ISBN 5-283-00597-6.
3. Карпенко, А.В. Формирование заготовок углерод - углеродных композиционных материалов из водных суспензий [Текст] / В.А Скачков., С.С. Кудиевский, А.В. Карпенко, Р.А. Шаповалов // Металлургия : сб. науч. трудов. – Запорожье : ЗГИА, 1999. - Выпуск №2. - С. 82-87.
4. Конкин, А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы [Текст] / А. А. Конкин. - М. : Химия, 1974. - 376 с.

**Abstract**

The formation of carbonized carbon-carbon composite materials with a specified structure and physico-mechanical properties is an important task; and the methods of calculation of technological modes of obtaining such materials are of great scientific interest. The study aims to create the low-density carbon-carbon composite material based on carbon fibers and phenol-formaldehyde binder with the introduction of organic expanding agents. The use of the organic expanding agents permitted to produce the composite materials with controlled density of  $0,4 \dots 0,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . The basic technological properties of the expanding agents were studied and the formula to produce carbon materials with predetermined properties was recommended. This approach of carbonization of the low-density carbon-carbon composite materials with the expanding agents permits to develop rational modes of production of products of different dimensions and forms, used for heat-insulation of electrovacuum equipment

**Keywords:** carbon-carbon composite material, carbonization, expanding agent, density, heat insulation

УДК 691.53: 621. 65. 004.68

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ АБРАЗИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ПРИ РОБОТІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РОЗЧИНОНАСОСІВ

**О. С. Васильєв**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра будівельних машин та обладнання  
ім. Олександра Онищенка  
Полтавський національний технічний  
університет ім. Юрія Кондратюка  
Пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011  
Контактний тел.: 050-598-03-14

Проведено дослідження зміни абразивних властивостей розчинних будівельних сумішей при багаторазовому проходженні через робочі камери диференціальних розчинонасосів

**Ключові слова:** розчинонасос, абразивні властивості, частинки піску

Проведено исследование изменения свойств растворимых строительных смесей при многократном прохождении через рабочие камеры дифференциальных растворонасосов

**Ключевые слова:** растворонасос, абразивные свойства, частицы песка

## 1. Вступ

Шлях від розробки розчинонасосів, їх модернізації і вдосконалення до серійного виготовлення на виробництві обов'язково супроводжується періодичним проведенням ресурсних випробувань на довговічність. Для цієї мети, як правило, використовують спеціальні випробувальні стенди, які складаються з розчинозмішувача із механічною мішалкою, розчинонасоса, що випробовується, і навантажувального пристрою для створення тиску на виході з розчинонасоса. Бункер змішувача, як правило, не перевищує по обсягу  $100 - 300 \text{ дм}^3$ , а пристрій, що навантажує, найчастіше являє собою гумовотканинний або металевий розчинопрвід певної довжини.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми

Тискподачів процесі випробувань розчинозмішувачів звичайно не перевищує  $1 \text{ МПа}$  [1]. Для створення більш

високого тиску необхідно мати трубопроводи значної довжини. Створювати ж підвищений тиск шляхом заземлення гумовотканинного рукава не можна, оскільки при створенні такого місцевого опору будівельний вапняно-піщаний розчин розшаровується з утворенням "пробки" і подальша подача розчину по трубопроводу стає неможливою [2]. Крім того, з огляду на тривалість ресурсних випробувань, при високому тиску подачі довелось б затрачати значну кількість електроенергії [3, 4]. При ресурсних випробуваннях на стенді перекачується розчин, що рухається по замкнутому колу, тобто надходить із бункера змішувача в розчинонасос і, пройшовши через його робочі камери й кульові клапани, вертається по трубопроводу назад у змішувач [5].

## 3. Формулювання цілей статті

Метою даного дослідження є встановлення зміни абразивних властивостей розчинних будівельних сумішей при перекачуванні по замкнутому колу.