

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 658.562, 621.763
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-153-162



ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Антипова Т.Н., Бабкин Д.С.

Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова, Королев, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). В результате анализа исследований по управлению качеством композиционных материалов выявлено, что оценке и управлению информационного обеспечения не уделялось должного внимания. Следовательно, при применении информационных систем с ненадлежащим качеством падает эффективность управления процессами, что приводит к ухудшению качества выпускаемой продукции. Анализируя существующие информационные подсистемы для управления качеством композиционных материалов, следует отметить отсутствие системного подхода к их построению. При построении концептуальных схем управления, как правило, учитываются три основных этапа, а именно контроль исходных материалов, технологических параметров и показателей качества конечной продукции. В связи с этим невозможно выполнение перспективных задач планирования, для чего необходима прогнозная информация. Следовательно, требуется совершенствование элементов методологии построения информационных подсистем и разработки концептуальных положений для обоснования новой структуры информационного обеспечения. **Цель работы.** Разработать основные положения концепции и структуру системы информационного обеспечения производства металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu, включающую весь комплекс управляемых факторов и обеспечивающую планирование и оперативное управление технологическим процессом. **Используемые методы.** Представленная работа основана на методологии системного и процессного подходов, также применены методы графического и математического моделирования, сравнительный и риск-ориентированный анализ. **Новизна.** Разработаны основные положения концепции информационного обеспечения производства металломатричных слоистых композиционных материалов. Обоснована структура системы информационного обеспечения производства изделий из металломатричного композиционного материала. **Результат.** Полученные результаты исследования являются развитием теоретических положений в области управления качеством продукции из металломатричного слоистого композиционного материала. **Практическая значимость.** Разработанные основные положения концепции и структура системы информационного обеспечения позволяют осуществлять оперативное управление технологическими операциями с учетом характеристик применяемого оборудования, что гарантирует соблюдение всех технологических операций и получение качественной продукции с заданными заказчиком свойствами. Данная система информационного обеспечения включает весь комплекс управляемых факторов и позволяет осуществлять мониторинг на всех стадиях производства и планирование производства новой продукции.

Ключевые слова: управление качеством продукции, информационное обеспечение, концепция, модели, металломатричный слоистый композиционный материал

© Антипова Т.Н., Бабкин Д.С., 2024

Для цитирования

Антипова Т.Н., Бабкин Д.С. Обоснование структуры информационного обеспечения системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 153-162. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-153-162>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

PROVIDING A RATIONALE FOR THE STRUCTURE OF INFORMATION SUPPORT FOR THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF METAL MATRIX LAYERED COMPOSITE MATERIALS WITH SPECIFIC CONSUMER PROPERTIES

Antipova T.N., Babkin D.S.

Leonov University of Technology, Korolev, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The analysis of research on quality management of composite materials revealed that due attention was not paid to the assessment and management of information support. Consequently, when using information systems with inadequate quality, the efficiency of process management decreases leading to deterioration in the quality of products. Analyzing existing information subsystems for managing the quality of composite materials, it should be noted that there is no systematic approach to their construction. When constructing conceptual management schemes, as a rule, three main stages are taken into account, namely control of source materials, technological parameters and quality indicators of the final product. In this regard, it is impossible to carry out long-term planning tasks requiring forecast information. Consequently, it is necessary to improve the elements of the methodology for constructing information subsystems and developing conceptual provisions to provide a rationale for the new structure of information support. **Objectives.** The study aims at developing the basic principles of the concept and the structure of the information support system for the production of metal matrix layered composite material of the Ti-C-Cu system, which includes the entire complex of controlled factors and ensures planning and operational control of the technological process. **Methods Applied.** The presented research is based on the methodology of system and process approaches; we also apply methods of a graphical and mathematical simulation, and a comparative and risk-based analysis. **Originality.** We developed the main provisions of the concept of information support for the production of metal matrix layered composite materials. The article provides the rationale for the structure of the information support system for manufacturing products from metal matrix composite materials. **Result.** The obtained research results are the development of theoretical principles in the field of quality management of products made from metal matrix layered composite materials. **Practical Relevance.** The developed basic provisions of the concept and the structure of the information support system contribute to the operational management of technological operations, taking into account the characteristics of the equipment used, which guarantees compliance with all technological operations and the production of high-quality products with the properties specified by the customer. This information support system includes the entire complex of controllable factors, monitors all stages of production and plans manufacturing of new products.

Keywords: product quality management, information support, concept, models, metal matrix layered composite material

For citation

Antipova T.N., Babkin D.S. Providing a Rationale for the Structure of Information Support for the Quality Management System of Metal Matrix Layered Composite Materials with Specific Consumer Properties. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 153-162. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-153-162>

Введение

На основе анализа опубликованных источников выявлено, что научному обоснованию структуры информационного обеспечения уделялось недостаточно внимания. Также не в полной мере проанализирован и обобщен накопленный опыт в этой области, что препятствует разработке единого методологического подхода для применения в системах управления различного уровня и назначения [1-3].

Одним из направлений повышения эффективности российской авиационной и ракетно-космической техники является применение композиционных материалов, в том числе металломатричных слоистых композиционных материалов, основными характеристиками которых являются удельная прочность, плотность, жесткость и жаропрочность, которые можно использовать в качестве конструкционных [4-8].

Для управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов требуется научно обоснованная информационная подсистема (информационное обеспечение). Система информационного обеспечения предназначена для сбора, анализа и хранения информации, необходимой для принятия управленческих решений и, прежде всего, для обоснования технологии производства.

В результате анализа опубликованных источников выявлено, что в настоящее время информационное обеспечение производства композиционных материалов направлено только на решение оперативных задач управления и не охватывает весь комплекс факторов, влияющих на качество продукции [9, 10].

Следовательно, научные исследования по совершенствованию информационных подсистем являются актуальными, особенно учитывая, что большинство подсистем эксплуатируются в динамических условиях, которые связаны как с течением времени, так и с

изменением требований заказчика и должны обеспечить не только оперативное управление, но и планирование изготовления новой продукции.

Таким образом, целью данного исследования является обоснование структуры информационного обеспечения системы управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов с заданными потребительскими свойствами.

Методика исследований

В данной работе были применены методы системного и процессного подходов, методы графического и математического моделирования, сравнительный и риск-ориентированный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Информационное обеспечение непрерывно связано с технологией изготовления металломатричных композиционных материалов, в том числе нового металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-C. На начальном этапе производства объект управления представляет собой совокупность дискретных исходных материалов: углеродный холст, газ монометилсилан, фольги титана и меди. Особенностью объекта управления является то, что вследствие прохождения технологических операций объект управления постоянно преобразовывается до получения конечного материала. Следовательно, данные преобразования можно представить в виде потока веществ (рис. 1).

Преобразование объекта управления на этапах производства происходит путем применения управляющих воздействий на каждой стадии изготовления металломатричного слоистого композиционного материала.

На основании изучения существующих методологических подходов и концептуальных моделей построения информационных подсистем сделан вывод об их недостаточности для решения задач управления производством металломатричных слоистых композиционных материалов. Одним из основных элементов методологии является концепция информационных под-

систем в системах управления качеством металломатричных слоистых композиционных материалов.

Предлагаются следующие основные положения (требования) концепции подсистемы информационного обеспечения производства металломатричных композиционных материалов:

1. Информационную подсистему следует рассматривать как неотъемлемую часть системы управления производством.

2. Информационная подсистема ориентирована на потребителя.

3. Информационная подсистема предназначена для сбора, хранения, анализа ретроспективной и прогнозной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

4. Информационная подсистема включает следующие элементы: показатели качества конечной продукции, характеристики объекта управления (полуфабрикаты по каждой операции), управляющие воздействия, информацию обратной связи (по каждому полуфабрикату и конечной продукции), характеристики исходных материалов и параметров оборудования.

5. Информационная подсистема должна иметь возможность обосновывать технологические параметры для получения заданных показателей качества на основе соответствующих математических и графических моделей.

6. Информационная подсистема должна прогнозировать возможность изготовления новой продукции с заданными свойствами с учетом технологических возможностей и на основе экспериментально полученных математических моделей.

7. Информация должна отвечать требованиям по достоверности, актуальности, своевременности, достаточности, а также другим требованиям, исходя из специфических требований формирования информационных баз данных.

8. Информационная подсистема должна иметь структурированную процедуру формирования информационной базы.

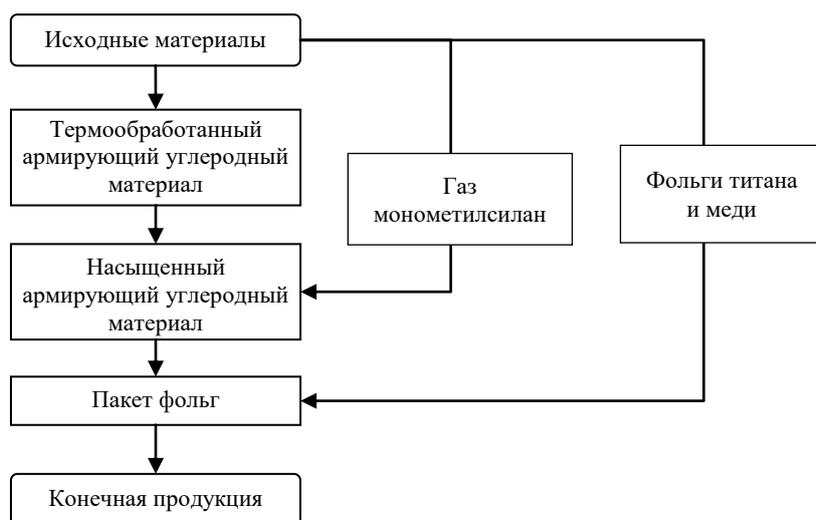


Рис. 1. Блок-схема потока веществ при изготовлении металломатричного слоистого композиционного материала
Fig. 1. Block diagram of the flow of substances in manufacturing the metal matrix layered composite material

Таким образом, на основании представленной концепции разработана следующая структура информационного обеспечения изготовления металломатричных слоистых композиционных материалов (рис. 2), включающая следующие блоки:

- оценки качества конечной продукции – основываются на требованиях заказчика и соответствующей нормативной документации (ГОСТ, СТО, ТУ и др.) [11-13];
- оценки качества исходных материалов – основываются на анализе рынка и требований технологии;

- оценки качества промежуточной продукции (полуфабрикатов);
- управляющих воздействий (технологические параметры);
- характеристик средств реализации управляющих воздействий (оборудование);
- прогнозной информации, обеспечивающей необходимые данные для планирования производства новой продукции, совершенствования технологических процессов, наличия или разработки необходимого оборудования.



Рис. 2. Структура информационной подсистемы производства металломатричных слоистых композиционных материалов

Fig. 2. Structure of the information subsystem for manufacturing metal matrix layered composite materials

Предлагается математическую модель, описывающую процесс формирования показателей качества продукции, представить в виде функции характеристик исходных материалов, полуфабрикатов, оборудования и параметров технологических операций:

$$y_i = f(a_1, \dots, a_n; x_1, \dots, x_n; c_1, \dots, c_n; b_1, \dots, b_n), \quad (1)$$

где a_n – характеристика n -го исходного материала; x_n – n -й параметр технологической операции; c_n – n -я характеристика качества полуфабриката; b_n – n -я характеристика оборудования; y_n – n -й показатель качества конечной продукции (МСКМ).

Информационное обеспечение является неотъемлемой частью системы управления качеством изготовления металлматричного слоистого композиционного материала (рис. 3) и включает следующие блоки:

1. Блок исходных материалов:

- a_1 – гидросплетенный углеродный холст;
- a_2 – газ монометилсилан;
- a_3 – фольги титана и меди.

2. Блок технологических (управляющих) параметров:

- X_i^1 – технологические параметры на этапе термообработки углеродного армирующего холста (температура, время выдержки);
- X_i^2 – технологические параметры на этапе нанесения интерфазного покрытия на углеродный армирующий холст (температура, время выдержки, давление, скорость осаждения, расход газа);
- X_i^3 – технологические параметры на этапе формирования пакетов фольг (толщина, схема выкладки);
- X_i^4 – технологические параметры на этапе горячего вакуумного прессования (температура, время выдержки, давление, степень вакуумирования).

3. Блок характеристик полуфабрикатов:

- C_1 – характеристики термообработанного углеродного холста;
- C_2 – характеристики термообработанного углеродного холста с нанесенным интерфазным покрытием;
- C_3 – характеристики пакета с чередующимися в определенном порядке углеродного холста, фольги титана и фольги меди.

4. Блок характеристик оборудования:

- b_1 – характеристики муфельной печи;
- b_2 – характеристики печи химического осаждения из газовой фазы;
- b_3 – характеристики ручных гильотинных ножниц;
- b_4 – характеристики вакуумной печи горячего прессования.

После получения конечной продукции необходимо провести анализ соответствия металлматричного слоистого композиционного материала требованиям заказчика. Требования заказчика представляют собой численные характеристики, обусловленные назначением и свойствами, необходимыми для выполнения поставленных задач.

Требования заказчика определяются в зависимости от предполагаемой сферы применения материала (поставленной цели) и, соответственно, могут варьироваться.

Следовательно, неотъемлемой частью оценки качества продукции является блок сравнения показателей качества продукции (МСКМ) с предъявляемыми требованиями от заказчика по следующей формуле:

$$K_{n \min} \leq y_4 < K_{n \max},$$

где $K_{n \min}$ – минимальные требуемые показатели качества конечной продукции, полученные от заказчика; $K_{n \max}$ – максимальные требуемые показатели качества конечной продукции, полученные от заказчика; y_4 – показатели качества конечной продукции.

Если данные требования выполняются, продукция отправляется заказчику, если результат не соответствует, тогда требуется проведение анализа полученных результатов и внесение изменений в систему управления получения металлматричного слоистого композиционного материала.

На основании математической модели (формула (1)) разработан комплекс математических зависимостей характеристик качества полуфабрикатов для каждой операции и показателей качества конечной продукции.

В результате первой операции получается полуфабрикат – термообработанный армирующий углеродный холст:

$$C_1 = f(a_1; x_i^1; b_i^1). \quad (2)$$

Вторая операция – нанесение интерфазного покрытия на армирующий углеродный холст:

$$C_2 = f(c_1; a_2; x_i^2; b_i^2). \quad (3)$$

Третья операция – формирование пакетов фольг:

$$C_3 = f(c_2; a_3; x_i^3; b_i^3). \quad (4)$$

Четвертая операция – вакуумное горячее прессование:

$$y_4 = f(c_3; x_i^4; b_i^4). \quad (5)$$

Также значение каждого технологического воздействия x_n является функцией характеристик оборудования b_i на каждом этапе технологического процесса:

$$X_n^i = f(b_1, b_2, \dots, b_i). \quad (6)$$

Принципиальной новизной модели (рис. 3) системы управления являются элементы, которые связаны вещественными и информационными потоками, характеризуют специфику производства металлматричного слоистого композиционного материала с учетом характеристик оборудования и требований пооперационного контроля характеристик полуфабрикатов, что гарантирует надлежащий уровень качества конечной продукции.

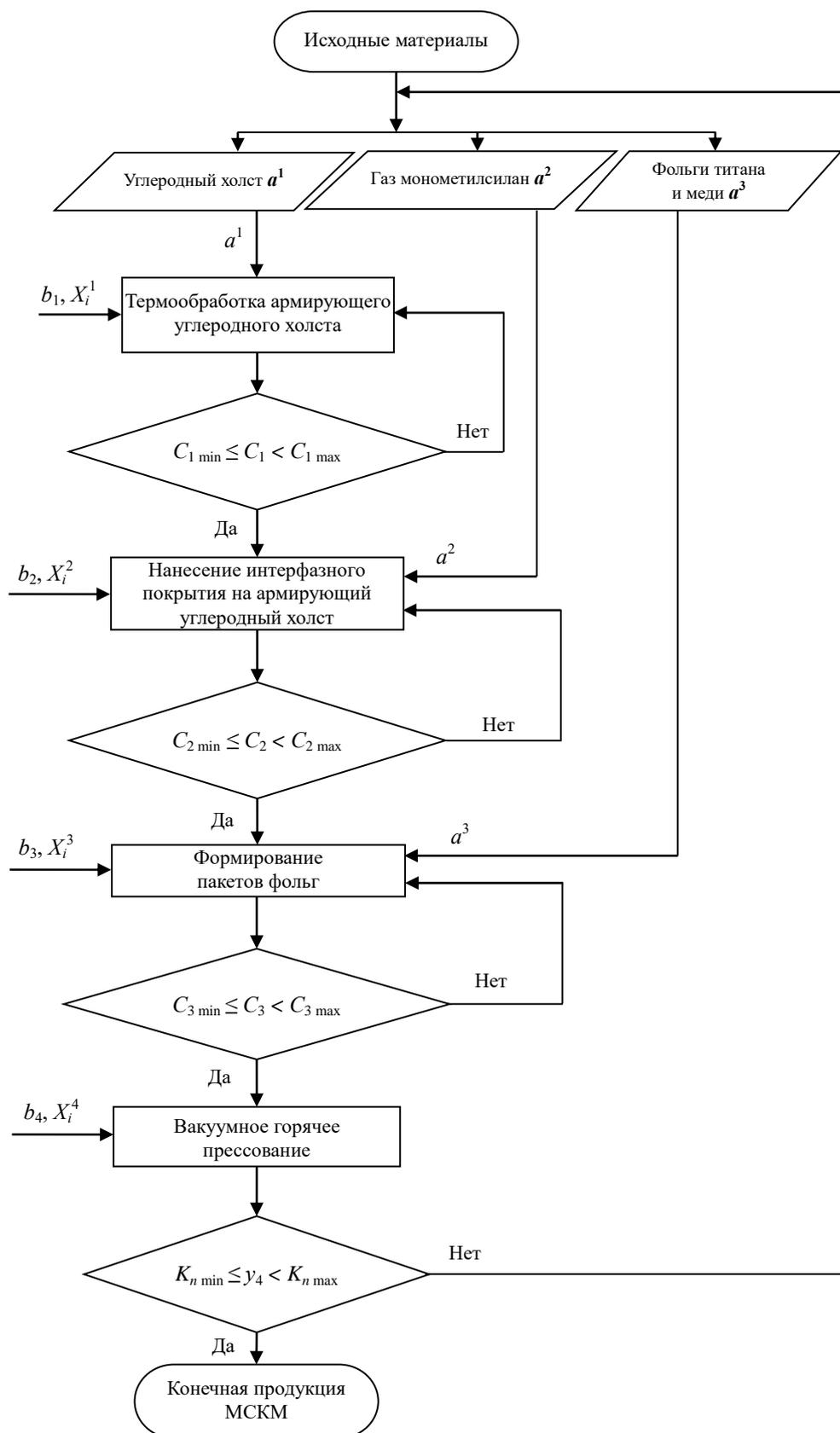


Рис. 3. Блок-схема системы управления качеством изготовления металломатричного слоистого композиционного материала

Fig. 3. Block diagram of the quality management system for manufacturing a metal matrix layered composite material

Отличительной особенностью создания нового металломатричного слоистого композиционного материала (системы Ti-Cu-C) является штучное производство, содержащее ручную сборку пакетов фольг. Данную операцию предлагается оценивать как критичную с повышенным уровнем риска, так как после данного этапа брак невозможно исправить. Для оценки влияния человеческого фактора предлагается ввести в блок технологических параметров новую характеристику – приоритетное число рисков. Для оценки влияния человеческого фактора на качественные характеристики получаемого на данном этапе полуфабриката был проведен анализ рисков (табл. 1).

$$\text{ПЧР} = O \cdot S, \quad (7)$$

где ПЧР – приоритетное число рисков; O – оценка вероятности появления риска, шт.; S – оценка значимости последствий каждого риска в баллах.

Таблица 1. Результаты оценки экспертов значимости последствий каждого риска в баллах
Table 1. Results of the expert assessment of the significance of the consequences of every risk in points

Этап	1	2	3	4	5	6
Оценка значимости последствий каждого риска по операциям в баллах S	2	3	2	5	1	1

После чего в процессе изготовления была получена статистика по количеству брака на 100 изготовленных изделий (табл. 2).

Таким образом, можно вычислить приоритетное число рисков (ПЧР) для каждого риска по формуле (7) и частоту появления брака по формуле

$$W = \frac{m}{\sum n}, \quad (8)$$

где W – относительная частота возникновения события; m – количество брака, шт.; $\sum n$ – общее количество изделий.

Таблица 2. Расчет приоритетного числа рисков на этапах изготовления металломатричного слоистого композиционного материала
Table 2. Calculation of the priority number of risks at the stages of manufacturing the metal matrix layered composite material

Этап	1	2	3	4	5	6
Количество брака	0	1	0	4	1	0
Частота возникновения брака	0	0,01	0	0,04	0,01	0
ПЧР	0	0,03	0	0,2	0,01	0

Высокая частота появления брака на четвертом этапе создания изделия, а именно сборка пакетов

фольг, обусловлена большим влиянием человеческого фактора. Следовательно, рекомендуется внедрять методы автоматизированной сборки пакетов фольг на данном этапе производства для минимизации влияния человеческого фактора и сокращения количества бракованной продукции.

Завершающим этапом технологического процесса является горячевакуумное прессование. В результате данной операции получается конечная продукция, а именно металломатричный слоистый композиционный материал, одним из главных показателей качества которого является толщина. Для оценки возможности создания перспективных материалов с улучшенными свойствами, то есть большей или меньшей толщиной конечной продукции, необходимо изучить возможности технологии и соответствующего оборудования. Для этого были проведены экспериментальные исследования по выявлению зависимости показателя качества продукции (толщины) от технологического параметра (температуры) на завершающем этапе изготовления.

На рис. 4 представлена графическая и математическая модели зависимости толщины конечной продукции от температуры спекания.

Данная модель позволяет определить наименьшую и наибольшую возможную (прогнозируемую) температуру спекания для получения необходимой толщины пакета при неизменной схеме выкладки и количестве слоев, следовательно, можно спрогнозировать диапазон технологических параметров для получения продукции с перспективными свойствами, то есть планировать ее выпуск.

При данной схеме выкладки обоснована перспективная возможность изменения конечной толщины продукции, как одного из основных показателей качества металломатричного слоистого композиционного материала, от технологических параметров. При этом температура спекания может варьироваться от 800 до 1900°C, что связано с возможностями оборудования и физико-механическими процессами. Таким образом, необходимо включить в структуру информационного обеспечения блок прогнозной информации.

Предлагается, что информационное обеспечение системы управления качеством металломатричного слоистого композиционного материала (Ti-Cu-C) должно иметь следующую структуру:

- показатели качества продукции из металломатричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu;
- характеристики исходных материалов;
- параметры технологических операций;
- характеристики полуфабрикатов;
- характеристики оборудования, применяемого в процессе выполнения технологических операций при изготовлении МСКМ;
- прогнозная информация.

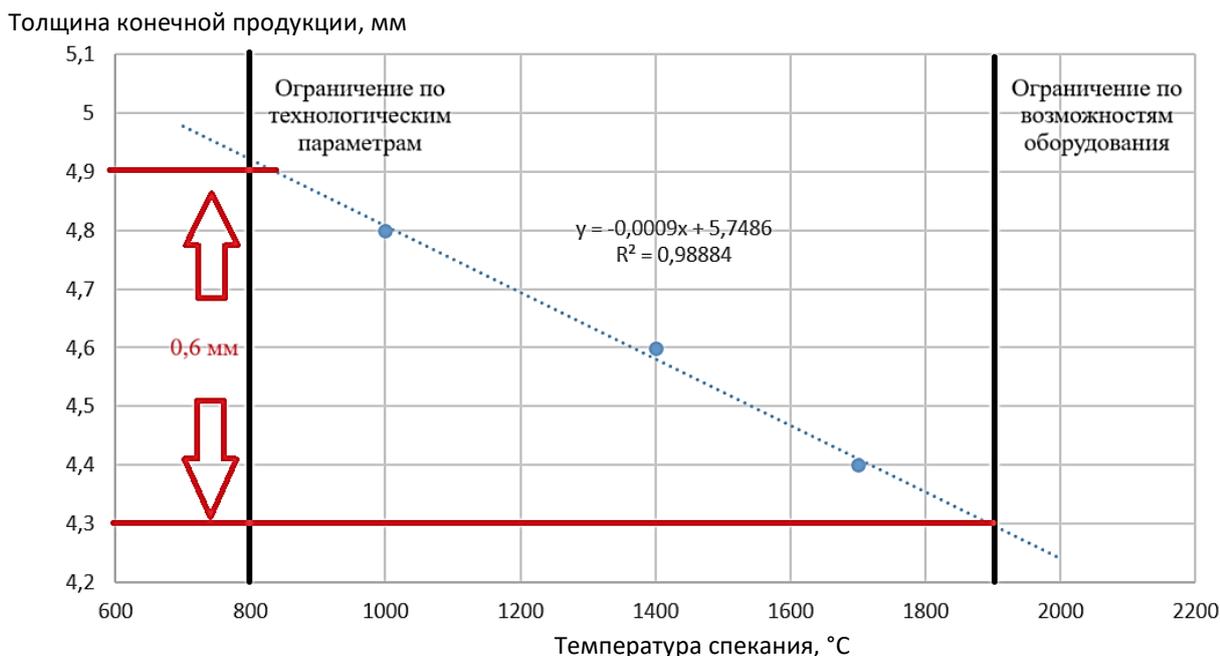


Рис. 4. Графическая и математическая модель зависимости толщины конечной продукции h , мм, от температуры спекания

Fig. 4. A graphic and mathematical model of the dependence relation between thickness of finished product h , mm, and sintering temperature

Заключение

1. Разработаны основные положения концепции, которые основаны на системном подходе к построению информационного обеспечения системы управления качеством металлматричных слоистых композиционных материалов, реализуются требования к структуре информационной подсистемы, гарантирующей получение качественной информации для оперативного управления и планирования создания перспективных материалов.

2. Разработаны концептуальная модель управления качеством металлматричного слоистого композиционного материала Ti-C-Si и структура информационного обеспечения, основанные на методологии системного и процессного подходов, учитывающих особенности производства и пооперационный характер формирования показателей качества продукции, что позволяет осуществлять мониторинг на всех стадиях производства, оценивать качество продукции и планировать выпуск новых материалов.

3. Разработан комплекс математических моделей, описывающих процесс формирования показателей качества продукции, зависимостей характеристик качества полуфабрикатов от технологических параметров, характеристик исходных материалов и оборудования для каждой операции.

4. Для оценки влияния человеческого фактора на качественные характеристики получаемого полуфабриката (пакета фольг) на одном из этапов технологии был проведен анализ рисков появления брака. Рекомендуется для снижения негативного влияния человеческого фактора внедрять методы автоматизиро-

ванной сборки пакетов фольг на данном этапе производства металлматричного слоистого композиционного материала системы Ti-Cu-S.

5. На основе экспериментальных исследований получены графическая и математическая зависимости показателя качества продукции (толщины) от технологического параметра (температуры) на завершающем этапе изготовления, ограниченные возможностями оборудования и физико-механическими процессами. Данные модели позволяют спрогнозировать диапазон технологических параметров для практической реализации продукции с перспективными свойствами, то есть планировать ее выпуск с учетом требований заказчика и возможностями оборудования.

Список источников

1. Антипова Т.Н., Бабкин Д.С. Моделирование процесса вакуумного горячего прессования при создании металлматричных композиционных материалов // Информационно-технологический вестник. 2022. №1(31). С. 162-169.
2. Антипова Т.Н., Бабкин Д.С. Разработка процессно-ориентированной модели технологии создания металлматричных композиционных материалов с применением вакуумного горячего прессования // Информационно-технологический вестник. 2022. №4(34). С. 147-155.
3. Антипова Т.Н., Олешко А.Ю. Методические основы управления качеством продукции из волокнистых металлокомпозиций // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. №1. С. 55-62.

4. Исследование межфазного взаимодействия на границе раздела в системе Ti-C с отечественными титановыми сплавами классов $\alpha + \beta$ и псевдо α / Сидоров Д.В., Серпова В.М., Заводов А.В., Шавнев А.А. // Физика и химия обработки материалов. 2020. №5. С. 75-81. DOI: 10.30791/0015-3214-2020-5-75-81
5. Углетитановые композиты: микроструктура, прочность и трещиностойкость / С.Т. Милейко, С.Н. Галышев, А.А. Колчин, В.В. Кедров, О.Ф. Шахлевич, М.Ю. Никонович, Н.А. Прокопенко // Композиты и наноструктуры. 2019. Т. 11. Вып. 4(44). С. 147-152.
6. Even C., Arvieu C., Quenisset J.M. Powder route processing of carbon fibers reinforced titanium matrix composites // Composites Science and Technology. 2008, vol. 68, pp. 1273-1281.
7. Melt Infiltration Casting of Alumina Silicon Carbide and Boron Carbide Reinforced Aluminum Matrix Composites / A. Kalkanli, T. Durmaz, A. Kalemtaş, G. Arslan // Journal of Material Sciences & Engineering. 2017, vol. 6, pp. 1-5.
8. Katzman H. Fibre coatings for the fabrication of graphite-reinforced magnesium composites // Journal of Materials Science. 1987, vol. 22, no 1, pp. 144-148.
9. Гращенко Д.В. Стратегия развития неметаллических материалов, металлических композиционных материалов и теплозащиты // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 264-271. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-264-271
10. Разработка структуры нормативного документа на металлопродукцию на основе принципа опережающей стандартизации / Снимшиков С.В., Полякова М.А., Лимарев А.С., Харитонов В.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2019. Т.17. №1. С. 86-93. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-1-86-93>
11. ГОСТ Р 58062-2018. Ткани на основе углеродных волокон. Технические требования и методы испытаний.
12. ГОСТ 22178-76. Листы из титана и титановых сплавов. Технические условия (с Изменениями № 1-5).
13. ГОСТ 1173-2006. Фольга, ленты, листы и плиты медные. Технические условия.
- pressing. *Informatsionno-tekhnologicheskiiy vestnik* [Information and Technology Bulletin]. 2022;(4(34)): 147-155. (In Russ.)
3. Antipova T.N., Oleshko A.Yu. Basic procedures of product quality control for fiber metal composites. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020;18(1):55-62. (In Russ.)
4. Sidorov D.V., Serpova V.M., Zavodov A.V., Shavnev A.A. Study on the interphase interaction at the interface in the Ti-C system with Russian titanium alloys of the $\alpha + \beta$ and pseudo α classes. *Fizika i khimiya obrabotki materialov* [Physics and Chemistry of Materials Treatment]. 2020;(5):75-81. (In Russ.) DOI: 10.30791/0015-3214-2020-5-75-81
5. Mileiko S.T., Galyshev S.N., Kolchin A.A., Kedrov V.V., Shakhlevich O.F., Nikonovich M.Yu., Prokopenko N.A. Carbon-fibre/titanium matrix composites: microstructure, strength and fracture toughness. *Kompozity i nanostrukturny* [Composites and Nanostructures]. 2019;11(4(44)):147-152. (In Russ.)
6. Even C., Arvieu C., Quenisset J.M. Powder route processing of carbon fibers reinforced titanium matrix composites. *Composites Science and Technology*. 2008;68:1273-1281.
7. Kalkanli A., Durmaz T., Kalemtaş A., Arslan G. Melt infiltration casting of alumina silicon carbide and boron carbide reinforced aluminum matrix composites. *Journal of Material Sciences & Engineering*. 2017;6:1-5.
8. Katzman H. Fibre coatings for the fabrication of graphite-reinforced magnesium composites. *Journal of Materials Science*. 1987;22(1):144-148.
9. Grashchenkov D.V. Strategy of development of non-metallic materials, metal composite materials and heat shielding. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies]. 2017;(S):264-271. (In Russ.) DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-264-271
10. Snimshchikov S.V., Polyakova M.A., Limarev A.S., Kharitonov V.A. Development of a structure of norms for steel products based on a principle of advanced standardization. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2019;17(1):86-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-1-86-93>
11. State standard GOST R 58062-2018. Fabrics based on carbon fibers. Technical requirements and test methods.
12. State standard GOST 22178-76. Sheets of titanium and titanium alloys. Specifications (including Amendments No. 1-5).
13. State standard GOST 1173-2006. Copper foil, tapes, sheets and plates. Specifications.

References

1. Antipova T.N., Babkin D.S. Simulation of the vacuum hot pressing process in manufacturing metal matrix composites. *Informatsionno-tekhnologicheskiiy vestnik* [Information and Technology Bulletin]. 2022;(1(31)):162-169. (In Russ.)
2. Antipova T.N., Babkin D.S. Development of a process-oriented model of the technology for manufacturing metal matrix composites, using vacuum hot

Поступила 19.03.2024; принята к публикации 17.04.2024; опубликована 27.06.2024
Submitted 19/03/2024; revised 17/04/2024; published 27/06/2024

Антипова Татьяна Николаевна – доктор технических наук, профессор, Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова, Королев, Россия.
Email: antipova@ut-mo.ru.

Бабкин Дмитрий Сергеевич – аспирант, Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова, Королев, Россия. Email: tevtonez9@yandex.ru.

Tatyana N. Antipova – DrSc (Eng.), Professor, Leonov University of Technology, Korolev, Russia.
Email: antipova@ut-mo.ru.

Dmitry S. Babkin – postgraduate student, Leonov University of Technology, Korolev, Russia.
Email: tevtonez9@yandex.ru.