

УДК 539.319:678.027.94

А.В. ЧЕСНОКОВ

Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Украина

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ

Технологические процессы (ТП) подготовки жгутов к переработке и сборки армирующих каркасов представлены в виде модели их взаимодействия, от исходных характеристик сырья до параметров армирующих каркасов для газофазного насыщения углеродом матрицы. Определены факторы и показатели качества для каждого ТП. Записаны функции взаимодействия этапов и режимов ТП в общем виде. На основании комплексных исследований этапов ТП функции взаимодействия и показатели качества получены в виде теоретических выражений и экспериментальных зависимостей. На основании модели определены рациональные параметры процессов, разработаны новые ТП и автоматизированное оборудование.

Ключевые слова: взаимодействие технологических процессов, пултрузия стержней, стержневой армирующий каркас, показатели качества.

Состояние проблемы

Создание конструкций современных летательных аппаратов (ЛА), используемых в условиях высоких температур и повышенных термомеханических нагрузок, обусловило необходимость создания ряда новых материалов. Важное место среди них занимают углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ), которые нашли широкое применение в высоконагруженных теплозащитных конструкциях [1]. Наиболее высокими и стабильными эксплуатационными свойствами обладают УУКМ, полученные на основе стержневых армирующих каркасов (АК) насыщенных углеродом матрицы из газовой фазы, за счет прямолинейности и равномерности расположения армирующих волокон. Рациональное применение таких материалов позволяет существенно расширить ресурсы работоспособности конструкций, повысить их эффективность и экономичность [1].

Композиционные материалы имеют технологическую наследственность, то есть на эксплуатационные характеристики материала оказывает влияние каждая операция их изготовления и способ ее реализации. Несмотря на многообразие способов получения УУКМ должны быть выполнены следующие технологические процессы (ТП) [2]:

- подготовка жгутов к переработке;
- изготовление АК;
- насыщение АК углеродом матрицы.

ТП базируются на предшествующих им ТП и должны обеспечить благоприятные условия для выполнения последующих, с гарантированным полу-

чением заданных характеристик материала и минимальной степенью вариации.

Выбор вида армирующих волокон и их пространственного расположения определяется на этапе проектирования конструкции и является исходной информацией для проектирования технологических процессов изготовления УУКМ. Технологический процесс подготовки материалов к переработке базируется на свойствах и технологичности применяемого волокна и связующего. И должен обеспечивать необходимую технологичность полученного материала для изготовления АК, высокую производительность, экономию сырья и энергии. Процесс изготовления стержневых армирующих каркасов базируется на прочностных и геометрических характеристиках исходного полуфабриката и должен обеспечивать стабильность расположения армирующих волокон и хорошую газопроницаемость АК для насыщения углеродом матрицы. Взаимосвязь указанных процессов – многофакторная задача и рассмотрение их по отдельности не позволяет получить рационального конечного результата.

Основы взаимодействия ТП получения УУКМ в общем виде были определены в работе [3], представленная модель раскрыла механизмы взаимодействия для проведения систематизации параметров и недостаточно изученных механизмов их взаимодействия. Выявлено, что менее изученными и не автоматизированными являются ТП изготовления стержневых АК и подготовки жгутов для них.

Целью исследований являлось получение модели взаимодействия ТП изготовления стержневых АК для поиска рациональных параметров их реализации, автоматизации и управления.

1. Построение модели взаимодействия технологических процессов

Произведем математическое описание ТП изготовления стержневых АК для установления соотношений между его выходными показателями, элементами режима рабочего процесса, конструктивными и качественными характеристиками технологической системы, условиями протекания технологического процесса и параметрами исходного сырья. Взаимосвязь ТП представим в виде математической модели, с достаточной точностью отражающей реальные ТП, для нахождения механизмов управления процессами, повышения их эффективности и нахождения принципиально новых технологических решений.

Подробное описание ТП подготовки жгутов к переработке – производства стержней и сборки стержневых АК описаны в работах [4, 5], соответственно, поэтому в данной статье не приводятся.

Для математического описания технологических процессов выберем построение детерминированной модели, на основе теоретического и экспериментального исследования сущности ТП, их причинно-следственных связей. Для понимания сущности ТП, их глубинных закономерностей, позволяющих находить эффективные и принципиально новые пути повышения качества и производительности процессов, снижения себестоимости изготовления материала. Любой процесс невозможно полностью описать. Для установления закономерностей ТП охватим только ключевые параметры, позволяющие в определенной степени схематизировать происходящие явления.

Математическая модель технологического процесса представляет собой совокупность уравнений, определяющих значения выходных его показателей, и ограничений на те или иные аргументы уравнений в виде конкретных значений или неравенств. В общем виде модель взаимодействия ТП изготовления стержневых АК представлена в виде схемы на рис. 1.

На модели взаимодействия ТП обозначено входные и выходные показатели через $\Phi_{i,j}$, $K_{i,j}$, $T_{i,j}$ и $O_{i,j}$ (здесь $\Phi_{i,j}$ – факторы, действующие на осуществление ТП; $K_{i,j}$ – показатели качества изделия; $T_{i,j}$ – производительность ТП; $O_{i,j}$ – отходы производства) $P_{i,j}$ – функции взаимодействия этапов и режимов рабочего процесса. Через i обозначен номер ТП, а j – порядковый номер этого параметра. Установление качественных и количественных связей между перечисленными величинами является одной из важнейших научных проблем повышения качества ТП производства УУКМ и деталей из него. В общем

виде математическую модель взаимодействия ТП можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} K_{i,j} &= f_{K_i}(K_{i-1,j}; \Phi_{i,j}; P_{i,j}); \\ T_{i,j} &= f_{T_i}(K_{i-1,j}; \Phi_{i,j}; P_{i,j}); \\ O_{i,j} &= f_{O_i}(K_{i-1,j}; \Phi_{i,j}; P_{i,j}). \end{aligned} \quad (1)$$

Для решения практических задач необходимо эти зависимости выразить в явном или количественном виде.

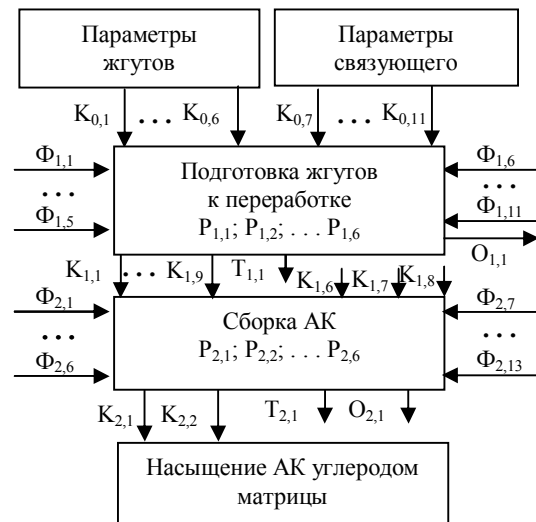


Рис. 1. Модель взаимодействия ТП изготовления стержневых армирующих каркасов

2. Показатели взаимодействия

Показателями качества исходного сырья для ТП 1 – подготовки жгутов к переработке являются паспортные характеристики волокна и связующего:

- $K_{0,1}$ – предел прочности волокна, σ_B , [МПа];
- $K_{0,2}$ – модуль упругости волокна, E_B , [МПа];
- $K_{0,3}$ – предельная деформация волокна, δ_B , [%];
- $K_{0,4}$ – плотность волокна, ρ_B , [г/см³];
- $K_{0,5}$ – линейная плотность жгута, T_X , [Текс];
- $K_{0,6}$ – количество филамент в жгуте, n_B ;
- $K_{0,7}$ – вязкость раствора связующего, η_c , [Па с];
- $K_{0,8}$ – температура плавления связующего, t_c , [°C];
- $K_{0,9}$ – содержание растворителя в растворе связующего, k_{c0} , [%];
- $K_{0,10}$ – предел прочности связующего, σ_c , [МПа];
- $K_{0,11}$ – модуль упругости связующего, E_c , [МПа].

Факторами воздействия в ТП подготовки жгутов к переработке (ТП 1) являются:

- $\Phi_{1,1}$ – предварительное натяжение жгутов, P_H , [Н];

$\Phi_{1,2}$ – количество сложений жгута, n ;
 $\Phi_{1,3}$ – время пропитки жгутов, τ_1 , [с];
 $\Phi_{1,4}$ – угол входного конуса фильеры отжима, α_1 ;
 $\Phi_{1,5}$ – диаметр фильеры отжима, d_1 , [мм];
 $\Phi_{1,6}$ – энергия разогрева полуфабриката, q , [Вт];
 $\Phi_{1,7}$ – время разогрева, τ_2 , [с];
 $\Phi_{1,8}$ – угол конуса фильеры формования, α_2 ;
 $\Phi_{1,9}$ – диаметр фильеры формования, d_2 , [мм];
 $\Phi_{1,10}$ – скорость протяжки, $V_{пр}$, [м/с];
 $\Phi_{1,11}$ – количество потоков производства, $n_{п}$.

Показателями качества получаемых стержней (ТП 1) являются входные показатели качества для ТП 2 – сборки АК:

$K_{1,1}$ – диаметр стержня, [мм]:

$$K_{1,1} = d = f(\Phi_{1,8}; \Phi_{1,9}; \Phi_{1,10}); \quad (2)$$

$K_{1,2}$ – устойчивость стержня при сжатии, [Н]:

$$K_{1,2} = P_{уст} = f(k_{0,2}; k_{0,5}; k_{0,10}; \Phi_{1,2}; k_{1,1}); \quad (3)$$

$K_{1,3}$ – расслоение торца стержня при сжатии, [Н]:

$$K_{1,3} = P_p = f(k_{0,2}; k_{0,5}; k_{0,10}; \Phi_{1,2}; k_{1,1}); \quad (4)$$

$K_{1,4}$ – наполнение стержня волокном, [%]:

$$K_{1,4} = \varphi_{ст} = f(k_{0,5}; \Phi_{1,2}; k_{1,1}); \quad (5)$$

$K_{1,5}$ – вес погонного метра стержня, [гр/м]:

$$K_{1,5} = m_{ст} = f(k_{0,5}; \Phi_{1,1} - \Phi_{1,5}; \Phi_{1,9}; \Phi_{1,10}). \quad (6)$$

Дополнительно входными параметрами для ТП сборки АК являются:

$K_{1,6}$ – вид АК, цилиндр – D, кольцо – D; D_1 , [мм];

$K_{1,7}$ – структура АК, 3D, 4D, 4D-л;

$K_{1,8}$ – шаг вертикальных стержней, h_x , [мм];

$K_{1,9}$ – шаг горизонтальных слоев, h_z , [мм].

Факторами воздействия на ТП сборки АК (ТП2) являются:

$\Phi_{2,1}$ – диаметр отверстий в плитах, $d_{п}$, [мм];

$\Phi_{2,2}$ – частота вибрации, ν_B , [Гц];

$\Phi_{2,3}$ – амплитуда вибрации, A_B , [мм];

$\Phi_{2,4}$ – коэффициент загрузки бункера, k_3 , [%];

$\Phi_{2,5}$ – высота от слоя до направляющей, H_B , [мм];

$\Phi_{2,6}$ – диаметр подающих роликов, D_p , [мм];

$\Phi_{2,7}$ – обжатие стержня роликами, δ_p , [мм];

$\Phi_{2,8}$ – длина направляющей, L , [мм];

$\Phi_{2,9}$ – угол реза стержня, β ;

$\Phi_{2,10}$ – точность позиционирования горизонталь-

ных стержней, Δy , [мм];

$\Phi_{2,11}$ – точность подачи стержня на заданную глубину, $\Delta \ell$, [мм];

$\Phi_{2,12}$ – скорость подачи стержня в АК, $V_{п}$, [м/с];

$\Phi_{2,13}$ – скорость позиционирования подающего устройства, $V_{пу}$, [м/с].

Выходными показателями качества АК (ТП 2) и входными показателями качества для насыщения АК углеродом матрицы (ТП 3) являются:

$K_{2,1}$ – наполнение АК волокном по направлениям армирования, [%]:

$$K_{2,1} = \varphi_i = f(k_{1,4}; k_{1,7}; k_{1,8}; k_{1,9}); \quad (7)$$

$K_{2,2}$ – проницаемость АК реагентом, диаметр капилляр, [мм]:

$$K_{2,2} = a = f(k_{1,4}; k_{1,7}; k_{1,8}; k_{1,9}). \quad (8)$$

3. Общий вид функций взаимодействия

При производстве стержней возникают функции взаимодействия этапов и режимов:

$P_{1,1}$ – давление в фильере пропитки, p_1 , [МПа]:

$$P_{1,1} = f(k_{0,5}; k_{0,6}; k_{0,7}; \Phi_{1,3}; \Phi_{1,4}; \Phi_{1,5}; \Phi_{1,10}); \quad (9)$$

$P_{1,2}$ – сопротивление движению полуфабриката сквозь фильеру отжима, [Н]:

$$P_{1,2} = P_O = f(P_{1,1}; \Phi_{1,4}; \Phi_{1,5}); \quad (10)$$

$P_{1,3}$ – энергия сушки и разогрева полуфабриката, [Дж]:

$$P_{1,3} = W = f(k_{0,5}; k_{0,6}; k_{0,8}; \Phi_{1,6}; \Phi_{1,7}); \quad (11)$$

$P_{1,4}$ – давление в фильере формования, p_2 , [МПа]:

$$P_{1,4} = f(k_{0,5}; k_{0,6}; k'_{0,7}; \Phi_{1,5}; \Phi_{1,8}; \Phi_{1,9}; \Phi_{1,10}); \quad (12)$$

$P_{1,5}$ – сопротивление движению полуфабриката сквозь фильеру формования, [Н]:

$$P_{1,5} = P_{\phi} = f(P_{1,5}; \Phi_{1,5}; \Phi_{1,8}; \Phi_{1,9}); \quad (13)$$

$P_{1,6}$ – сопротивление движению полуфабриката по технологическим этапам, [Н]:

$$P_{1,6} = P_{пр} = f(P_{1,1}; P_{1,3}; P_{1,5}). \quad (14)$$

Функции взаимодействия при сборке АК:

$P_{2,1}$ – коэффициент заполнения плит, [%]:

$$P_{2,1} = P_3 = f(k_{1,1}; \Phi_{2,1}; \Phi_{2,2}; \Phi_{2,3}); \quad (15)$$

$P_{2,2}$ – сила подачи стержня, [Н]:

$$P_{2,2} = N_{п} = f(k_{0,10}; k_{1,1}; \Phi_{2,6}; \Phi_{2,7}); \quad (16)$$

$P_{2,3}$ – осевая нагрузка на горизонтальный стержень в подающем узле, [Н]:

$$P_{2,3} = N = f(k_{1,1}; \Phi_{2,8}; P_{2,5}); \quad (17)$$

$P_{2,4}$ – увеличение диаметра торца стержня после обрезки, [мм]:

$$P_{2,4} = d_T = f(k_{0,10}; k_{1,1}; \Phi_{2,9}); \quad (18)$$

$P_{2,5}$ – сопротивление продвижению стержня в АК, [Н]:

$$P_{2,5} = N_{\Gamma} = f(k_{1,1}; k_{1,7}; k_{1,8}; \Phi_{2,5}; P_{2,4}); \quad (19)$$

$P_{2,6}$ – усилие опрессовки слоя стержней, [Н]:

$$P_{2,6} = P_{оп} = f(k_{1,1}; k_{1,7}; k_{1,8}; k_{1,9}); \quad (20)$$

Производительность ТП1:

$$T_{1,1} = f(k_{1,5}; \Phi_{1,10}; \Phi_{1,11}). \quad (21)$$

Производительность ТП2:

$$T_{2,1} = f(k_{1,5}; \Phi_{2,12}; \Phi_{2,13}). \quad (22)$$

4. Количественные параметры функций взаимодействия

Количественные закономерности и взаимовлияние перечисленных параметров и факторов на показатели качества объектов производства выявлены на основании комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Влияние факторов процесса и исходных показателей на выходные показатели качества производства стержней, зависимости (2) – (6), получены на основании однофакторных экспериментальных исследований, результаты которых приведены в работе [6]. Полученные результаты позволили определить рациональные параметры проведения операции и способы управления выходными параметрами стержней. Отклонение параметров этапов ТП пул-трузии стержней от рациональных, ведет к изменению усилия прохождению полуфабриката сквозь фильеры. Обосновано [7], на основании контроля усилия на фильерах управлять ТП изготовления стержней, при выходе за допустимые пределы выполняется его регулировка или остановка.

Выходные показатели качества стержневых АК, зависимости (7) – (8), получены на основании анализа повторяющихся элементов пространственных структур по зависимостям, приведенным в [8]. Проблема повышения газопроницаемости АК была решена применением углевода в качестве связующего при производстве стержней и его удалением после сборки АК [9]. Описанное технологическое решение позволило получить АК повышенной газопроницаемости, за счет свободного расположения волокон жгута, в пространстве, ограниченном волокнами других направлений.

Функции взаимодействия при производстве

стержней на этапе пропитки, зависимости (9) – (10), описываются законами движения жидкости в капиллярно-пористых телах, которые в общем виде получены в работе [10], закономерности позволяют с достаточной точностью прогнозировать изменение давления в фильтре отжима от параметров процесса. На этапе формования, зависимости (12) – (13), связующее является вязкопластичной жидкостью, механизм ее перераспределения в межфиламентном пространстве описан в работе [6]. Энергия, необходимая на сушку и разогрев полуфабриката, зависимость (11), определена в работе [11], на основании экспериментальных данных измерения сопротивление углеродных жгутов, с учетом связующего и контактного сопротивления. Необходимый ток разогрева жгутов не превышает безопасного для указанного вида работ. Сопротивление движению полуфабриката (14) складывается из предварительного натяжения жгутов и сопротивлений прохождению полуфабриката сквозь фильеры. Узел протяжки преодолевает указанное усилие. Снизить повреждаемость и эллипсность сечения получаемых стержней удалось за счет применения приводной бобины большого диаметра, на которую наматывается готовый стержень [4].

Сборку АК рекомендовано выполнять в две операции – установка вертикальных стержней в направляющие плиты и укладка слоев горизонтальных стержней (УСГС) [5].

Основной функцией взаимодействия (15) при установке вертикальных стержней в направляющие плиты является коэффициент их заполнения стержнями в автоматическом режиме. Изучению этой функции посвящена работа [12], в которой на основании теоретических и экспериментальных исследований определены рациональные параметры процесса во взаимосвязи с параметрами стержней.

Силовое взаимодействие стержней (16), (17), (19), (20) при УСГС зависит от параметров стержней и требований по плотности АК. Процесс взаимодействия стержней описан в работе [13], в которой получены закономерности влияния параметров АК и диаметра стержней на нагружение вертикальных и подаваемого горизонтального стержней. Для повышения коэффициента запаса прочности стержней при УСГС рекомендовано снижать максимальный диаметр стержней за счет устранения их эллипсности.

При контроле прочностных характеристик стержней рекомендовано определять их эффективные характеристики – модуль Юнга и предел прочности при сжатии. На усилия взаимодействия стержней оказывает влияние диаметр торца стержня, который увеличивается при обрезке стержня, изучению этой (18) функции взаимодействия по-

священа работа [14], в которой исследовано влияние параметров режущего инструмента на качество реза и стойкость режущего инструмента.

Количество отходов производства зависит от устойчивости управления технологическими процессами, что приводит к выходу показателей качества за допустимые пределы и выбраковке материала. Показатели материалоемкости, энергоемкости и производительности применены для определения эффективности ТП.

5. Апробация ТП, созданных на основании учета параметров взаимодействия

Комплексное изучение этапов ТП изготовления стержней и сборки АК позволило определить рациональные параметры варьирования технологических параметров и контроля их устойчивости. Новизна принятых решений подтверждена патентами Украины [15, 16].

Для реализации ТП спроектирована пултрузионная установка, основное внимание уделено повышению устойчивости ТП и снижению энергоемкости производства.

Достигнуто повышение выхода годной продукции с 81 % (ТП аналог) до 98 %, снижено в 6 раз энергопотребление установки за счет непосредственного разогрева жгутов пропусканием электрического тока и автоматизированного контроля процесса, устранено влияние инерционности разогрева полуфабриката на качество стержней.

Для установки вертикальных стержней вибропросеиванием в направляющие плиты, экспериментально апробирован вибростенд, полученные параметры вибрации позволяют получать практически 100% заполнение отверстий направляющих плит стержнями, продолжительность воздействия вибрации 40 с. не вызывает повреждений торца стержня.

УСГС является монотонным трудом с вредным воздействием углеродной пыли. Автоматизация процесса позволила сократить время сборки АК в 6 раз, снизить отход стержней и улучшить условия труда сборщиков.

Выводы

Построена математическая модель взаимодействия технологических процессов изготовления стержневых АК для насыщения углеродом матрицы из газовой фазы. Выявлены основные исходные параметры процессов, факторы, влияющие на ход ТП и выходные параметры, позволяющие рассматривать ТП во взаимосвязи и выявить закономерности их взаимовлияния.

На основании комплексных исследований процессов получены закономерности взаимодействия ТП и процессов, происходящих на каждом технологическом этапе, позволившие определить рациональные диапазоны варьирования параметров процессов.

Разработаны новые технологические процессы и оборудование, позволившие сократить материалоемкость, энергоемкость и длительность технологических процессов.

Литература

1. *Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций* / Ю.В. Соколкин, А.М. Вотинов, А.А. Ташинов и др.; под общ. ред. А.М. Вотинова. – М.: Наука, 1996. – 240 с.
2. *Композиционные материалы: справ.* / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева. Ю.М. Тарнапольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. *Чесноков А.В. Моделирование взаимосвязи технологических процессов изготовления углерод-углеродных композитов* / А.В. Чесноков, А.В. Гайдичук // *Композиционные материалы в промышленности: матер. Двадцать девятой международной конференции, 1 – 5 июня 2009 г., Ялта – К.: УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2009. – С. 223-224.*
4. *Чесноков А.В. Изготовление стержневых армирующих каркасов для углерод-углеродных композиционных материалов на основе «бесконечного» стержня* / А.В. Чесноков // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2008. – Вып. 1 (52). – С. 104-107.*
5. *Чесноков А.В. Повышение производительности сборки армирующих каркасов для углерод-углеродного композиционного материала* / А.В. Чесноков, В.В. Чесноков // *Вісн. Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – № 7(113), Ч. 1. – Луганськ, 2007. – С. 169-173.*
6. *Чесноков А.В. Формование давлением стержней в пултрузионной установке* / А.В. Чесноков // *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – № 11 (141). – Луганськ, 2009. – С. 35-39.*
7. *Чесноков А.В. Автоматизация пултрузии углепластиковых стержней* / А.В. Чесноков // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. 16-17 апреля 2009 года. – Могилев: Бел. – Рос. ун-т, 2009, Ч.1. – С. 108.*
8. *Чесноков А.В. Влияние технологических параметров изготовления структур на их коэффициенты армирования* / А.В. Чесноков // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2009. – Вып. 2 (58). – С. 66-71.*

9. Чесноков А.В. Перспективы улучшения качества углерод-углеродных композиционных материалов / А.В. Чесноков, А.В. Гайдачук, А.М. Потапов, И.В. Гурин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 6 (53). – С. 21-24.

10. Чесноков А.В. Проницаемость реагентом пространственных армирующих структур при насыщении углеродом матрицы / А.В. Чесноков // *Технологические системы*. – 2009. – №4 (48). – С. 49-53.

11. Чесноков А.В. Разработка и анализ технологии изготовления углепластиковых стержней на углеводосодержащем связующем / А.В. Чесноков // *Вестник двигателестроения*. – 2010. – №1. – С. 32-35.

12. Чесноков А.В. Повышение производительности установки вертикальных стержней армирующих каркасов УУКМ / А.В. Чесноков // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Х., 2009. – Вып. 4 (60). – С. 35-44.

13. Чесноков А.В. Моделирование процесса взаимодействия стержней при сборке армирующих каркасов / А.В. Чесноков // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – №. 2 (55). – С. 27-31.

14. Чесноков А.В. Исследование процесса резания углепластиковых стержней на этапах изготовления армирующих каркасов / А.В. Чесноков // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Х., 2009. – Вып. 1 (57). – С. 65-69.

15. Спосіб виготовлення вуглепластикових стержнів: Патент на корисну модель. 41482. Україна. МПК В29С 55/00 / Чесноков О.В. (UA) – № и 2008 14400; Заявл. 15.12.08; Опубл. 25.05.09, Бюл. №10. – 4 с.

16. Спосіб виготовлення просторових армуючих структур: Патент на корисну модель. 41256. Україна. МПК С04В 35/83 / Чесноков О.В., Потапов О.М. (UA) – № и 2008 15079; Заявл. 26.12.08; Опубл. 12.05.09, Бюл. №9. – 4 с.

Поступила в редакцию 13.01.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. проектирования ракетно-космических аппаратов В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СТЕРЖНЬОВИХ АРМУЮЧИХ КАРКАСІВ

О.В. Чесноков

Технологічні процеси (ТП) підготовки джгутів до переробки і складання армуючих каркасів представлені у вигляді моделі їх взаємодії від вхідних характеристик сировини до параметрів армуючих каркасів для газофазного насичення вуглецем матриці. Визначені фактори та показники якості для кожного ТП. Записані функції взаємодії етапів і режимів ТП у загальному вигляді. На підставі комплексних досліджень етапів ТП визначено функції взаємодії і показники якості у вигляді теоретичних виразів і експериментальних залежностей. На підставі моделі визначені раціональні параметри процесів, розроблені нові ТП і автоматизоване обладнання.

Ключові слова: взаємодія технологічних процесів, пултрузія стержнів, стержньовий армуючий каркас, показники якості.

MODEL INTERACTION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF MAKING OF THE RODS PREFORM

A.V. Chesnokov

The technological processes (TP) of preparation of plait to processing and assembling of preform are presented as a model of their co-operation from descriptions of raw material to the parameters of preform for a CVI. Factors are certain operating on realization of TP, indexes of quality for every process. The functions of co-operation of the stages and modes of TP are written in a general view. On the basis of complex researches of the stages of TP of function of co-operation and indexes of quality got in a theoretical expressions and experimental dependences. On the basis of model the rational parameters of processes are certain, new TP and automated equipment is developed.

Key words: technological process interaction, pultrusion rods, rods preform, indexes of quality.

Чесноков Алексей Викторович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина, e-mail: chesnokov@snu.edu.ua.