

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. И. Пономарев, С. П. Ереско, Т. Т. Ереско

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: Serg_ponom@mail.ru; eresko07@mail.ru; erescott@mail.ru

Предлагается описание совершенствования технологии изготовления деталей и узлов аэрокосмического производства с использованием компьютерного проектирования и управления технологическими процессами. Теоретические основы и алгоритмы построения технологического процесса изготовления деталей и узлов аэрокосмической отрасли с применением различных способов соединения жаропрочных материалов, например диффузионной сваркой, проектируются на основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований, предлагаемых авторами запатентованного способа соединения жаропрочного сплава на кобальтовой основе с керамикой на основе нитрида кремния и технологической оснастки «Установка для получения металлокерамических изделий», а также получивших регистрацию в реестре баз данных Российской Федерации атрибутивной базы данных для создания технологических процессов получения деталей аэрокосмического производства диффузионной сваркой и атрибутивной базы данных технологического оборудования, инструмента и приспособлений для механической обработки деталей аэрокосмического производства. Во время выполнения работ были решены следующие задачи: разработан алгоритм адаптивного управления технологическим процессом изготовления деталей и узлов аэрокосмической отрасли с применением диффузионной сварки в реальном масштабе времени, создана база данных материалов, применяемых для изготовления деталей и узлов аэрокосмического производства, база данных оборудования, оснастки и режимов механической обработки деталей различных типоразмеров и конфигурации и база данных оборудования, оснастки и режимов получения неразъёмных соединений из разнородных материалов диффузионной сваркой. На основании проведённых исследований и созданных баз данных приведены рекомендации для изготовления неразъёмных металлокерамических узлов, используемых в аэрокосмическом производстве. В качестве примера разработанной методики приводится проектирование технологии изготовления металлокерамического узла – ротора турбины турбонасосного агрегата. Предлагаемый способ компьютерного проектирования и управления технологическими процессами изготовления деталей и узлов значительно упрощает организационные работы и сокращает время подготовки производства при изготовлении высококачественных деталей и узлов аэрокосмического производства.

Ключевые слова: компьютерное проектирование и управление технологическими процессами, алгоритм построения технологического процесса, базы данных материалов деталей и узлов аэрокосмического производства, оборудования и технологических режимов механической обработки данных материалов, оборудования и режимов получения неразъёмных соединений из данных материалов диффузионной сваркой.

Vestnik SibGAU
2014, No. 3(55), P. 114–119

IMPROVED TECHNOLOGY MANUFACTURING UNITS AEROSPACE INDUSTRY

S. I. Ponomarev, S. P. Eresko, T. T. Eresko

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: Serg_ponom@mail.ru; eresko07@mail.ru; erescott@mail.ru

This paper presents a description of the improvement of the technology of manufacturing parts and assemblies of aerospace production using computer-aided design and process control. Theoretical framework and algorithms for constructing process of manufacturing parts and assemblies to the aerospace industry using different connection methods of heat-resistant materials, such as diffusion bonding, designed on the basis of conducted theoretical and experimental studies, the authors proposed a patented process connection “Connection method superalloy cobalt-based ceramic based on silicon nitride” and tooling “Installation for metal products”, as well as obtaining registration in the

database of the Russian Federation “Attributive database to create processes for production of aerospace components manufacturing diffusion bonding” and “Attributive database processing equipment, tools and equipment for machining aerospace parts production”. During the execution of the works were solved the following problems: the algorithm of the adaptive management process of manufacturing parts and assemblies to the aerospace industry using diffusion welding in real time created: the database of materials used for the manufacture of parts and assemblies of aerospace manufacturing, the database of equipment, accessories and modes of machining parts different sizes and configurations, and the database of equipment, accessories and modes of obtaining permanent link of dissimilar materials by diffusion bonding. Based on the results, and created databases, provides guidance for the manufacture of one-piece ceramic-metal assemblies used in the aerospace industry. As an example, the developed method provides design technology of metal-ceramic assembly - the turbine rotor of the turbopump assembly. The proposed method for computer-aided design and manufacturing process control components and assemblies greatly simplifies the organization of work and reduces the pre-production in the manufacture of high quality components and assemblies of aerospace manufacturing.

Keywords: computer-aided design and process control, an algorithm for constructing process, material database of parts and assemblies of aerospace manufacturing, equipment and technological modes of mechanical processing of materials, equipment and modes of obtaining permanent link of these materials by diffusion bonding.

В Сибирском государственном аэрокосмическом университете проводятся работы по автоматизации производственных процессов, включающие в том числе создание унифицированных баз данных для совершенствования технологии изготовления узлов аэрокосмического производства.

Теоретические основы и алгоритмы построения технологического процесса изготовления деталей и узлов аэрокосмической отрасли с применением различных способов соединения жаропрочных материалов, например диффузионной сваркой, проектируются на основании предлагаемого авторами запатентованного способа соединения «Способ соединения жаропрочного сплава на кобальтовой основе с керамикой на основе нитрида кремния» [1] и технологической оснастки «Установка для получения металлокерамических изделий» [2].

В патентах реализован способ получения соединения на примере определённого узла – ротора турбины турбонасосного агрегата, состоящего из определённых материалов – жаропрочного сплава на кобальтовой основе и керамики на основе нитрида кремния, содержащий определённые режимы получения металлокерамического узла диффузионной сваркой.

Выбор режимов и материалов в условиях производства затруднен, ввиду наличия обилия различных материалов и значительного разнообразия способов их соединения.

Задачей исследования является создание алгоритмов выбора режимов и материалов из созданной заранее базы данных как основы создания автоматизированной системы построения оптимальных технологических процессов соединения жаропрочных материалов, включающей как подбор совместимых материалов, так и выбор последовательности операций и режимов их осуществления.

Рассмотрим процесс адаптивного управления технологическим процессом в реальном масштабе времени.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма адаптивного управления автоматизированным оборудова-

нием, составленным на основании условий генерации управляющей программы непосредственно в процессе обработки по результатам текущих данных в момент осуществления технологического процесса сварки.

В процессе функционирования создаётся база данных, содержащая характеристики оборудования, регулирующие параметры процесса диффузионной сварки. В блоке 1 вводится база данных области возможных вариаций исходных данных, определяющих структуру технологического процесса.

В процессе обработки отслеживаются построчным выделением текущие параметры процесса T , P , ρ_v , τ (блок 2). Их обработка выявляет четыре параметра, определяющих процесс диффузионной сварки (блок 3): ρ_v – вакуум; T – температура сварки; P – давление при сварке; τ – время выдержки.

Дальнейшее преобразование безразмерных критериев выявляет массив данных (блок 4), который является основой для постоянного сравнения текущего значения критерия с учетом определенных для заданного процесса и свариваемых материалов значений по зависимостям разработанной технологии.

При соответствии производится выбор основных параметров из базы данных области возможных вариантов (вакуума, температуры сварки, давления при сварке, времени выдержки), удовлетворяющих условиям ввода (блок 7), при несоответствии производится проверка условий соответствия массива данным ввода (блок 5).

При несоблюдении условий производится операторская корректировка массива данных ввода (блок 6).

После выбора основных параметров производится проверка условий последней строки массива (блок 8).

При несоответствии производится сравнение значений основных параметров с данными из области возможных вариаций (блок 9), при соответствии проводится проверка условий соответствия массива данным ввода (блок 10). При несоблюдении этого условия производится оперативная корректировка массива данных ввода (блок 6).

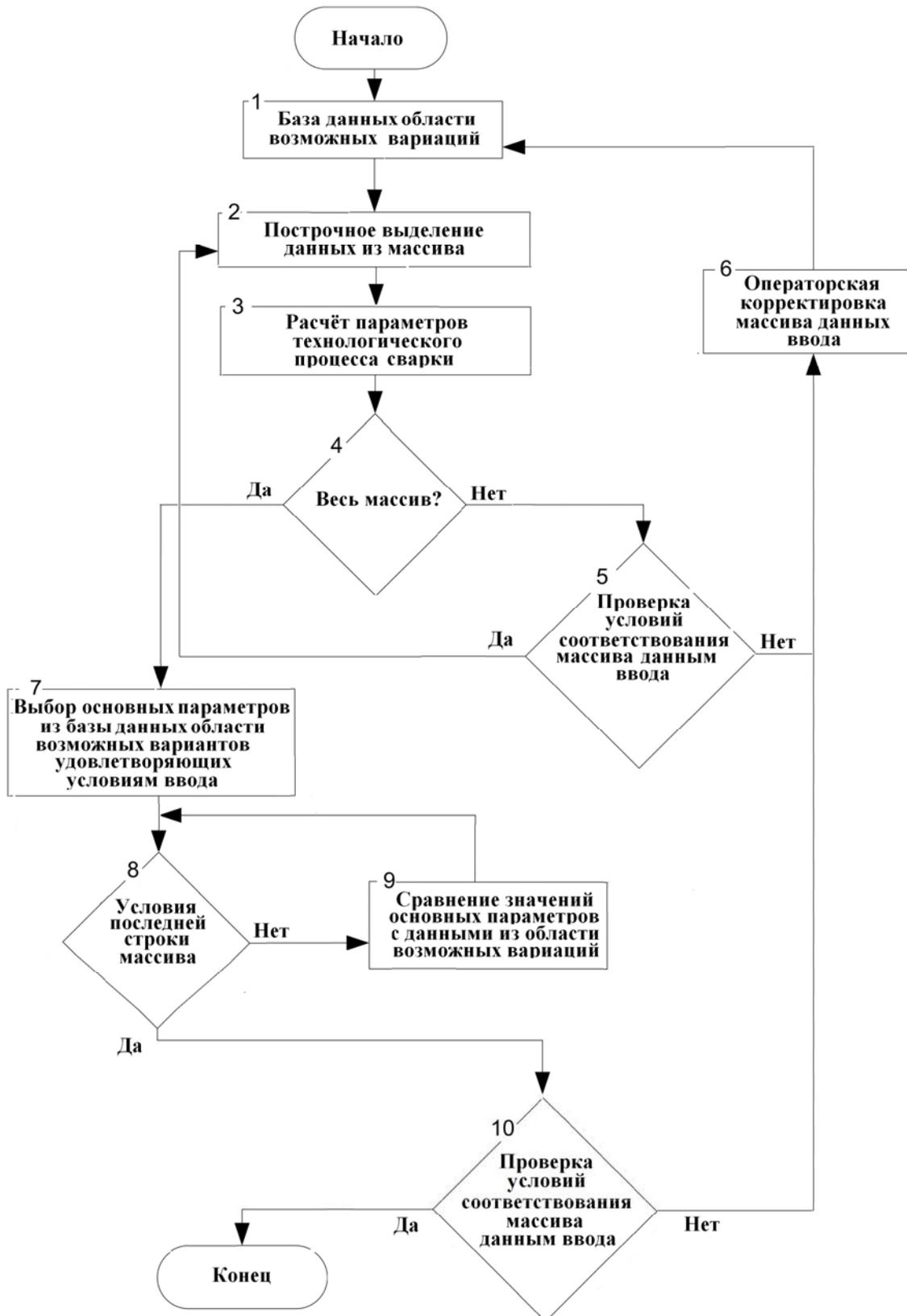


Рис. 1. Алгоритм адаптивного управления технологическим процессом диффузионной сварки

Таким образом, предусмотрено трехступенчатое управление технологическим оборудованием (блоки 5, 6, 10).

Оптимальные значения параметров технологического режима диффузионной сварки достигаются измерением ρ_B , T , P , τ последовательно, к изменению следующего параметра переходят лишь при полном исчерпании возможности рационализации процесса предыдущим параметром, выбор параметров адаптивного управления технологическим процессом диффузионной сварки моделируется как численная (аналитическая) модель оперативной задачи [1; 2].

Примером компьютерного проектирования и управления технологическими процессами изготовления деталей является создание технологии изготовления ротора турбины турбонасосного агрегата (рис. 2) [2–5].

Используя созданную базу данных материалов (рис. 3), применяемых в производстве узлов аэрокосмического производства [6], и учитывая тенденции применения новых конструкционных материалов, определяем материал диска ротора – керамика, вала – жаропрочный сплав на никелевой основе.

Керамический диск ротора спекаем на специализированном оборудовании.

Вал изготавливаем механической обработкой (рис. 4), используя базу данных металлорежущего оборудования [7]. По данной базе, в зависимости от размеров вала, выбираем металлорежущее оборудование, приспособление, режущий и измерительный инструмент,

с помощью которых изготавливаем вал из жаропрочного сплава на никелевой основе.

После изготовления диска и вала проводим исследование базы данных получения неразъемных соединений из заданных материалов диффузионной сваркой (рис. 5), с помощью которой выбираем сварочное оборудование и технологические режимы (текущие параметры ρ_B , T , P , τ) для получения неразъемного металллокерамического соединения – ротора турбины турбонасосного агрегата, приведенного на рис. 2.

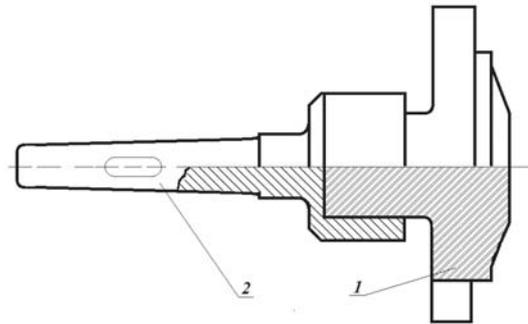


Рис. 2. Турбина турбонасосного агрегата:
1 – диск ротора, 2 – вал

К	Материал	Деталь АКП	Категория	
1	Al	низкотемпературный (до 500 С) реактор	Алюминий	ЮЖМАШ – режим д
2	Al	оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ)	Алюминий	ЮЖМАШ – режим д
3	Al	электромагнитный двигатель (ЭМД)	Алюминий	ЮЖМАШ – режим д
4	Al2O3	электромагнитный двигатель (ЭМД)	Алюминия оксид	ЮЖМАШ – режим д
5	Al2O3	электростатический двигатель (ЭСД)	Алюминия оксид	ЮЖМАШ – режим д
6	полисульфон	высокотемпературные солнечные энергетические установки (В	Аморфный полимер	ЮЖМАШ – режим д
7	Be	оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ)	Бериллий	ЮЖМАШ – режим д
8	Be	отражатель	Бериллий	ЮЖМАШ – режим д
9	BeO	отражатель	Бериллия оксид	ЮЖМАШ – режим д
10	BN	аккумуляторы	Бора нитрид АБН	ЮЖМАШ – режим д
11	BN	линейный Холловский двигатель	Бора нитрид АБН	ЮЖМАШ – режим д
12	BN	стационарный плазменный двигатель (СПД)	Бора нитрид АБН	ЮЖМАШ – режим д
13	BN	электронагревный двигатель (ЭНД)	Бора нитрид АБН	ЮЖМАШ – режим д
14	BN	электростатический двигатель (ЭСД)	Бора нитрид АБН	ЮЖМАШ – режим д
15	BN	электростатический двигатель (ЭСД)	Бора нитрид БПП	ЮЖМАШ – режим д
16	BN	аккумуляторы	Бора нитрид СБН	ЮЖМАШ – режим д
17	BN	линейный Холловский двигатель	Бора нитрид СБН	ЮЖМАШ – режим д
18	BN	плазменно-ионный двигатель (ПИД)	Бора нитрид СБН	ЮЖМАШ – режим д
19	BN	стационарный плазменный двигатель (СПД)	Бора нитрид СБН	ЮЖМАШ – режим д
20	BN	электродуговой двигатель (ЭДД)	Бора нитрид СБН	ЮЖМАШ – режим д
21	V	оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ)	Ванадий	ЮЖМАШ – режим д
22	W	высокотемпературные солнечные энергетические установки (В	Вольфрам	ЮЖМАШ – режим д
23	W	оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ)	Вольфрам	ЮЖМАШ – режим д
24	W	электродуговой двигатель (ЭДД)	Вольфрам	ЮЖМАШ – режим д
25	W	электромагнитный двигатель (ЭМД)	Вольфрам	ЮЖМАШ – режим д
26	W	электронагревный двигатель (ЭНД)	Вольфрам	ЮЖМАШ – режим д
27	ВЖ172	корпуса деталей ГТД	Высокопрочный свариваемый сплав	ЮЖМАШ – режим д
28	GaAs	фотоэлектрические преобразователи (солнечный элемент) (ФЭ)	Галлия арсенид	ЮЖМАШ – режим д

Рис. 3. База данных материалов, применяемых для изготовления деталей и узлов аэрокосмического производства

Оборудование																		
Технологич	Название станка	Модель	Наибольшая длина обр	Наибольший диаметр	Макси													
Точить	Станок токарный патронно-це	16A20	900	320														
Опе	Названи	тип	вид обработки	ГОСТ	Обоз													
010	Резец	токарный проходной упорный оснащенный	для обтачивания нежестких в	18879 - 73	2101-0													
015	Резец	токарный проходной упорный оснащенный	для обтачивания нежестких в	18879 - 73	2101-0													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Название</th> <th>ГОСТ</th> <th>Вид</th> <th>Щелкните</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Штангенциркуль ШЦ-I</td> <td>166-89</td> <td>: Word 97-2003</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Название	ГОСТ	Вид	Щелкните	Штангенциркуль ШЦ-I	166-89	: Word 97-2003		*			
Название	ГОСТ	Вид	Щелкните															
Штангенциркуль ШЦ-I	166-89	: Word 97-2003																
*																		
025	Резец	токарный проходной отогнутый с пластинка	для обтачивания, подрезания	18877 - 73	2102-0													
030	Резец	токарный проходной отогнутый с пластинка	для обтачивания, подрезания	18877 - 73	2102-0													
040	Резец	токарный проходной упорный оснащенный	для обтачивания нежестких в	18879-73	2101-0													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Название</th> <th>ГОСТ</th> <th>Вид</th> <th>Щелкните</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Штангенциркуль ШЦ-I</td> <td>166-89</td> <td>: Word 97-2003</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Название	ГОСТ	Вид	Щелкните	Штангенциркуль ШЦ-I	166-89	: Word 97-2003		*			
Название	ГОСТ	Вид	Щелкните															
Штангенциркуль ШЦ-I	166-89	: Word 97-2003																
*																		
045	Резец	токарный проходной упорный оснащенный	для обтачивания нежестких в	18879-73	2101-0													
060	Резец	токарный проходной упорный оснащенный	Для обтачивания нежестких в	18879-73	2101-0													
*																		

Рис. 4. База данных металлорежущего оборудования, режущего и измерительного инструмента, применяемого для изготовления деталей аэрокосмического производства

Режимы сварки									
№	Категория	Материал	Материал2	Прок	Тол	Темпе	Врел	Свар	Ваку
91	Иттрий-годолиниевый феррит	40Cr-4	40Cr-4	Cu		950	20	20	0
92	Карбид бора	B4C	B4C			2150	45	8	0
93	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK	Y45	ПЖ2		1150	5	10	0
94	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK	Y8	ПЖ2		1150	5	10	0
95	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK15	BK15			1200	20	15,7	0
96	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK20	18X2H4BA	Ni		950	10	9,8	0
97	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK20	18X2H4BA	пермил		1050	10	9,8	0
98	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK20	5XFCB	50H	200	1130	12	5	0
99	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK20	BK20			1200	20	12,7	0
###	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK20	Ст45	Cu		1050	10	9,8	0
###	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK20M	5XHM	5XHM		1150	20	9	0
###	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK6	BK6	Ni		1150	20	17,6	0
###	Карбид вольфрама и кобальта твердый сплав	BK8	BK8	Ni		1150	20	15,7	0
###	Керамика алюмооксидная	ГМ	Ti			1200	5	13,7	0
###	Керамика вакуумплотная	BK100-2	Pa			1300	20	18	0
###	Керамика вакуумплотная	BK100-2	BK100-2	Al		640	40	15	0
###	Керамика вакуумплотная	BK100-2	Нихром			1300	20	18	0
###	Керамика вакуумплотная	BK100-2	Ст3			1300	20	18	0
###	Керамика вакуумплотная	BK102	X18H10T			1200	20	18	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	BK94-1	Cu		1030	120	20	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	BK94-1	M-1		950	40	10	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	BK94-1	АД1		620	30	10	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	BK94-1	AMr6		590	20	10	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	BK94-1	29HK		1050	20	10	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	Ковар			1200	20	18	0
###	Керамика вакуумплотная	BK94-1	X18H10T			1200	20	18	0
###	Керамика вакуумплотная	22ХС	Cu			1000	15	19,6	0
###	Керамика вакуумплотная	22ХС	Ti			1000	10	11,7	0
###	Керамика карбид кремния	SiC	Mo	Ni		800	10	39,2	0
Тип установки		Способ нагрева	Усилие сжатия, кН	Размеры рабочей	Щелкните				
МДС ОАО "ДЗНВА", г. Дивно		индукционный	13	100x10x10					
*									

Рис. 5. База данных режимов технологических процессов и оборудования изготовления неразъемных соединений диффузионной сваркой

Предлагаемый способ компьютерного проектирования и управления технологическими процессами изготовления деталей значительно упрощает организационные работы и сокращает время подготовки производства при изготовлении деталей и узлов аэрокосмического производства.

Библиографические ссылки

1. Пат. № 2433026 Российская Федерация, МПК В23В20/00. Способ соединения жаропрочного сплава на кобальтовой основе с керамикой на основе нитрида кремния / Пономарев С. И., Прокопьев С. В., Ереско С. П.,

Ереско Т. Т.; заявитель и патентообладатель Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Зарегистрирован 10.11.2011.

2. Пат. № 93722 Российская Федерация, МПК В23К20/26. Установка для получения металлокерамических изделий / Пономарев С. И., Ереско С. П., Ереско Т. Т.; заявитель и патентообладатель Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Зарегистрирован 10.05.2010.

3. Пономарев С. И., Ереско С. П. Получение газовых турбин диффузионной сваркой // XXXVII Академические чтения по космонавтике : материалы Российской академии наук. Секция 19 «Производство ракетно-космической техники». М. : РАН, 2013. С. 29–30.

4. Пономарев С. И., Ереско С. П., Ереско Т. Т. Методология экспериментальных исследований получения неразъемных металлокерамических узлов диффузионной сваркой // Механики XXI века : материалы XII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием : сб. докладов. Братск : ГОУ ВПО «БрГУ», 2013. С. 153–154.

5. Пономарев С. И., Ереско С. П. Построение модели технологического процесса диффузионной сварки // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф. СибГАУ. Красноярск, 2011. Ч. 1 С. 247.

6. Атрибутивная база данных для создания технологических процессов получения деталей аэрокосмического производства диффузионной сваркой : свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621572 Российской Федерации / С. И. Пономарёв, С. П. Ереско, Т. Т. Ереско; заявитель и правообладатель Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. № 2013621404 ; заявл. 31.10.13 ; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 19.12.13.

7. Атрибутивная база данных технологического оборудования, инструмента и приспособлений для механической обработки деталей аэрокосмического производства : свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620691 Российской Федерации / С. И. Пономарёв, Л. В. Ручкин, Н. Л. Ручкина; правообладатель Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т (RU). № 2014620376. Дата поступления 31.03.14 ; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 15.05.14.

na kobal'tovoj osnove s keramikoj na osnove nitrída kremnija [Connection method superalloy cobalt based ceramics based on silicon nitride]. Patent RF, no. 2433026, 2011.

2. Ponomarev S. I., Eresko S. P., Eresko T. T. *Ustanovka dlja poluchenija metallokeramicheskikh izdelij* [Apparatus for manufacturing metal products]. Patent RF, no. 93722, 2010.

3. Ponomarev S. I., Eresko S. P. [Preparation of gas turbines by diffusion welding]. *Poluchenie gazovykh turbin diffuzionnoj svarkoj* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences “XXXVII Academic Readings on space”. Section 19 Production of rocket and space technology]. Moscow, 2013, p. 29–30. (In Russ).

4. Ponomarev S. I., Eresko S. P., Eresko T. T. [Experimental research methodology of obtaining permanent sintered nodes diffusion bonding technique]. *Metodologija jeksperimental'nyh issledovanij poluchenija nerazemnykh metallokeramicheskikh uzlov diffuzionnoj svarkoj*. [Proceedings of the XII All-Russian scientific conference with international participation “Mechanics XXI Century”]. Bratsk, 2013, p. 153–154. (In Russ).

5. Ponomarev S. I., Eresko S. P. [Model building process of diffusion welding]. *Postroenie modeli tehnologicheskogo processa diffuzionnoj svarki*. [“Reshetnev reading materials” XV International Scientific Conference]. Krasnoyarsk. 2011. pp. 247. (In Russ).

6. Ponomarev S. I., Eresko S. P., Eresko T. T. *Atributivnaja baza dannyh dlja sozdaniya tehnologicheskikh processov poluchenija detalej ajerokosmicheskogo proizvodstva diffuzionnoj svarkoj* [Attributive database to create the technological processes of production of aerospace components by diffusion welding], Certificate RF, no. 2013621572, 2013.

7. Ponomarev S. I., Ruchkin L. V., Ruchkina N. L. *Atributivnaja baza dannyh tehnologicheskogo oborudovaniya, instrumenta i prisposoblenij dlja mehanicheskoy obrabotki detalej ajerokosmicheskogo proizvodstva*. [Attributive database processing equipment, tools and equipment for machining aerospace parts production]. Certificate RF, no. 2014620691, 2014.

References

1. Ponomarev S. I., Prokop'ev S. V., Eresko S. P., Eresko T. T. *Sposob soedinenija zharoprochnogo splava*

© Пономарёв С. И., Ереско С. П., Ереско Т. Т., 2014