

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
ПЛОСКИХ ЛИСТОВ ПОРИСТОГО  
СЕТЧАТОГО МАТЕРИАЛА (ПСМ)  
МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОЙ  
СВАРКИ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ  
ЛИНИЯ И ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ БАЗА  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ  
ИЗ ПСМ ШИРОКОГО  
СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ  
ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

**PRODUCTION OF  
POROUS-NET  
FLAT SHEETS BY  
DIFFUSED WELDING,  
MANUFACTURING  
LINE AND TEST  
FACILITIES FOR  
POROUS-NET PRODUCTS  
OF VAST SCOPE SPACE  
APPLICATIONS**



**Л.Г. Александров<sup>1</sup>,**  
кандидат  
технических наук,  
[aia@laspace.ru](mailto:aia@laspace.ru);  
**L.G. Aleksandrov**



**С.Б. Константинов<sup>1</sup>,**  
кандидат  
технических наук, доцент,  
[KonstantinovSB@laspace.ru](mailto:KonstantinovSB@laspace.ru);  
**S.B. Konstantinov**

*Пористые сетчатые материалы являются наиболее перспективными для изготовления пористых изделий, применяемых, в фазоразделительных устройствах и фильтрах двигательных установок (ДУ) космических аппаратов (КА). Рассмотрены актуальные вопросы разработки более эффективной технологии для изготовления ПСМ с использованием диффузионной сварки, организации производственной линии и испытательной базы для изготовления ПСМ и пористых изделий из ПСМ широкого спектра применения.*

*Ключевые слова:*  
*пористый сетчатый материал; изделия;*  
*эффективность;*  
*производство;*  
*испытания; оборудование.*

DOI: 10.26162/LS.2024.28.74.021

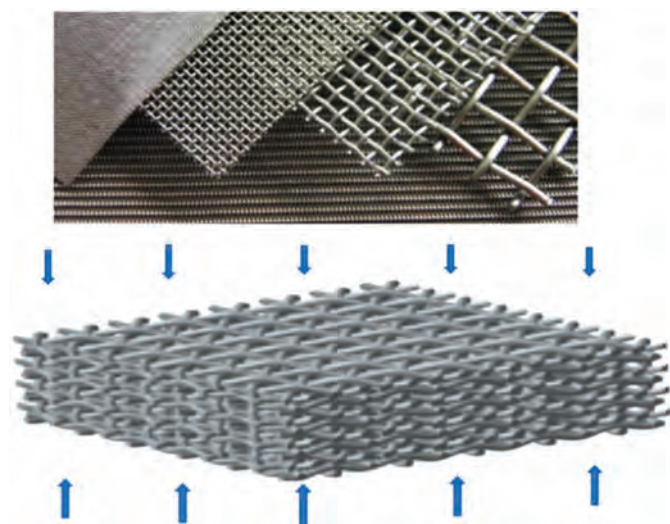
*Porous-net materials are advanced for the manufacture of porous components applied in the spacecraft (SC) phase-separation devices and filters of propulsion systems (PS). The article considers live issues of development of improved diffusion welding procedure for a porous-net materials manufacture, establishment of production line and a test facility for a vast scope of applications porous-net products.*

*Keywords:*  
*porous-net material; products;*  
*efficiency;*  
*production;*  
*testing; equipment.*

<sup>1</sup> АО «НПО Лавочкина», Россия, Московская область, г. Химки.

Lavochkin Association, JSC, Russia, Moscow region, Khimki.

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛОСКИХ ЛИСТОВ ПОРИСТОГО СЕТЧАТОГО МАТЕРИАЛА (ПСМ) МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНИЯ И ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ БАЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПСМ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

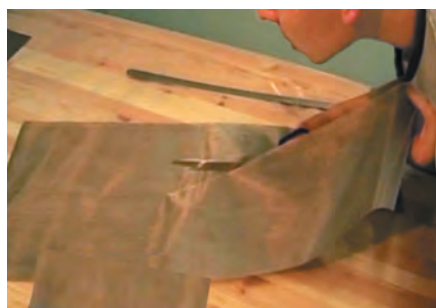


**рисунок 1.** Состав и принцип формирования ПСМ

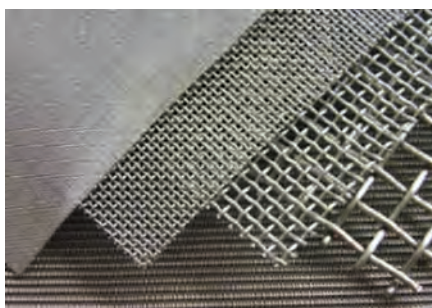
## введение

Пористый сетчатый материал (ПСМ) в настоящее время изготавливается, в основном, горячей прокаткой (термовакuumной сваркой давлением) нескольких слоёв мелкочаеистых металлических тканых сеток (рисунок 1) (Багров В.С., Курпатенков А.В., Поляев В.М. и др., 1997; Александров Л.Г., Константинов С.Б., Корольков А.В., Сапожников В.Б., 2021; Новиков Ю.М., Александров Л.Г., Богданов А.А., Большаков В.А. и др., 2021; Александров Л.Г., Константинов С.Б., Корольков А.В., Сапожников В.Б., 2023).

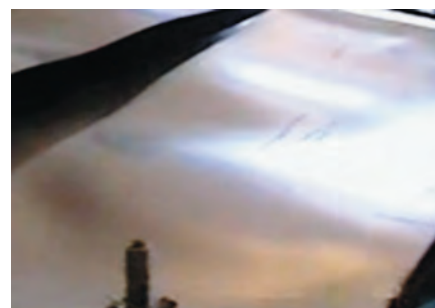
ПСМ имеет объёмную пористую структуру, которая обеспечивает высокие характеристики изделий из ПСМ:



**а**



**б**



**в**



**г**



**д**



**е**



**ж**



**з**



**и**

**а** – раскрой металлической сетки; **б** – мойка сушка, покомплектная укладка наборов сеток в брикеты; **в** – подготовка обкладок, сварка конвертов; **г** – покомплектная упаковка брикетов в конверты; **д** – заварка конвертов с брикетами сеток; **е** – отжиг и вакуумирование конвертов, отсечка сваркой и обрезка части с ниппелем; **ж** – нагрев пакетов в печах; **з** – горячая прокатка пакетов; **и** – резка пакетов, извлечение ПСМ и раскрой деталей лазерной резкой.

**рисунок 2.** Технологические операции получения плоских заготовок ПСМ горячей прокаткой



- высокие фазоразделительные свойства, в основе которых наличие капиллярной проводимости как в перпендикулярном направлении относительно плоскости листа, так и в направлении плоскости листа. При прорыве газового пузыря через ПСМ он восстанавливает свою работоспособность;
- более высокую стабильность характеристик проницаемого поля, чем моносеточный материал с таким же номинальным размером пор, что позволяет изготавливать фильтры с высокой стабильностью параметров от партии к партии и степенью фильтрации от 1 микрометра;
- высокие эксплуатационные свойства, проявляющиеся в коррозионной стойкости, широком диапазоне рабочих температур (от  $-270^{\circ}\text{C}$  до  $+900^{\circ}\text{C}$ ) и давлений до сотен атмосфер.

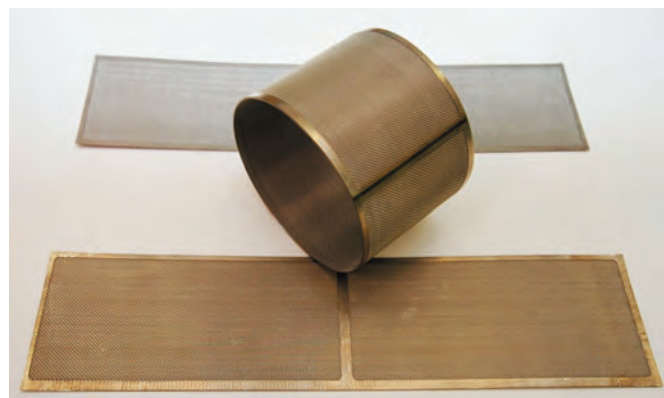
## 1. Используемая в настоящее время технология горячей прокатки изготовления ПСМ и её недостатки

Технология изготовления ПСМ с использованием горячей прокатки была создана в 60-х годах прошлого века и включает операции, показанные на рисунке 2.

Следует отметить трудности многократного точного воспроизводства параметров ручных технологических операций, например, нагрев пакета в печи и перенос на прокатку. Быстротечность прокатки и высокие удельные нагрузки на прокатываемый пакет с заготовкой приводят к тому, что технология горячей прокатки ПСМ требует значительного объёма опытных, настроечных работ, наличия трудоёмкой и дорогостоящей оснастки, несокращаемого резерва времени и высокой квалификации работников. В совокупности с высокими требованиями по точности к толщине готового материала (например, при требуемой толщине ПСМ 0,3 мм точность изготовления плоского листа  $\pm 0,05$  мм) возникает необходимость изготовления больших партий для селекции продукции с требуемыми характеристиками.

Существенным обстоятельством является экономическая нецелесообразность автоматизации основных операций рассматриваемой технологии – нагрева и прокатки, поскольку для выполнения транспортных операций потребуется дорогостоящая роботизированная техника. Таким образом, технология горячей прокатки имеет ряд существенных ограничений по сокращению сроков изготовления и стоимости ПСМ.

Основой для производства пористых изделий из ПСМ является технология соединения деталей из ПСМ как между собой, так и с монолитными каркасными деталями. Самым эффективным способом является сварка. С этой целью была разработана технология горячей прокатки плоских заготовок ПСМ с краями, подготовленными для сварки, которые формируются металлической лентой, укладываемой перед прокаткой по краям заготовки (рисунок 3).



**рисунок 3.** Заготовки деталей из ПСМ с краями, подготовленными для сварки

Для соединения заготовок в изделия используется импульсная лазерная сварка по ленте как по монолитному материалу.

В настоящее время изделия из ПСМ может изготавливать единственный производитель – ООО «ЦВТМ при МГТУ имени Н.Э. Баумана» в кооперации «Проект КПСМ». Плоские заготовки ПСМ в этой кооперации изготавливаются на единственном производстве в цехе пористого проката на Выксунском металлургическом заводе (ВМЗ). Факт монопольного положения единственных производителей является причиной рисков изготовления необходимой продукции и должен рассматриваться как ненадёжный.

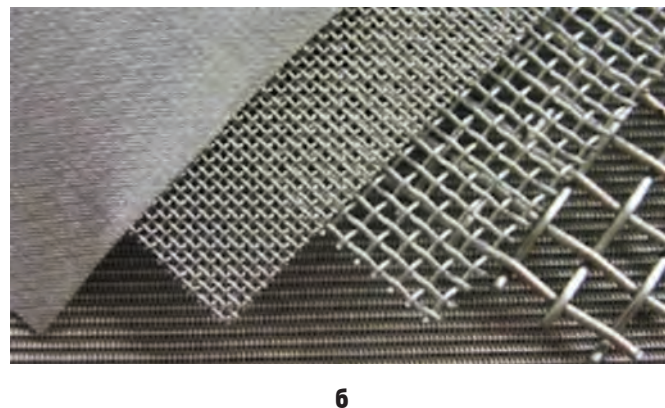
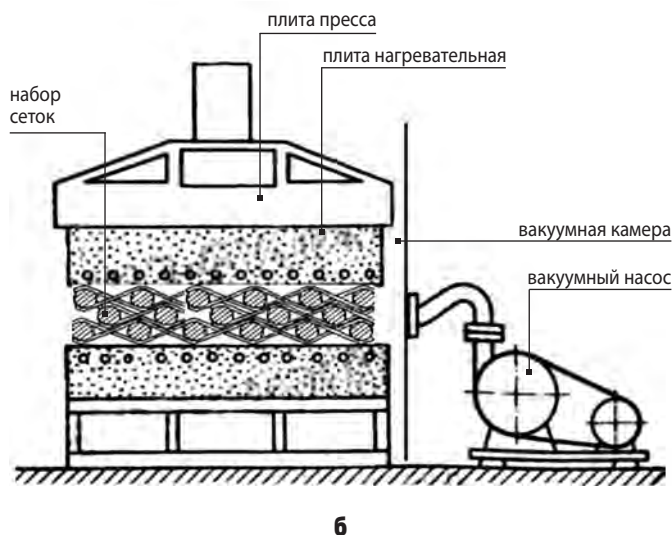
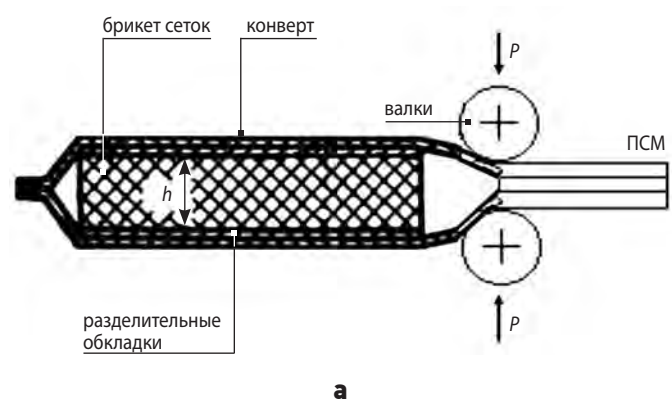
Кроме указанных выше рисков, связанных с единственными производителями материала и изделий из ПСМ, и недостатками технологии горячей прокатки, необходимо указать недостатки, связанные с технологией формирования краёв, подготовленных для сварки:

- только после разработки рабочей конструкторской документации на изделие, содержащее элементы ПСМ, возможно начать производство собственно заготовок из ПСМ, что исключает возможность параллельного выполнения этапов разработки и производства и существенно увеличивает сроки создания технических объектов;
- невозможность производства материала для заготовок в задел ухудшает экономическую эффективность применения ПСМ, поскольку производство становится мелкосерийным и исключает массовое производство материала.

## 2. Разработка технологии диффузионной сварки ПСМ

Для устранения недостатков технологии производства ПСМ горячей прокаткой актуальной является использование альтернативной технологии изготовления ПСМ методом горячей вакуумной диффузионной сварки (рисунок 4).

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛОСКИХ ЛИСТОВ ПОРИСТОГО СЕТЧАТОГО МАТЕРИАЛА (ПСМ) МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНИЯ И ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ БАЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПСМ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

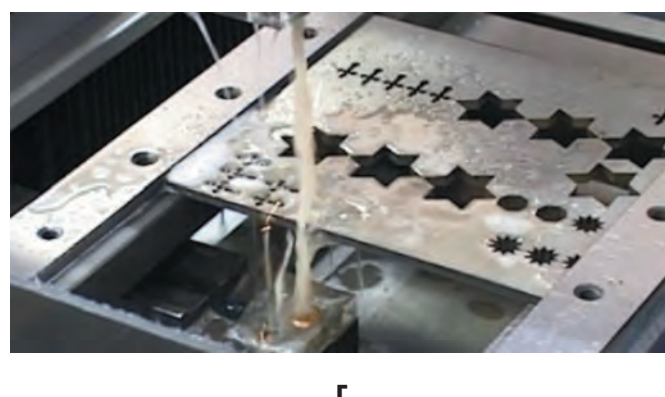


**а** – горячая прокатка брикетов из наборов тканых плоских металлических сеток в вакуумированных конвертах; **б** – диффузионная сварка наборов из комбинаций тканых плоских металлических сеток.

**рисунок 4.** Технологии изготовления ПСМ

Технология вакуумной диффузионной сварки, использующая такие характеристики управления процессом, как длительность силового воздействия, температуру и давление, которые в настоящее время могут автоматически поддерживаться в заданном диапазоне значений и программно изменяться по времени процесса, содержит в себе потенциал повышения стабильности характеристик материала и увеличения выхода качественной продукции, что способствует снижению стоимости готовой продукции.

В АО ГНЦ «Центр Келдыша» в 1960-е годы проводились работы по вакуумной диффузионной сварке ПСМ, однако полный объём технической документации не сохранился (Пелевин Ф.В., Пономарев А.В., Семенов П.Ю., 2015). С учётом этого опыта на АО «НПО Энергомаш» были изготовлены опытные образцы ПСМ на установке диффузионной сварки УВД-15УХЛ4 (АО «НПО Лавочкина», АО «НПО Энергомаш», АО ГНЦ «Центр Келдыша», 2023; АО «НПО Лавочкина», АО «НПО Энергомаш», 2022).



**а** – раскрой металлической сетки; **б** – мойка, сушка, покомплектная укладка наборов сеток; **в** – напыление оксида алюминия на обкладки для серии циклов сварки, диффузионная сварка наборов сеток; **г** – раскрой деталей из ПСМ электроэрозионной проволоочной струйной резкой.

**рисунок 5.** Технологические операции получения плоских листов ПСМ диффузионной сваркой



Технология производства плоских листов ПСМ методом диффузионной сварки включает операции, показанные на рисунке 5.

В отличие от технологии горячей прокатки операция диффузионной сварки характеризуется точной настройкой технологического оборудования и режима сварки, поскольку выполняется в один цикл работы сварочной установки без транспортных операций после закладки набора сеток в пресс вакуумной камеры. Все параметры диффузионной сварки: давление, температура, вакуум, время – строго контролируются. Более того, появляется возможность точного регулирования степени уплотнения (толщины) ПСМ в каждом цикле с помощью включения в систему управления прессом следящей системы управления ходом штока прессы с требуемой точностью. Все контрольные операции выполняются достаточно простой системой автоматизированного управления.

Для производства пористых изделий исследованы технологические операции вырезки деталей из плоских листов ПСМ и их соединения сваркой при изготовлении изделий. В исследованиях, проведённых при сотрудничестве с АО ГНЦ «Центр Келдыша» и ООО «ЦВТМ при МГТУ имени Н.Э. Баумана» (проект КПСМ) (рисунки 6а–6б) показано, что для раскроя деталей из ПСМ можно использовать механические резак и технологию электроэрозионной резки.

Кроме того, удалось восстановить результаты выполненных ранее обработок видов и режимов сварки изделий ПСМ без необходимости специального формирования краёв (рисунок 3) при производстве плоского материала (Третьяков А.Ф., 2017; Третьяков А.Ф., 2020). Для сварки изделий из ПСМ можно использовать все известные виды сварки.

Для соединения изделий из материалов, требующих сварку в защитной среде, отработана электронно-лучевая (ЭЛС) сварка и аргонодуговая сварка (АрДС) (рисунки 6г–6д).

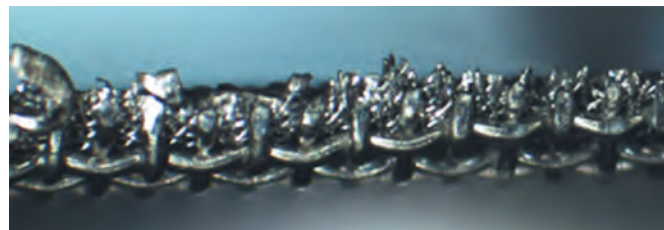
Наиболее качественные сварные соединения с высокой вероятностью получения бездефектного сварного соединения 0,96 обеспечивает ЭЛС. Однако оборудование ЭЛС выпускают крайне ограниченное количество предприятий, что определяет этот вид сварки как самый дорогостоящий.

АрДС была отработана как для автоматических, так и для ручных режимов сварки ПСМ, причём могут использоваться импульсная и непрерывная АрДС. Оборудование АрДС является доступным и выпускается серийно многими предприятиями.

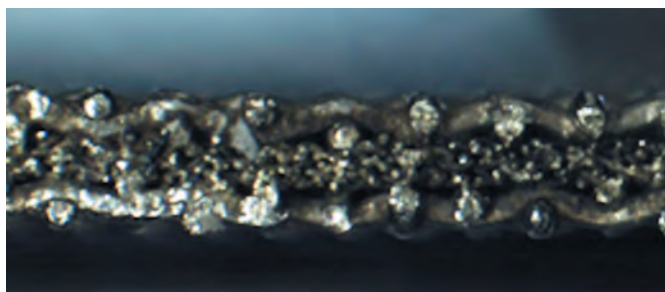
Без использования защитной среды изготовление изделий из ПСМ может выполняться лазерной сваркой на базе, например, компактного молекулярного CO<sub>2</sub> лазера с диапазоном изменения мощности 500–600 Вт. Это самый экономически рациональный вид сварки изделий из ПСМ для автоматических и для ручных режимов.



а



б



в



г



д

- а – лазерный рез, наплавленные капли;  
 б – рез механическим резак, заволакивание пор;  
 в – электроэрозионный проволочно-вырезной струйный срез с минимальным нарушением пористой структуры ПСМ;  
 г – соединение элементов фильтра из ПСМ между собой и с осью и втулками электронно-лучевой сваркой;  
 д – сварная труба из ПСМ. Шов выполнен автоматической аргонодуговой сваркой.

**рисунок 6.** Основные технологические операции для изготовления изделий: резка плоских листов, сварка изделий

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛОСКИХ ЛИСТОВ ПОРИСТОГО СЕТЧАТОГО МАТЕРИАЛА (ПСМ) МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНИЯ И ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ БАЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПСМ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Таким образом, технология диффузионной сварки плоских листов ПСМ обеспечивает устранение недостатков технологии горячей прокатки и повышение научно-технического уровня производства ПСМ и изделий из этих материалов за счёт:

- автоматизации управления режимами процесса диффузионной сварки;
- управления степенью уплотнения ПСМ и производства материала с требуемыми пористыми характеристиками;
- унификации и стандартизации видов и типоразмеров плоских листов ПСМ, а также производство материала в задел большими партиями.

### **3. Диверсификация технологии производства ПСМ**

Эффективность производства ПСМ в существенной степени определяется возможностью его использования в интересах других сфер применения. Фильтры и фазоразделители на базе технологии ПСМ имеют потенциал диверсификации – применения и импортозамещения в интересах многих высокотехнологичных отраслей промышленности (газовой, нефтяной, атомной, авиационной, энергогенерирующей, машиностроительной, медицинской, пищевой и пр.).

Примером может быть предложение АО «НПО Лавочкина», разработанное при поддержке ООО «ЦВТМ при МГТУ имени Н.Э. Баумана» (проект КПСМ), на оферту ПАО «Газпром» в 2016 году. Предлагаемые фильтроэлементы были одобрены головным предприятием ПАО «Газпром» для применения при подготовке газа к транспортированию. Дальнейшие действия базировались на создании в АО «НПО Лавочкина» линии по производству изделий из ПСМ, в связи с чем в дополнение к технической необходимости возникла экономическая целесообразность проработки вопроса организации производства плоских листов ПСМ и пористых изделий из ПСМ широкого спектра применения.

Наряду с техническими преимуществами технология диффузионной сварки плоских листов ПСМ обеспечивает повышение организационно-экономической эффективности производства ПСМ и пористых изделий из ПСМ, заключающейся в:

- улучшении технико-экономических параметров изделий ПСМ за счет снижения стоимости и возможности массового производства материала. Повышение производительности в пять раз за счёт существенного увеличения выхода бездефектной продукции, а также в устранение рисков монопольного производства;
- реализации потенциала диверсификации технологии и производства пористых изделий из ПСМ в интересах высокотехнологичных отраслей промышленности.

### **4. Производственная линия по изготовлению ПСМ и изделий из ПСМ**

В целях производства изделий из ПСМ был проработан проект организации производственного участка и испытательной базы по производству ПСМ и пористых изделий из ПСМ на базе аналогов или модернизации серийно выпускаемого оборудования отечественных производителей с локализованным производством. Затраты на производственное и испытательное оборудование оцениваются по состоянию на 2024 год. Максимальные размеры плоских листов ПСМ для изготовления методом диффузионной сварки, которые определяют выбор производственного оборудования, определены с учётом изделий массового производства в рамках диверсификации.

Для размещения производства пористых изделий требуется чистая зона площадью 600 м<sup>2</sup>, класс чистоты 7 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002 (ИСО7). Производственная линия включает: тамбурный участок чистой зоны – 24 м<sup>2</sup>, участок диффузионной сварки – 36 м<sup>2</sup>, участок раскроя и подготовки плоского листа ПСМ – 116 м<sup>2</sup>, участок гибки, сборки, сварки, контроля и установки изделий из ПСМ – 424 м<sup>2</sup>.

Организация производственной зоны ИСО7 может быть в виде локальной зоны (рисунок 7) или быстровозводимого строения. Локальная чистая зона на основе внутрицеховых каркасных конструкций с листовыми панелями и окнами из закалённого стекла, со встроенными в потолок фильтровентиляционными модулями, с вертикальным вытесняющим однонаправленным потоком внешнего воздуха и нижним вентиляционным проёмом в ограждающем периметре площадью 600 м<sup>2</sup> может быть изготовлена и установлена за четыре месяца. Стоимость составит 34,06 млн. руб. (ООО «АЙФАРМТЕХ»; ООО «САНБЕЛА»).



**рисунок 7.** Локальная чистая зона на основе внутрицеховых каркасных конструкций

**таблица** – Состав производственного оборудования для изготовления изделий из ПСМ

№ п/п	наименование производственного оборудования	стоимость, млн. руб.	аналоги, ссылки на литературу
1	установка диффузионной сварки плоских листов ПСМ	135,00	УДС ТЭТА DW100, (ООО «НПК ТЭТА», 2024)
2	комплект оборудования ультразвуковой очистки от загрязнений, термического ополаскивания и сушки с полуавтоматическим перемещением изделий по технологической линии транспортёром	17,70	(АО «ОКБ Кристалл», 2024)
3	электроэрозионный проволочно-вырезной станок струйный (многопроходный с направляющими линейными рельсового типа)	5,33	(ООО «Измерительные технологии», 2024)
4	комплект гибочно-прокатного и формовочного оборудования	23,70	(АО «Ульяновский НИИТ», 2024)
5	оборудование для автоматической аргонодуговой сварки изделий с повышенными техническими характеристиками в составе установки автоматической аргонодуговой сварки кольцевых швов и установки автоматической аргонодуговой сварки продольных швов и сварки встык изделий	23,10	(ООО НПП «ТехноТрон», 2024)
6	установка непрерывной лазерной сварки изделий	25,00	(ООО «Латиком», 2024)
7	материалы для образцов по отработке технологии по четырём типам плоских листов	20,00	
		итого 249,83	

Для выполнения проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ по быстровозводимому строению на 600 м<sup>2</sup> требуется 24 месяца, стоимость 95,15 млн. руб.

Состав производственного оборудования для производства плоских листов ПСМ методом диффузионной сварки и изделий из ПСМ, затраты на материалы для образцов по отработке технологии приведены в таблице.

Для производства изделий из ПСМ без защитной среды был рассмотрен вариант непрерывной лазерной сварки, который обеспечивает самое экономичное изготовление. Для сварки изделий из ПСМ в защитной среде рассмотрен вариант аргонодуговой сварки, как наименьшей по стоимости в этом классе.

Как было указано выше, при производстве высокоответственных изделий применяется электронно-лучевая сварка с автоматизированной оснасткой специальной разработки в зависимости от геометрии швов.

Основной задачей организации производственной линии изготовления плоских листов ПСМ и изделий из них является модификация установки диффузионной сварки плоских листов ПСМ. Наиболее подходящей для модификации установкой, выпускаемой в настоящее время, является серийная установка диффузионной сварки ТЭТА DW100 производства ООО «НПК ТЭТА», г. Томск (рисунок 8, ООО «НПК ТЭТА»), которая имеет внутренние размеры вакуумной камеры 990×1010×1080 мм.

Для решения поставленной задачи требуется модификация плит и усилия пресса, системы нагрева, а также установка следящей системы управления

прессом. Требования по габаритам плоских листов ПСМ, по диапазону и равномерности поля температур сварки, диапазона давления сварки и точности следящей системы пресса были определены на основании проведённых экспериментов по изготовлению образцов и анализа изделий в рамках диверсификации (АО «НПО Лавочкина», АО «НПО Энергомаш», АО ГНЦ «Центр Келдыша», 2023; АО «НПО Лавочкина», АО «НПО Энергомаш», 2022).

Срок, необходимый для модификации установки диффузионной сварки составляет с учётом технических и организационных закупочных мероприятий 20 месяцев с даты начала финансирования.

## 5. Испытательная база образцов плоских листов ПСМ и изделий из ПСМ

Испытательная база включает:

- рабочий пост по контролю капиллярной удерживающей способности (Александров Л.Г., Константинов С.Б., Марков А.В., Новиков Ю.М., Платов И.В. и др., 2023);
- рабочий пост гидравлических проверок образцов ПСМ на гидравлическое сопротивление;
- рабочий пост прочностных испытаний;
- вибродинамический комплекс для проведения технологической вибрации;
- микроскоп оптический с системой регистрации контроля конструктивных параметров изделий из ПСМ.

Дооснащение существующей испытательной базы оценивается в 98 млн. руб.



**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛОСКИХ ЛИСТОВ ПОРИСТОГО СЕТЧАТОГО МАТЕРИАЛА (ПСМ) МЕТОДОМ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНИЯ И ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ БАЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПСМ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**



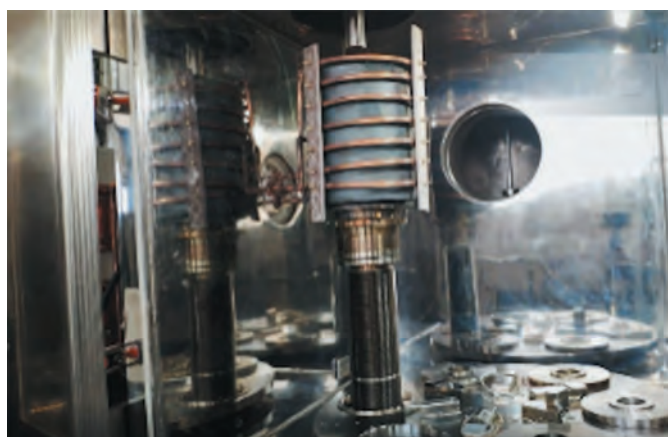
**а**



**б**



**в**



**г**



**д**

**а** – общий вид; **б** – насос сухого вакуума;  
**в** – индукционный нагрев; **г** – гидравлический пресс;  
**д** – система управления и мониторинга, смотровые окна.

**рисунки 8.** Установка диффузионной сварки ТЭТА DW100



## заключение

Опыт работы АО «НПО Лавочкина» и ООО «ЦВТМ при МГТУ имени Н.Э. Баумана» (Проект КПСМ) привёл к общему заключению, что организация в космической отрасли специализированного производства ПСМ и изделий из ПСМ с современной системой менеджмента качества является актуальной задачей. Устраняются риски монопольного производства. В процессе подготовки технического задания на проект создания производства ПСМ ведущие предприятия отрасли (АО ГНЦ «Центр Келдыша», АО «Воткинский завод», АО «ВПК «НПО машиностроения», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ПАО «РКК «ЭНЕРГИЯ», АО «РЕШЕТНЁВ») подтвердили целесообразность такого производства.

Технология производства плоских листов ПСМ методом диффузионной сварки является научно-технической основой создания современного высокоэффективного производства с испытательной базой для изготовления пористых изделий из ПСМ в интересах космической отрасли и диверсификации в интересах других высокотехнологичных отраслей промышленности.

Проект создания производства и испытательной базы плоских заготовок и изделий ПСМ имеет следующие организационно-финансовые показатели в зависимости от пути организации чистой зоны (локальная зона или быстровозводимое строение соответственно):

- начало изготовления и испытаний опытных образцов плоских листов ПСМ через 20–24 месяца после начала финансирования;
- затраты в ценах 2024 год – 381,39 – 442,98 млн. руб.

## список литературы

Александров Л.Г., Константинов С.Б., Корольков А.В., Сапожников В.Б. Топливный бак с капиллярным внутрибаковым устройством космической двигательной установки // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2021. № 4. С. 15-21.

Александров Л.Г., Константинов С.Б., Корольков А.В., Сапожников В.Б. Методика расчёта конструктивных параметров транспортных каналов капиллярных внутрибаковых устройств топливных баков космических двигательных установок // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2023. № 4. С. 93-97.

Александров Л.Г., Константинов С.Б., Марков А.В., Новиков Ю.М. и др. О практических методах определения порометрических характеристик тонких образцов из комбинированного пористого сетчатого материала // Инженерный журнал: наука и инновации. 2023. № 1.

АО «ОКБ Кристалл». URL: <https://www.oktb-kristall.ru/> (дата обращения: 14.10.2024).

АО «НПО Лавочкина», АО «НПО Энергомаш», АО ГНЦ «Центр Келдыша». Протокол результатов работ по изготовлению образцов пористого сетчатого материала (ПСМ) методом вакуумной диффузионной сварки прессованием наборов тканых мелкоячеистых сеток из нержавеющей стальной проволоки. 11.12.2023.

АО «НПО Лавочкина», АО «НПО Энергомаш». Протокол результатов работ по изготовлению образцов комбинированного пористого сетчатого материала (КПСМ) методом диффузионной сварки прессованием в вакууме наборов плетеных мелкоячеистых сеток из стальной нержавеющей проволоки. 06.07.2022.

АО «Ульяновский НИИТ». URL: [www.ulniat.ru](http://www.ulniat.ru) (дата обращения: 14.10.2024).

Багров В.С., Курпатенков А.В., Поляев В.М. и др. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов. М.: УНПЦ «Энергомаш», 1997. 328 с.

Новиков Ю.М., Александров Л.Г., Богданов А.А., Большаков В.А. и др. Проницаемые структуры на основе комбинированного пористого сетчатого металла и сварочная технология производства изделий из них для двигательных установок космических летательных аппаратов // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2021. № 1. С. 44-51.

ООО «АЙФАРМТЕХ». URL: <https://ipharmtech.ru> (дата обращения: 14.10.2024).

ООО «САНБЕЛА» URL: <https://sanbela.ru> (дата обращения: 14.10.2024).

ООО «Измерительные технологии». URL: [www.meatec.ru](http://www.meatec.ru) (дата обращения: 14.10.2024).

ООО «Латиком». URL: [www.laticom.ru](http://www.laticom.ru) (дата обращения: 14.10.2024).

ООО «НПК ТЭТА». URL: [www.tetacom.ru](http://www.tetacom.ru) (дата обращения: 14.10.2024).

ООО НПП «Технотрон». URL: <http://технотрон.рф> (дата обращения: 14.10.2024).

Пелевин Ф.В., Пономарев А.В., Семенов П.Ю. Рекуперативный теплообменный аппарат с пористым металлом для жидкостного ракетного двигателя // Изв. высш. учеб. заведений. Машиностроение. 2015. № 6. С. 74-81.

Третьяков А.Ф. Создание фильтров на основе пористого сетчатого материала для очистки жидкости и газа от механических загрязнений // Инж. журнал: наука и инновации. 2017. № 9. С. 12.

Третьяков А.Ф. Технологические процессы изготовления штампосварных изделий из пористых сетчатых материалов. Заготовительные производства в машиностроении. 2020. Т. 18. № 1. С. 44-48.

Статья поступила в редакцию 21.10.2024

Статья после доработки 28.10.2024

Статья принята к публикации 31.10.2024