



УДК 621.791.3

**ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ  
ЖАРОПРОЧНЫХ ПРИПОЕВ (ЛЕНТЫ И ПАСТЫ НА  
ОРГАНИЧЕСКОМ СВЯЗУЮЩЕМ)**

**А.Н. Афанасьев-Ходыкин**

**В.И. Лукин**

*доктор технических наук*

**В.С. Рыльников**

*кандидат технических наук*

**Сентябрь 2013**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ»,  
№9, 2013 г.

УДК 621.791.3

*А.Н. Афанасьев-Ходыкин, В.И. Лукин, В.С. Рьльников*

## **ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ ЖАРОПРОЧНЫХ ПРИПОЕВ (ЛЕНТЫ И ПАСТЫ НА ОРГАНИЧЕСКОМ СВЯЗУЮЩЕМ)**

*Приведены сведения о новых высокотехнологичных полуфабрикатах высокотемпературных припоев – лентах и пастах на органическом связующем. Исследовано влияние состава органического связующего на технологические характеристики исследуемых полуфабрикатов припоев, а также влияние условий и длительности хранения на технологические характеристики припоев. Даны основные технологические характеристики высокотехнологичных полуфабрикатов припоев производства ФГУП «ВИАМ».*

**Ключевые слова:** *пайка, жаропрочный припой, лента, паста, порошок, органическое связующее.*

*A.N. Afanasyev-Khodykin, V.I. Lukin, V.S. Rylnikov*

## **HIGH-TECH SEMI-FINISHED HIGH-TEMPERATURE SOLDERS (TAPE AND PASTE ON AN ORGANIC BINDER)**

*The article presents information on new high-tech semi-finished brazing – tapes and pastes on an organic binder. The results of the study of the effect of the organic binder on the technological characteristics of the investigated semi-solders, as well as the influence of the conditions and duration of storage on the technological characteristics of the solder. The main technological characteristics of high-tech manufacturing semi-finished solder FSUE «VIAM».*

**Key words:** *brazing, heat-resistant solder, tape, paste, powder, an organic binder.*

В настоящее время в России одной из наиболее серьезных проблем авиационной отрасли является отсутствие серийного производства порошковых припоев для высокотемпературной вакуумной пайки [1–7]. Для ее решения в ВИАМ введена в эксплуатацию установка для получения мелкодисперсных металлических порошков (атомайзер) HERMIGA10/100VI производства фирмы PSI (Великобритания). Отличительной особенностью порошка припоя, получаемого на этой установке,

является содержание большого количества мелкой фракции и сферическая форма частиц [5]. Для повышения удобства и эффективности его использования разработаны новые полуфабрикаты на основе порошков припоев.

Отечественные ленты и пасты из порошков припоев на органическом связующем используются на ряде предприятий по технологиям, разработанным ранее в ВИАМ. Но следует отметить, что по этим технологиям невозможно организовать промышленное производство из-за небольшого срока хранения полуфабрикатов: для лент – не более 10 сут, для паст – не более нескольких часов без периодического перемешивания [7–12].

Для обеспечения равномерности распределения порошка в лентах и пастах припоев на органическом связующем необходимо, чтобы все свободное пространство между частицами порошка было заполнено органической связкой. Как известно, плотность упаковки порошка сильно зависит от гранулометрического состава порошка. Поэтому для оценки объемного содержания свободного пространства в порошках припоев выбраны порошки различных классов гранулометрического состава: 10–40 мкм (1 класс), 40–100 мкм (2 класс) и 10–200 мкм (3 класс) (табл. 1).

Таблица 1

Удельная пористость\* упаковки порошков различных припоев

Показатель	Значения показателей для порошка класса		
	1	2	3
Фракционный состав порошка, мкм	10–40	40–100	10–200
Удельная пористость упаковки порошка, мл/г:			
ВПр16	0,071	0,082	0,069
ВПр24	0,061	0,080	0,068
ВПр36	0,064	0,086	0,068
ВПр42	0,066	0,075	0,056
ВПр44	0,069	0,084	0,066
ВПр50	0,058	0,079	0,065
Удельная пористость упаковки, мл/г:			
минимальная	0,058	0,075	0,056
максимальная	0,071	0,086	0,069

\* Объем свободного пространства в порошке припоя массой 1 г при наиболее плотной упаковке.

Видно, что удельная пористость упаковки порошка практически не зависит от марки припоя и незначительно отличается даже для припоев на различных основах (ВПр16 на основе Ti, остальные – Ni). Наиболее плотную упаковку образуют порошки

1 и 3 класса с размером частиц 10–40 и 10–200 мкм – удельная пористость в пределах 0,056–0,071 мл/г.

Основное требование к органическому связующему для изготовления лент и паст порошковых припоев – способность удаляться при нагреве в вакууме без образования зольного остатка. Наличие зольного остатка при начале плавления припоя может привести к непроямам, появлению неметаллических включений в паяных швах и другим дефектам паяного соединения. Температура начала плавления исследуемых припоев составляет  $>900^{\circ}\text{C}$ , поэтому удаление органического связующего должно происходить при температуре не выше  $900^{\circ}\text{C}$ . В качестве основ опробованы различные вещества (лаки АС-82 и АК-113, смолы эпоксидные Э-41 и ЭД-20, продукт 10, аэросил А-175, фторопласт Ф-32ЛН, смола полиамидная ПО-300, лак фторполиуретановый МАОК, фторкаучук СКФ-32, сополимер БМК-5).

Для выбора состава органического связующего для изготовления лент порошковых припоев определены зависимости технологических характеристик лент от содержания пластификатора:

– ползучесть – время, за которое происходит уменьшение высоты на 1 мм цилиндра из металлорганической массы  $\varnothing 5$  мм и высотой 5 мм при комнатной температуре ( $19\text{--}24^{\circ}\text{C}$ );

–  $H$  – минимальная толщина ленты;

–  $R$  – минимальный радиус изгиба ленты.

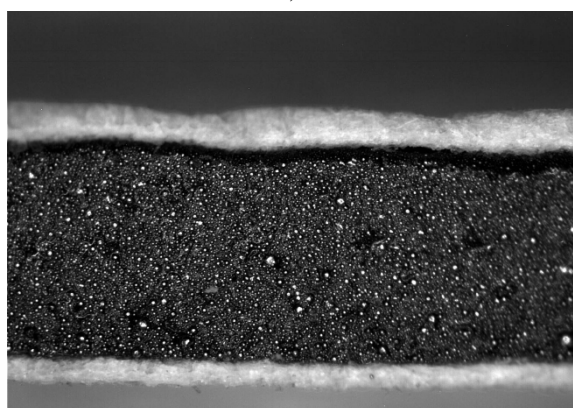
Результаты исследования влияния содержания пластификатора в органическом связующем лент порошковых припоев на их технологические характеристики приведены в табл. 2.

На основании проведенных исследований установлено, что оптимальное содержание пластификатора обеспечивает длительный ( $>120$  сут) срок хранения ленты. Уменьшение содержания пластификатора приводит к избыточной жесткости лент без значительного прироста их технологичности при изготовлении, а увеличение содержания пластификатора приводит к избыточному повышению пластичности лент, что снижает их технологичность при изготовлении и приводит к уменьшению срока хранения. Структура лент порошкового припоя на органическом связующем приведена на рисунке. Видно, что лента припоя характеризуется плотной упаковкой гранул металлического порошка и равномерно распределенным органическим связующим, заполняющим все свободные пространства между гранулами.

**Влияние содержания пластификатора в органическом связующем лент припоев  
на их технологические характеристики**

Ползучесть, сут	$H$ , мкм	$R$ , мм
>120	363	15
>120	365	13
>120	370	7
>120	487	3
>120	490	2
>120	500	2
82	550	1
29	680	1

а)



б)



Внешний вид (а –  $\times 50$ ; б –  $\times 100$ ) поперечного разреза ленты порошкового припоя на органическом связующем

Для определения допустимых условий и срока хранения лент изготовлены образцы лент припоя и помещены в различные условия на хранение в течение 1 года. По результатам исследований технологических характеристик установлено, что при хранении в открытом состоянии (без герметичной индивидуальной упаковки) уже через 6 мес наблюдается деформация (локальное вспучивание) ленты, снижение прочности сцепления клеевого слоя, а также потеря пластичности самой ленты. По-видимому, это связано с постепенным испарением органических растворителей. В случае же хранения лент в герметичной упаковке потери технологических характеристик лент порошковых припоев не наблюдаются даже спустя 12 мес хранения в широком диапазоне температур – от  $+5$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Для нанесения припоя на сложные криволинейные поверхности разработан новый полуфабрикат порошкового припоя – пасты на органическом связующем, предназначенные для экструзии из туб или шприцов через дюзы различного диаметра. Пасты порошковых припоев на органическом связующем должны сохранять свою

однородность в течение длительного срока хранения (не менее 6 мес) и поддаваться экструзии без значительных усилий. Припои обладают высокой плотностью (6–9 г/см<sup>3</sup>) по сравнению с органическим связующим на основе акриловой смолы, плотность которого составляет 0,8–1,2 г/см<sup>3</sup>. Столь большая разница (более чем в 6 раз) в плотностях компонентов металлорганической массы приводит к ее расслоению с повышением концентрации порошка припоя на дне емкости, что вызывает ее значительное уплотнение и блокирует процесс экструзии после хранения. Подавить процесс расслоения можно только за счет высокой вязкости органического связующего, что, в свою очередь, повышает усилие экструзии пасты при использовании.

Для определения склонности паст припоев к расслоению в процессе хранения проведены испытания по ускоренной методике. Для этого полая стеклянная трубочка заполнялась органическим связующим, в верхние слои которого замешивались порошки припоев. После чего трубочка герметизировалась с обеих сторон и помещалась в вертикальном положении на хранение при комнатной температуре. Если в течение 5 сут порошок припоя не перемещался на расстояние >10 мм, органическое связующее считалось не склонным к расслоению в процессе хранения.

Для оценки усилия экструзии пасты припоев изготавливалась металлорганическая масса, содержащая порошок припоя и органическое связующее. Усилие экструзии считалось удовлетворительным, если паста припоя истекала через отверстие  $\varnothing 2$  мм при приложении усилия 1 кгс/мм<sup>2</sup> (10 МПа) со скоростью не менее 1 мм/с.

Для определения допустимого срока хранения паст порошковых припоев на органическом связующем проведено исследование влияния срока хранения на скорость экструзии, которая определяется вязкостью органического связующего и протеканием процесса расслоения. Результаты испытаний показали, что скорость экструзии для выбранного состава органического связующего при хранении снижается, но остается на приемлемом уровне (2–3 мм/с). При этом температура хранения практически не влияет на снижение скорости экструзии в широком диапазоне – от +5 до +25°C. На основе проведенных испытаний можно рекомендовать срок хранения паст порошковых припоев на органическом связующем в течение 6 мес при температуре от +5 до +25°C.

Разработан состав органического связующего для производства лент порошковых припоев, обеспечивающий:

- срок хранения лент порошковых припоев – не менее 12 мес;
- изготовление ленты толщиной от 0,3 до 10 мм;

- высокую эластичность лент – радиус изгиба лент  $>3$  мм;
- высокую технологичность лент при использовании – поддаются резке ножом и ножницами;

- с помощью клеевого слоя надежную фиксацию на паяемой поверхности.

Разработан состав органического связующего для производства паст порошковых припоев, обеспечивающий:

- срок хранения лент порошковых припоев – не менее 6 мес;
- высокие реологические свойства (скорость экструзии на уровне 2–3 мм/с, при усилии  $1 \text{ кгс/мм}^2$  (10 МПа) через фильеру  $\varnothing 2$  мм);
- надежную фиксацию на паяемой поверхности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 19–35.
3. Каблов Е.Н., Мубояджян С.А. Жаростойкие и теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 60–70.
4. Каблов Е.Н., Бондаренко Ю.А., Ечин А.Б., Сурова В.А. Развитие процесса направленной кристаллизации лопаток ГТД из жаропрочных сплавов с монокристаллической и композиционной структурой //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 3–8.
5. Каблов Е.Н., Евгенов А.Г., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н. Исследование мелкодисперсных порошков припоев для диффузионной вакуумной пайки, полученных методом атомизации расплава //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. Спец. вып. «Перспективные конструкционные материалы и технологии» С. 79–87.
6. Лукин В.И., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н. Особенности получения паяных соединений из сплава ЖС36 //Технология машиностроения. 2010. №5. С. 21–25.
7. Лукин В.И., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Орехов Н.Г. Особенности пайки монокристаллических отливок из сплава ЖС32 //Сварочное производство. 2012. №5. С. 24–30.
8. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Вопросы теории и технологии пайки. М.: Изд-во Саратовского ун-та. 1974. 248 с.
9. Лашко Н. Ф., Лашко С.В. Пайка металлов. М.: Машиностроение. 1967. 368 с.
10. Хорунов В.Ф., Максимова С.В. Пайка жаропрочных сплавов на современном этапе //Сварочное производство. 2010. №10. С. 24–27.
11. Chaturvedi M.C., Ojo O.A., Richards N.L. Diffusion brazing of cast Inconel 738 superalloy //Materials & Materials Proc. 2004. V. 2. №6. P. 206–213.
12. Kenyon N., Hrubec R.Y. Brazing of a dispersion strengthened nickel base alloy made by mechanical alloying //Welding Research Supplement. 1974. №4. P. 145–152.