



УДК 621.791.3

**ПРИПОИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ПАЙКИ МАТЕРИАЛОВ
АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В.С. Рыльников

кандидат технических наук

В.И. Лукин

доктор технических наук

Август 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»,
№8, 2013 г.

УДК 621.791.3

В.С. Рыльников, В.И. Лукин

ПРИПОИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ПАЙКИ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Приводятся краткие сведения о припоях, применяемых в настоящее время в авиационной промышленности. Рассмотрены их достоинства и недостатки, даны основные сферы их применения.

Ключевые слова: *пайка, припой, жаропрочный сплав, нержавеющая сталь, низкотемпературный припой, высокотемпературный припой, титановые сплавы, медные сплавы, алюминиевые сплавы.*

V.S. Rylnikov, V.I. Lukin

SOLDER USED FOR SOLDERING MATERIALS AVIATION APPLICATIONS

The article provides a summary of the solders currently used in the aviation industry. Highlight their strengths and weaknesses. The main field of application.

Key words: *soldering, brazing, heat-resistant alloy, stainless steel, low temperature solder, high-temperature solder, titanium alloys, copper alloys, aluminum alloys.*

В предыдущие десятилетия в ВИАМ активно проводились работы по пайке алюминиевых сплавов, меди и медных сплавов, сталей, титановых сплавов и жаропрочных никелевых сплавов. Хотя в настоящее время работы по пайке не проводятся в тех масштабах как это было ранее, тем не менее, ВИАМ является разработчиком и ответственным за техническую документацию на припой, разработанные ранее. В авиационной промышленности применяется около 50 марок припоев на основе олова, свинца, меди, серебра, никеля и титана. В последнем перечне-ограничителе содержится 36 марок [1–6]. Регламентируют применение этих припоев в опытном производстве документы, называемые перечнями-ограничителями (ПО). Но эти документы не касаются тех припоев, которые применяются в серийном производстве.

Одной из задач ПО является ограничение марок припоев, используемых в производстве и имеющих близкие характеристики, а также учет опыта применения и

разграничение областей применения каждого припоя. Периодически, как правило раз в 5–10 лет, эти перечни обновляются. Необходимость такого пересмотра очевидна при анализе тенденций развития авиационного материаловедения. Разрабатываются новые материалы авиационного назначения, для многих из которых – при использовании их в конструкциях – необходимо решение проблем получения неразъемных соединений [7–14].

Причем часто свойства этих соединений должны быть близки к свойствам основных материалов. Примерами таких материалов могут быть сплавы на основе интерметаллидов, включая сплавы с новыми системами легирования, например, ниобий-кремниевые сплавы, пористые уплотнительные материалы, монокристаллические сплавы и др. Разрабатываются новые припои, технологии пайки, осваиваются новые полуфабрикаты припоев.

Перечень-ограничитель (ПО) не распространяется на припои, используемые при изготовлении изделий микроэлектронного исполнения (микроприборов и герметичных микроблоков). Опробование в опытном производстве новых марок припоев, не представленных в ПО, производится на основе рекомендаций в установленном порядке. Выбор припоев при разработке новой авиационной техники должен основываться на тех припоях, которые содержатся в ПО. При обновлении вариант нового ПО рассылается всем заинтересованным предприятиям. Отзывы предприятий о включении новых марок припоев, предложения по включению новой информации о припоях рассматриваются и обсуждаются в последующей переписке. По тем маркам припоев, для которых недостаточно данных для их рекомендации, могут проводиться дополнительные исследования. После проведения таких исследований возможна выдача рекомендаций для опробования этих припоев. В ПО такие припои попадают, если необходимость их применения не носит единичный характер. По сути, ПО является коллективным творчеством, в котором принимают участие специалисты, занимающиеся пайкой в авиационной промышленности.

Всего начиная с 1971 г. было выпущено шесть перечней-ограничителей. Анализ этих документов позволяет выявить те направления, по которым развивались работы по пайке.

В первом перечне-ограничителе ПО13-71 для пайки жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов рекомендовались припои ВПр1, ВПр3, ВПр4, ВПр7, ВПр8, ВПр10, Г40НХ, Г70НХ, ПМ17, ПМ17А, ВПр13, ПЖК35, ПЖ45-81; для пайки медных сплавов и сталей – припои ПСр50, ПСр15, ПСр71, ПСр72, ПСр25, ПСр45, ПСр25Ф, ПСр40,

ПСрМСуФ60; для пайки деталей из титановых сплавов – серебро, ПСр72 и ПСр40. Всего этот перечень-ограничитель содержал 58 марок припоев, из них 22 марки серебряных припоев. В определенное время серебряным припоям в разработках ВИАМ отдавалось определенное предпочтение, поскольку в то время трудно было освоить малотоннажное производство припоев, а производство серебряных припоев было хорошо налажено. Паяные соединения сталей и титановых сплавов, выполненные серебряными припоями, часто имеют плохую коррозионную стойкость. При этом особенностью коррозии таких соединений является относительно небольшое наличие продуктов коррозии на поверхности соединений и значительное развитие коррозии вдоль границ припоя с основными материалами, приводящее к полной потере прочности соединений. Многие припои в этом перечне имеют близкие свойства, поэтому задачи ограничения марок припоев в этом перечне выполнены неудовлетворительно. Проводилась работа по исследованию свойств паяных соединений, анализу применения рекомендованных припоев, которая была учтена при составлении следующих ПО. Параллельно проводилась работа по организации серийного производства припоев на медной, медно-никелевой и никель-марганцевой основах на металлургических предприятиях.

Следующий перечень-ограничитель ПО13-76 был дополнен припоями ВПр18, ВПр2, ВПр11-40Н и двумя серебряными припоями ВПр15 и ВПр17, из него исключены припои Г40НХ, Г70НХ, а также три серебряных припоя ПСр37,5, ПСр70, ПСр3. Причем при каждом исключении припоя вместо него были рекомендованы припои на замену. Припой ВПр2 на медно-марганцевой основе и поныне широко применяется при пайке теплообменников различного назначения. Порошковый припой ВПр11-40Н наиболее широко используемый припой при пайке никелевых жаропрочных сплавов. Серебряный припой ВПр15 использовался для пайки сотовых панелей на изделии «Буран». Серебряный припой ВПр17 (ПСр21,5) применяется при газопламенной пайке тонкостенных трубопроводов из стали 12Х18Н9Т.

За период до выпуска следующего ПО13-84 были проведены работы по замене серебряных припоев и исключены 7 марок серебряных припоев. В перечень введены 18 новых марок припоев, из которых следует отметить, прежде всего, припои ВПр24, ВПр27, ВПр16, ВПр28 и ВПр35. Высокожаропрочный порошковый припой ВПр24 на никелевой основе применяется для пайки сопловых и рабочих лопаток турбины из сплавов типа ЖС6. Аморфный припой на никелевой основе ВПр27 используется для пайки упрочняющих пластин на контактные поверхности бандажных полок рабочих

лопаток турбин из сплавов ЖС6У и ВЖЛ12. Припои ВПр16, ВПр28 на титановой основе и ВПр35 на основе олова заменили большую группу серебряных припоев, потому что обеспечивают более высокие значения прочности и хорошую коррозионную стойкость паяных соединений. Эти припои широко применяются в промышленности.

**Перечень припоев, рекомендуемых к применению в опытном производстве
в авиационной промышленности в ПО13-2011**

Припой	Вид полуфабриката
ВПр1, ВПр2, ВПр4	Полосы
ВПр7, ПСр21,5 (ВПр17)	Полосы, порошок
ПСр25, ПСр40	Полосы, проволока
ВПр11-40Н	Порошок
ВПр24	Порошок, лента на органической связке
ВПр27	Порошок, аморфная лента
ВПр36, ВПр37, ВПр42, ВПр44, ВПр50	Порошок
Л63	Проволока
ПФОЦ 7-3-2	Литые прутки
ПМФ9, ПСр15, ПСр25, ПСр25Ф, ПСр40	Полосы, проволока
ВПр16, ВПр28	Порошок, аморфная лента
34А	Прутки
Сплав Розе	Гранулы
ПОС61, ПОССу 61-0,5, ПОС40, ПОССу 40-0,5	Слитки
ПОСК 50-18	Слитки, проволока, лента, пруток, порошок; трубки, наполненные флюсом
ПСр2,5, ПСр3Кд	Полосы, проволока
ВПр35, ВПр40	Проволока

Важным решением в ПО13-84 явилась отмена рекомендации использовать никель-марганцевый припой ВПр7 для пайки жаропрочных никелевых сплавов. Оказалось, что при повышенных температурах через слой полуды происходит внутреннее окисление жаропрочных никелевых сплавов, охрупчивающее эти сплавы. Следует отметить и отмену рекомендации по применению припоя на свинцовой основе марки ПСр3.

Применение этого припоя для пайки топливных фильтров послужило причиной ряда отказов авиационной техники.

В ПО13-94 включены припои марок ВПр36, ВПр40, ВПр44. Припой на свинцовой основе ВПр40 обеспечивает высокую коррозионную стойкость соединений медных проводов с рабочей температурой до 250°C, заменяет несколько серебрясодержащих припоев и используется на многих авиационных заводах. Высокожаропрочные припои на никелевой основе ВПр36, ВПр44 предназначены для пайки нового класса жаропрочных никелевых сплавов – монокристаллических, они применяются при заделке технологических отверстий в рабочих лопатках турбин.

В ПО13-2011 включены припои на никелевой основе ВПр37 и ВПр50. Припой ВПр37 применяется для пайки интерметаллидных сплавов типа ВКНА с рабочей температурой соединений до 1200°C. Припой ВПр50 используется для пайки жаропрочных никелевых сплавов и нержавеющей сталей. В последнем перечне-ограничителе приведены марки припоев, перечисленные в таблице.

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., Сулова 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. Лукин В.И., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н. Особенности получения паяных соединений из сплава ЖС36 //Технология машиностроения. 2010. №5. С. 21–25.
6. 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.
7. Бунтушкин В.П., Каблов Е.Н., Качанов Е.Б., Шалин Р.Е. Высокотемпературные конструкционные сплавы на основе интерметаллида Ni3Al /В сб.: Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 278–284.
8. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Базылева О.А. Материалы для высокотеплонагруженных деталей газотурбинных двигателей //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. Сер. Машиностроение. Спец. вып. Перспективные конструкционные материалы и технологии. С. 13–19.
9. Лукин В.И., Ковальчук В.Г., Саморуков М.Л., Гриднев Ю.М. Исследование влияния технологии ротационной сварки трением деформируемого жаропрочного никелевого сплава ВЖ175 на структуру и прочностные характеристики сварных соединений //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. Сер. Машиностроение. Спец. вып. Перспективные конструкционные материалы и технологии. С. 114–121.
10. Сорокин Л.И. Свариваемость жаропрочных сплавов, применяемых в авиационных газотурбинных двигателях //Сварочное производство. 1997. №4. С. 4–11.

11. Лукин В.И., Сорокин Л.И., Багдасаров Ю.С. Свариваемость литейных жаропрочных никелевых сплавов типа ЖС6 М //Сварочное производство. 1997. №6. С. 12–17.
12. Лукин В.И., Семенов В.Н., Старова Л.Л. и др. Образование горячих трещин при сварке жаропрочных сплавов //МиТОМ. 2007. №12. С. 7–14.
13. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Вопросы теории и технологии пайки. М.: Изд-во Саратовского ун-та. 1974. 248 с.
14. Хорунов В.Ф., Максимова С.В. Пайка жаропрочных сплавов на современном этапе //Сварочное производство. 2010. №10. С. 24–27.