



# Перспективный алюминиево-литиевый сплав 1424 для сварных конструкций изделий авиакосмической техники

Л.Б. Хохлатова  
*кандидат технических наук*

В.И. Лукин  
*доктор технических наук*

Н.И. Колобнев  
*доктор технических наук*

Е.Н. Иода

А.В. Базескин

В.П. Лавренчук

В.В. Кошкин

Е.А. Мезенцева

Октябрь 2008

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – 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 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 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 «Сварочное производство», № 3, 2009 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## Перспективный алюминиево-литиевый сплав 1424 для сварных конструкций изделий авиакосмической техники

Л.Б. Хохлатова<sup>1</sup>, В.И. Лукин<sup>1</sup>, Н.И. Колобнев<sup>1</sup>,  
Е.Н. Иода<sup>1</sup>, А.В. Базескин<sup>1</sup>, В.П. Лавренчук<sup>1</sup>,  
В.В. Кошкин<sup>2</sup>, Е.А. Мезенцева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов», г. Москва

<sup>2</sup> ОАО «ОКБ Сухого», г. Москва

Впервые сварные конструкции взамен клепаных из алюминиево-литиевого сплава 1420 использовали при создании самолета МиГ-29М [1, 2]. Для изготовления элементов конструкции фюзеляжа (кабины пилота, топливных баков) использовали полуфабрикаты из сплава 1420 системы Al-Mg-Li-Zr. Это позволило снизить массу фюзеляжа на 24% по сравнению с клепаной конструкцией из сплава Д16чТ за счет меньшей (на 10%) плотности сплава 1420 ( $\rho=2,47 \text{ г/см}^3$ ) и устранения нахлесток, герметиков, клепаных и болтовых соединений.

Сплав 1424 ( $\rho=2,54 \text{ г/см}^3$ ) является улучшенной модификацией сплава 1420 за счет дополнительного легирования цинком и скандием при некотором снижении содержания лития и магния [3]. Сплав 1424 отличается от сплава 1420 более высокими характеристиками статической прочности, вязкости разрушения, малоциклового усталости, свариваемости и обладает эффектом сверхпластичности (табл. 1).

Таблица 1.

Сплав	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	МЦУ, цикл ( $\sigma_c^{\text{нетто}}=157$ МПа, $K_t=2,6$ )	$K_c^y$ , МПа $\sqrt{\text{М}}$ ( $B=400 \text{ мм}$ )	СРТУ, $dI/dN$ , мм/ цикл	$\delta_{\text{СПД}}$ , %	$\sigma_{\text{в.св}}/\sigma_{\text{в.ос}}$ н	Стойкость против образования горячих трещин $v_{\text{кр}}$ , мм /мин
1420	425	285	7	100	75	2,0	200	0,7–0,75	2,5/6,0*
1424	440	300	8	200	95	1,5	800	0,75–0,8	3,1/7,5**

\* Без присадки/с присадкой Св-АМг63.

\*\* Без присадки/с присадкой Св-1597.

Листы и прессованные профили толщиной не более 10 мм из сплава 1424,

как и из сплава 1420, рекомендуют к применению в конструкции в состоянии ТГ1 (закалка на воздухе и искусственное старение). Закалку на воздухе можно использовать и в качестве промежуточной термической обработки при изготовлении деталей из листов и профилей.

Задачи, решенные при создании самолета МиГ-29М, по сварке плоскопараллельных конструкций из сплава 1420 получили продолжение при изготовлении сварных опытных баковых конструкций с ребристыми панелями из сплава 1424. При этом использовали опыт, накопленный в «ОКБ Сухого» при изготовлении ребристых панелей из титановых сплавов.

С использованием компьютерного моделирования оптимизировали следующие технологические процессы при изготовлении сварных конструкций из сплава 1424:

- подготовку основного и присадочного материалов под сварку;
- выбор способа сварки и состава присадочного материала;
- режимы термической обработки и термофиксации сварных соединений;
- режим формообразования ребристых сварных панелей.

Выбранные составы присадочных материалов на основе системы Al–Mg–Sc (Св-1597) и Al–Mg–Sc–PЗМ (Св-1598) для автоматической аргоно-дуговой сварки (ААрДЭС) и применение перед сваркой химического фрезерования поверхности листа на глубину 0,2 мм позволили получить высокий уровень механических свойств сварных соединений. Результаты исследования сварки трением с перемешиванием (СТП), электронно-лучевой (ЭЛС) и лазерной (ЛС) различных полуфабрикатов из сплава 1424 показали возможность получения высоких прочностных свойств сварных соединений  $\sigma_{в.св}/\sigma_{в.осн}=0,75\div 0,98$  без термической обработки после сварки (табл. 2).

ЛС способствует измельчению зеренной структуры в металле шва и переходной зоны. При этом ЗТВ в 3 раза меньше по сравнению с ААрДЭС, но структура металла шва менее однородна (рис. 1). При СТП соединение образуется без расплавления материала, ЗТВ практически отсутствует.



Таблица 2.

Сварка	Толщина листа, мм	Присадочный материал	$\sigma_{в.св.}$ , МПа	Угол изгиба, градус	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	
					шов	зона сплавления
ААрДЭС	2,0	Св-1597	340	95	320	270
ААрДЭС	2,0	Св-1598	370	90	210	170
ЛС	2,0	–	320	52	120	–
СТП	4,5	–	440	–	400	420
ЭЛС	6,0	–	380	45	–	–

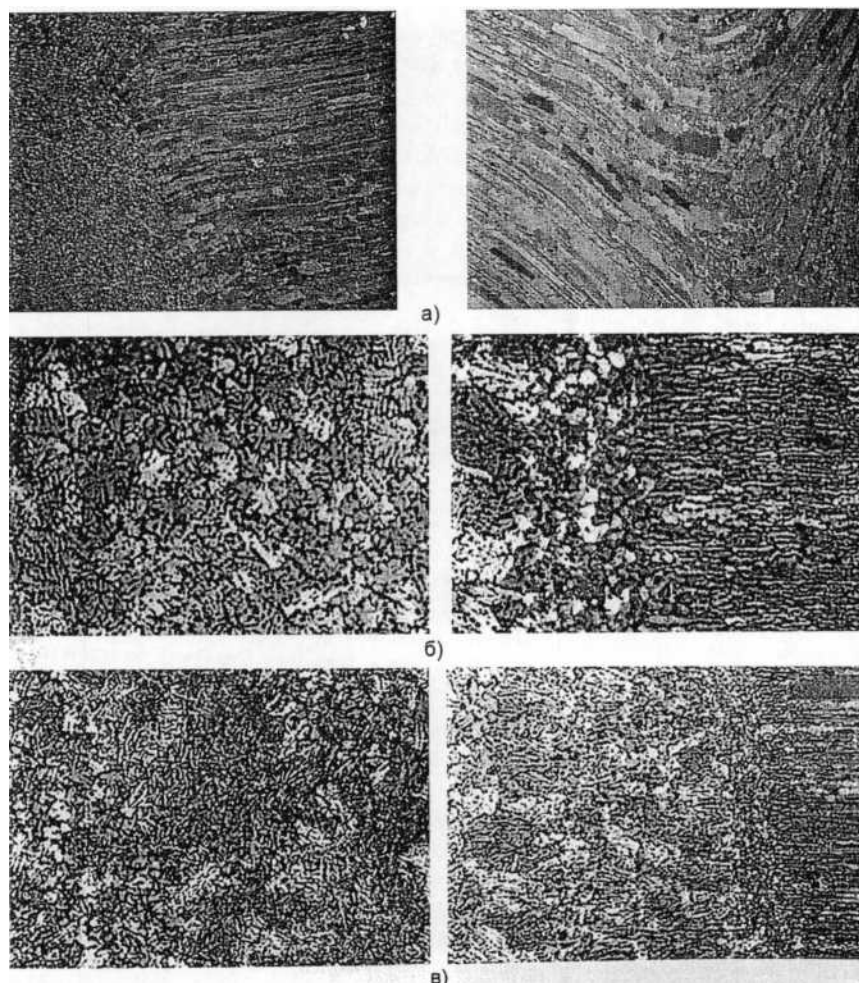


Рисунок 1. Микроструктура сварных соединений сплава 1424:  
*а* – анодное окрашивание; *б, в* – травление реактивом Келлера;  
*а* – СТП (слева шов, справа ОШЗ),  $\times 200$ ; *б, в* – соответственно ААрДЭС  
(Св-1598) и ЛС (слева – шов, справа – зона сплавления)

Опыт изготовления и испытания ребристых сварных панелей из сплава 1424 с использованием ЛС при приварке стрингеров к листу и соединения панелей сваркой трением на фирме «Airbus» показал перспективность технологии изготовления сварных конструкций (рис. 2) [4].

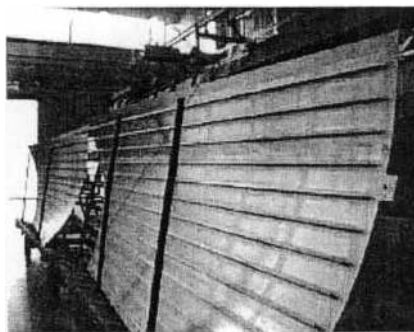


Рисунок 2. Сварные ребристые панели из листов шириной 2600 мм сплава 1424, изготовленные методом лазерной сварки на фирме «Airbus» [4]

В данной работе исследовали три схемы изготовления сварных соединений из листов сплава 1424 методом автоматической аргоно-дуговой сварки:

1 – состояние поставки (Т) + сварка + перезакалка + искусственное старение;

2 – перезакалка + искусственное старение (ТГ1) + сварка;

3 – перезакалка (ТГ) + сварка + искусственное старение.

Максимальная прочность при высоком уровне пластичности и ударной вязкости достигается при проведении полной термической обработки после сварки (вариант 1). Варианту сварки после термической обработки по режиму ТГ1 (вариант 2) соответствует прочность сварного соединения на уровне 0,75–0,78 прочности основного материала при удовлетворительной пластичности. Проведение только искусственного старения после сварки (вариант 3) обеспечивает более низкую прочность при самых высоких значениях пластичности и ударной вязкости (табл. 3).

На основании полученных результатов сварки образцов в ОАО «ОКБ Сухого» опробовали изготовление сварных соединений в виде ребристой панели «лист + стрингер» из листов толщиной 3 мм автоматической аргоно-дуговой сваркой методом сквозного проплавления.



Таблица 3.

Термическая обработка		$\sigma_v$ , МПа	$\alpha$ , градус	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	
до сварки	после сварки			шов	зона сплавления
Закалка в воду, правка (Т)	Перезакалка на воздухе + старение	420–426	100–108	313–329	224–295
		422	105	320	257
Перезакалка на воздухе + старение (ТГ1)	–	346–354	84–100	183–214	147–176
Перезакалка на воздухе (ТГ)	Старение	352	89	201	167
		332–349	100–132	327–345	311–326
		338	118	334	319

Примечание. Сплав 1424, лист толщиной 2,0 мм.

Результаты исследования склонности сварных стыковых и тавровых соединений из листа к общей (ОК), расслаивающей (РСК), межкристаллитной коррозии (МКК) и коррозионному растрескиванию (КР) свидетельствуют о высокой коррозионной стойкости сварных соединений листов сплава 1424 (табл. 4).

Таблица 4.

Сварное соединение	Термическая обработка		РСК, балл			МКК, мм			ОК, потери $\sigma_v$ , %	КР	
	до сварки	после сварки	основной металл	ЗТВ	сварной шов	основной металл	ЗТВ	сварной шов		$\sigma$ , МПа	долговечность, сут
Лист + лист (стыковое)	Закалка в воду	ТГ1	2	2	2	Нет	Нет	Нет	Нет	$K=0,75$ $\sigma_{v,св}$	>90
	Перезакалка на воздухе + искусственное старение	–	2	2	2	–«–	–«–	–«–	–«–		>90
	Закалка на воздухе	Искусственное старение	2	2	2	–«–	–«–	–«–	–«–		>90
Лист + лист (тавровое)	ТГ1	–	2	2	2	–«–	–«–	–«–	–	–	–

Учитывая высокую технологическую пластичность сплава 1424 в интервале закалочных температур, процесс формообразования сварных соединений совмещали с нагревом под закалку и последующим охлаждением на воздухе, одновременно устраняя сварочные деформации и напряжения (рис. 3).

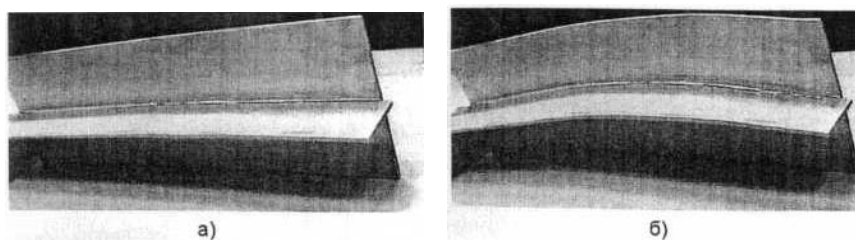


Рисунок 3. Тавровое соединение до (а) и после (б) формообразования

Для сварных панелей, имеющих теоретический контур самолета, возможно совмещение формообразования в режиме сверхпластической деформации с закалкой, т.к. листы из сплава 1424 обладают эффектом сверхпластичности и закаливаются на воздухе (рис. 4).



Рисунок 4. Процесс изготовления ребристой сварной панели, включающий формообразование в режиме сверхпластичности

## Выводы

Сплав 1424 хорошо сваривается различными способами сварки (аргоно-дуговой, лазерной, электронно-лучевой, сваркой трением с перемешиванием). Прочность сварных соединений составляет 0,75–0,98 прочности основного материала при высоком уровне пластичности.

Дополнительная термическая обработка по режиму (закалка + искусственное старение) соединений, выполненных аргоно-дуговой сваркой, обеспечивает повышение прочности сварного соединения до 0,95 прочности основного материала.

Стыковые и тавровые сварные соединения имеют высокую коррозионную стойкость при испытаниях на коррозионное растрескивание, общую, межкристаллитную и расслаивающую коррозию.

Необходимая для листов из сплава 1424 закалка на воздухе позволяет совместить процесс формообразования сварных панелей с закалкой, одновременно устраняя сварочные деформации и напряжения.

## **Список литературы:**

1. Фридляндер И.Н., Братухин А.Г., Давыдов В.Г. // Автоматическая сварка. 1992. №6. С. 33–35.
2. Fridlyander J.N., Kolobnev N.I., Grushko O.E., Davydov V.G. // Materials Science Forum. 1997. Vol. 242. P. 249–254.
3. Фридляндер И.Н., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. №1. С. 3–7.
4. Rendigs K.H. // Materials Science Forum. 1997. Vol. 242. P. 11–24.