



# Литейные алюминиевые и магниевые сплавы для авиастроения

В.В. Черкасов

И.А. Заварзин

Январь 1993

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 «Литейное производство», № 6, 1993 г.

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

## **Литейные алюминиевые и магниевые сплавы для авиастроения**

В.В. Черкасов, И.А. Заварзин

*Всероссийский институт авиационных материалов*

Разработана система регламентированного формирования структурно-фазового состояния отливки, предполагающая одновременное воздействие на все основные элементы структуры в процессе многокомпонентного легирования сплавов, оптимизации их состава и производства отливок. С использованием предложенной системы разработаны литейные магниевые (МЛ20-1, МЛ22, ВМЛ14, МЛ19 и т.д.) и алюминиевые (ВАЛ12, ВАЛ14, ВАЛ16) сплавы, каждый из которых по характеристикам надежности и долговечности отвечает требованиям современной техники.

Магниевые сплавы, благодаря высокой прочности и малому удельному весу, успешно применяются в деталях планера, двигателя и агрегатов различных авиационных изделий. В настоящее время в авиационной промышленности используют литейные магниевые сплавы 7 марок, чаще всего применяют сплавы МЛ5, МЛ5пч, МЛ10, МЛ12 (табл. 1 – при литье в песчаные формы). Среди сплавов системы Mg–Al сплав МЛ5 в авиационных деталях постепенно вытесняется сплавом МЛ5пч (повышенной чистоты). Однако даже сплав МЛ5пч, имеющий коррозионную стойкость в 1,5–2 раза выше, чем у сплава МЛ5, не всегда удовлетворяет требованиям конструкторов по уровню этого показателя. Следующим шагом была разработка сплава МЛ20-1, который, практически не уступая по механическим и технологическим свойствам сплаву МЛ5пч, по коррозионной стойкости превосходит его в 2,5 раза. Такой эффект был получен за счет регламентации в процессе плавки вредных примесей и введения микродобавок.

Таблица 1.

Марка сплава	$\sigma_B/d$ , км	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ , %	$T_{\text{раб}}^{\text{max}}$ , °С
		МПа			
МЛ15	12,8	230	85	5	150
МЛ15пч	12,8	230	85	5	150
МЛ20-1	12,0	220	80	6	150
МЛ18	15,0	270	170	4	150
МЛ12	12,6	230	130	5	160
МЛ15	11,5	210	130	3	200
МЛ22	17,0	330	240	6	150

Магниевые литейные сплавы (табл. 1) системы Mg–Zn–Zr обладают улучшенными характеристиками прочности и текучести. В серийном производстве в основном применяются сплавы МЛ8, МЛ12, МЛ15, наиболее высокопрочным из этой системы является МЛ22, обеспечивающий уровень прочности в отливках не ниже 280 МПа.

Самым распространенным жаропрочным литейным сплавом является МЛ10 (Mg–Nd–Zn–Zr), работающий до 250°С (табл. 2). Последняя разработка в этой области – сплав ВМЛ14 (Mg–Y–PЗМ–Zr), не содержащий дорогостоящих легирующих элементов и по уровню жаропрочности превышающий сплавы WE54, МЛ19 и АЛ19. Сплав ВМЛ14 работает при температурах до 325°С, имеет плотность 1,845 г/см<sup>3</sup>, скорость коррозии в 3%-ном растворе NaCl 4 г/м<sup>2</sup> в сутки. Он обладает наилучшей коррозионной стойкостью по сравнению с известными жаропрочными магниевыми сплавами.

Таблица 2.

Жаропрочный сплав	$\sigma_B/d$ , км	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ , %	$\sigma_{100}^{250}$	$\sigma_{100}^{300}$	$T_{\text{раб}}^{\text{max}}$ , °С
		МПа			МПа		
МЛ19	13,1	230	110	4,0	80	–	250–300
МЛ10	12,9	230	140	3,0	70	–	250
МЛ19	12,3	220	120	4,0	115	60	300
МЛ21	15,0	270	150	4,0	100	50	250
ВМЛ14	14,6	270	165	3,0	130	70	325

Расширение применения бесфлюсовой плавки, отработка ее режимов, оптимизация модифицирования и подбор новых модификаторов, введение

фильтрации через керамические фильтры при заливке форм позволили стабилизировать уровень свойств, достигаемый в отливках из магниевых сплавов. Типичные свойства отливок из магниевых сплавов, применяемых в авиастроении, приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Марка сплава	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
МЛ5пч (З + Т4)	20–24	4–6
МЛ20-1 (З + Т4)	18–23	3–7
МЛ8 (З + Т6)	27–29	3–6
МЛ22 (З + Т6)	28–30	4–6
(З + Т61)	29–32	4–6
МЛ10 (З + Т6)	20–24	5–7
(К + Т6)	23–26	6–9
ВМЛ14 (З + Т61)	26–29	4–7
(К + Т61)	27–30	5–10

Примечание: В скобках приведены способы литья (З – литье в песчаные формы, К – в кокиль) и режим термообработки.

Литейные алюминиевые сплавы нашли значительно более широкое применение в конструкциях авиационной техники, чем магниевые. В настоящее время используются алюминиевые сплавы более 15 марок. Среди них наиболее перспективными являются ВАЛ12, ВАЛ14, ВАЛ16 (табл. 4). Наиболее высокопрочный литейный алюминиевый сплав ВАЛ12 (Al–Zn–Mg–Cu) может успешно конкурировать не только с деформируемыми алюминиевыми сплавами, но и с малоуглеродистыми сталями, бронзами, латунями. Сплав обладает удовлетворительными литейными свойствами и коррозионной стойкостью (общей и под напряжением), предназначен для производства деталей, к которым предъявляются повышенные требования по характеристикам надежности (прочности, текучести, усталости). Температура эксплуатации деталей из сплава ВАЛ12 может достигать 200°C (длительно) и 250°C (кратковременно).

Таблица 4.

Марка сплава	20°C						200°C/300°C	
	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{-1}$	НВ	$\delta$ , %	$a_n$ , кгс·м/см <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
	МПа							
ВАЛ16 (З)	300	180	80	85	8	2,5	–/–	–/–
АЛ9-1 (К)	320	240	80	75	8	0,6	210/–	4/–
АЛ5-1 (К)	360	290	100	75	6	0,5	260/135	5/6
АЛ34 (К)	340	270	75	95	4	0,35	230/110	5/5,5
ВАЛ8 (К)	430	350	110	115	5	0,6	300/130	9/11
ВАЛ10 (З)	450	320	90	110	6	1,5	340/170	4/6
ВАЛ14 (З)	450	380	90	110	6	1,2	320/160	6/6
(К)	520	450	120	120	6	2,0	360/170	6/8
ВАЛ (ЖШ)	590	520	100	130	5	0,6	390/–	11/–

Примечание: В скобках приведен способ литья (ЖШ – жидкая штамповка).

Высокопрочный и жаропрочный сплав ВАЛ14 (Al–Cu–Mn) сочетает высокие прочностные и пластические характеристики, необходимые для отливок, испытывающих динамические и вибрационные нагрузки. Сплав ВАЛ14 предназначен для литья в песчаные формы, по выплавляемым моделям и в кокиль (несложных деталей), обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью и не склонен к коррозии под напряжением.

Свариваемый коррозионностойкий сплав ВАЛ16 (Al–Mg) предназначен для производства отливок и литодеформированных сварных соединений, работающих при длительных нагревах (до 150°C) и всеклиматических условиях эксплуатации. По сравнению со стандартными магниями ВАЛ16 имеет повышенные механические свойства отливок и сварных соединений (коэффициент ослабления сваркой равен единице), значительно более высокий (в 2 раза) уровень рабочих температур, жаропрочности (в 1,5 раза) и литейных свойств. Хорошие литейные свойства практически исключают образование горячих трещин при литье и сварке и позволяют получать фасонные детали в металлических формах с затрудненной усадкой (кокиль, под давлением и т.д.).

Структурно-фазовое состояние алюминиевых отливок зависит от способа литья, им определяются состав и морфология вторых фаз, размер зерна и дендритных ячеек, газоусадочная пористость и т.п. Например, при жидкой

штамповке ряда деталей из сплава ВАЛ12 удалось достичь особо высоких значений механических свойств ( $\sigma_B=600$  МПа,  $\sigma_{0,2}=550$  МПа;  $\delta=8\%$ ,  $\sigma_{-1}=160$  МПа), контролируемых по вырезанным образцам.

За последние годы ВИАМ и НИАТ разработали и внедрили на заводах отрасли точные методы литья заготовок из алюминиевых и магниевых сплавов, в том числе под высоким и низким давлением, по выплавляемым моделям и жидкой штамповкой. На новые технологические процессы выпущена техническая документация (отраслевые стандарты, РТМ, инструкции, ТР, директивные технологии). Наибольшее развитие получил метод литья под высоким давлением. Для него созданы специальные высокотехнологичные сплавы, в том числе алюминиевый сплав ВАЛ8 и магниевый ВМЛ11. Литьем под давлением получают термически упрочняемые детали, созданы технология и оборудование для бесфлюсовой плавки и разливки магниевых сплавов. Типичные свойства образцов из литейных алюминиевых и магниевых сплавов, полученных методом литья под давлением, приведены ниже (четыре первых сплава – литые образцы, два последних – вырезанные из отливок образцы).

	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
АЛ9-1.....	200	1,5
АЛ34.....	210	2,5
АЛ32.....	270	3,0
ВАЛ8.....	320	2,5
МЛ5.....	220	2,0
МЛ23.....	230	3,0

Дополнительные физико-химические методы обработки обеспечивают повышение долговечности литых деталей. Для литейных алюминиевых сплавов, применяемых в агрегатостроении (АЛ9М, АЛ5, АЛ32), и перспективного сплава ВАЛ15 разработаны параметры высокотемпературной газостатической обработки (ВГО), а также термовременные режимы упрочняющей обработки. Подобная технология обеспечивает уплотнение отливок до первого балла пористости по шкале ВИАМ, повышение характеристик надежности ( $\sigma_{-1}$ ,  $a_n$ ) на 20%, пластичности

– на 50% при стабилизации повышенных значений прочности. ВГО с последующей термообработкой выравнивает поля напряжений по всему сечению отливки, что также увеличивает ресурс эксплуатации изделий.

В заключение следует отметить, что внедрение новых литейных алюминиевых и магниевых сплавов и технологических процессов получения и обработки отливок из них позволяет получить значительный технический и экономический эффект, обеспечить конкурентоспособность не только изделий авиационной техники, но и продукции других отраслей народного хозяйства, в том числе и товаров народного потребления.