



Литейные алюминиевые и магниевые сплавы для авиастроения

В.В. Черкасов

И.А. Заварзин

asia-td.ru

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.

asia-td.ru

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Литейное производство», № 6, 1993 г.

Электронная версия доступна по адресу: 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 | σ_B/d , км | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | δ , % | $T_{\text{раб}}^{\text{max}}$, °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/см³, скорость коррозии в 3%-ном растворе NaCl 4 г/м² в сутки. Он обладает наилучшей коррозионной стойкостью по сравнению с известными жаропрочными магниевыми сплавами.

Таблица 2.

| Жаропрочный сплав | σ_B/d , км | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | δ , % | σ_{100}^{250} | σ_{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 | σ_b , МПа | δ , % |
|-----------------|------------------|--------------|
| 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 | |
|--------------|------------|----------------|---------------|-----|-----------------|----------------------------------|------------------|--------------|
| | σ_B | $\sigma_{0,2}$ | σ_{-1} | НВ | δ , % | a_n , кгс·м/см ² | σ_B , МПа | δ , % |
| | 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).

| | σ_B , МПа | δ , % |
|------------|------------------|--------------|
| 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 (σ_{-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.

asia-td.ru