

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хорев А.И., Мухина Г.П., Жегина И.П.* Влияние редкоземельных элементов на свойства титановых сплавов / В сб.: Легирование и термическая обработка титановых сплавов. М.: ВИАМ. 1977. С. 106–114.
2. *Кацук В.А., Светлов М.Б.* Исследование некоторых свойств сплава ВТ5Л с добавлением редкоземельных элементов / В сб.: Труды 3-й Международной конф. по титану. 1978. С. 311–367.
3. *Ночовная Н.А., Рябчиков А.И.* Влияние дозы облучения при имплантации ионов гафния на физико-химическое состояние поверхностных слоев и механические свойства жаропрочных титановых сплавов // Поверхность. Физика, химия, механика. 1993. № 5. С. 132–136.
4. *Nochovnaya N., Shulov V., Remnev G.* Modification of the properties of aircraft engine compressor blades by uninterrupted and pulse-ion beams // Surface and coatings technology. 1997. SCT-3306. P. 1–6.
5. *Хорев А.И.* Комплексное легирование и термомеханическая обработка титановых сплавов: Учеб. пособие. М.: Машиностроение. 1979. 228 с.
6. *Хорев А.И.* Разработка теоретических и практических основ повышения конструкционной прочности титановых сплавов путем комплексного легирования и микролегирования / В сб.: Ti–2007 в СНГ. 2007. С. 226–234.
7. *Хорев А.И.* Теория и практика разработки композиционных слоистых материалов из титановых сплавов / В сб.: Ti–2006 в СНГ. 2006. С. 336–341.
8. *Хорев А.И.* Разработка теоретических и практических основ повышения конструкционной прочности титановых сплавов термической, термомеханической обработкой и текстурным упрочнением / В сб. Ti–2007 в СНГ. 2007. С. 423–430.
9. *Хорев А.И.* Теория и практика создания современных комплексно-легированных титановых сплавов / В сб.: Ti–2009 в СНГ. 2009. С. 288–302.
10. *Хорев А.И.* Создание теоретических и практических основ получения высокой и сверхвысокой конструкционной прочности перспективных титановых сплавов / В сб.: Ti–2009 в СНГ. 2009. С. 302–315.
11. *Хорев А.И.* Теоретические и практические основы создания современных конструкционных титановых сплавов и технологий для авиакосмической и ракетной техники // Авиационные материалы и технологии. Вып. «Перспективы развития и применения титановых сплавов для самолетов, ракет, двигателей и судов: Сб. докл. 2007. С. 23–40.

*И.С. КОРНЫШЕВА, Е.Ф. ВОЛКОВА,
Е.С. ГОНЧАРЕНКО, И.Ю. МУХИНА*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИЕВЫХ И ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В настоящее время магниевые сплавы вызывают у конструкторов авиационной и космической техники особый интерес. За последние 15–20 лет производство первичного магния в мире практически удвоилось и достигло 500–550 тыс. тонн в год. Магниевые сплавы являются не только самым легким конструкционным металлом, но и остаются единственным конкурентом конструкционных пластмасс по весовым характеристикам, обладая при этом существенными преимуществами.

Деформируемые магниевые сплавы – в настоящее время наиболее легкие конструкционные материалы на металлической основе, обладаю-

щие высокой удельной прочностью и удельной жесткостью, хорошими демпфирующими характеристиками, технологичностью, свариваемостью. В последние годы мировое производство и потребление этих материалов постепенно возрастают. Основное применение магниевые деформируемые сплавы находят в конструкциях летательных аппаратов различного назначения, в автомобилестроении, электронике, приборостроении, энергетике и др. [1].

За рубежом в настоящее время особое внимание уделяется разработке экологически чистых недорогих технологичных сплавов с удельной прочностью $>15\text{--}17$ км (усл. ед.).

Первые отечественные деформируемые магниевые сплавы (МА1, МА2) по своему составу достаточно близки к зарубежным сплавам немецкого и американского производства. Уровень механических свойств деформированных полуфабрикатов сплавов того времени невысок: $\sigma_B \approx 200\text{--}240$ МПа, $\sigma_{0,2} \approx 100\text{--}160$ МПа.

В начале 70-х годов осуществляется разработка новых деформируемых магниевых сплавов [2, 3].

Накоплен большой опыт применения деформируемых магниевых сплавов МА14, МА15, МА2-1, МА22 в изделиях авиакосмической техники, ракетостроении (детали управления, детали кресел самолетов, посадочных устройств, фюзеляжей ракет и т.д.). Отечественные космические программы выполнялись с использованием деформируемых магниевых сплавов МА2-1, МА12, МА15 и других в конструкциях космических аппаратов по программам: «Восток», «Восход», «Союз», «Луна», «Венера» (рис. 1). Сплавы применялись как на изделиях военного назначения, транспортных самолетах, так и в конструкции гражданских самолетов, причем объем применения магниевых деформируемых сплавов на гражданских самолетах ОАО «Туполева» (рис. 2) доходил до 780–800 кг на изделие [4].

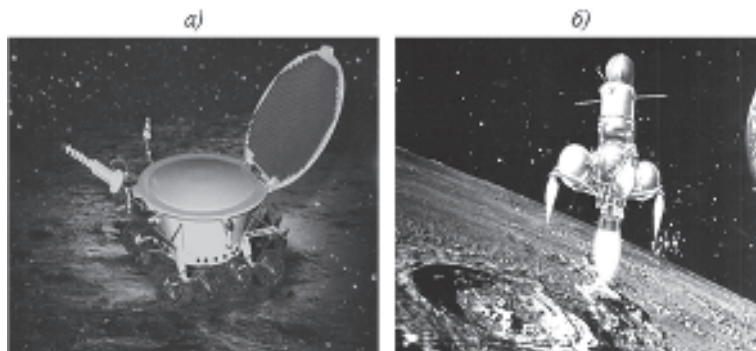


Рис. 1. Применение магниевых деформируемых сплавов в конструкциях лунохода (а) и аппарата для доставки на Землю образцов лунного грунта «Луна-16» (б)

В начале 90-х годов впервые исследован процесс гидроэкструзии и разработаны основы технологии деформации высокопрочных магниевых сплавов МА14, МА22 этим методом. Применение указанной технологии позволило получить на прессованных полуфабрикатах этих сплавов очень высокие прочностные характеристики: $\sigma_B = 390\text{--}405$ МПа, $\sigma_{0,2} \approx 340\text{--}350$ МПа при сохранении $\delta = 5\text{--}7\%$ (рис. 3).



Рис. 2. Самолет фирмы ОАО «Туполев»

Разрабатываются также новые технологии деформации применительно к магниевым сплавам, например, сверхпластическая деформация (СПД), технология высокоскоростной кристаллизации сплавов. Эти технологии дают возможность изготавливать деформированные полуфабрикаты с высокими

характеристиками прочности (σ_B – до 450 МПа, $\sigma_{0,2}$ – до 370 МПа) и очень малой их анизотропией (не более 5–7%) [5].

Одновременно ведутся изыскания в области новых композиций. Так, на основе системы Mg–Zn–Zr–РЗМ в последние годы разработаны наиболее перспективные сплавы.

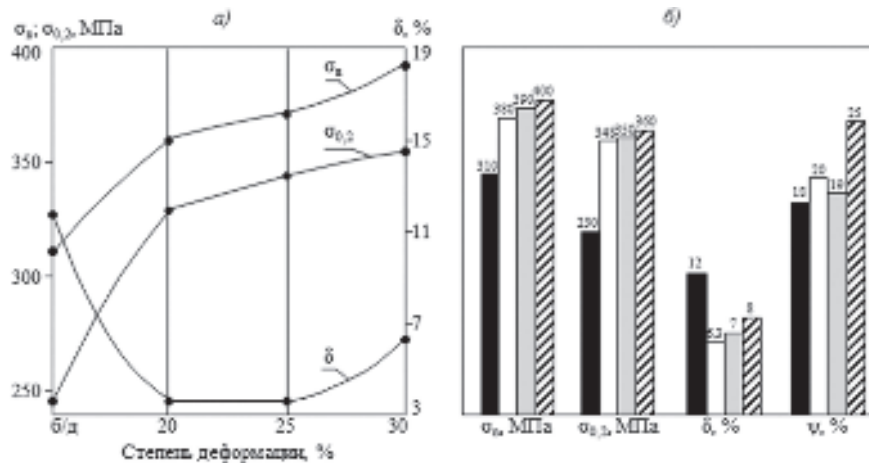


Рис. 3. Повышение механических свойств (■ – исходное горячепрессованное состояние) прутков сплава МА14 при одноступенчатой (а) и двухступенчатой (б) гидроэкструзии в зависимости от степени деформации (в %): 15 + 20 (□), 15 + 25 (▣) и 15 + 30 (▤)

Наряду с высокопрочным жаропрочным свариваемым сплавом МА22 (ВМД10), обладающим уникальным сочетанием физико-механических характеристик и не имеющим аналогов до настоящего времени ($\sigma_B \approx 335\text{--}350$ МПа, $\sigma_{0,2} \approx 240\text{--}260$ МПа, $\sigma_{B,св} \approx 305$ МПа, $\delta = 8\text{--}15\%$, удельная прочность $\sim 18,4$ км (усл. ед.)), создан новый высокотехнологичный сплав МА20-СП средней прочности. По своим характеристикам этот сплав превосходит известные серийные магниевые сплавы аналогичного назначения МА2-1, МА8, МА20, AZ31В (США), ZE10А (США). Удельная прочность сплава МА20-СП (15,4 км (усл. ед.)) сопоставима с удельной прочностью алюминиевого сплава Д16 (аналог – сплав 2024, США). На 33-м Международном Салоне изобретений в Женеве (апрель 2005 г.) разработки сплава отмечены дипломами и награждены серебряной медалью.

Новый высокопрочный сплав ВМД15 характеризуется высокими прочностными свойствами тонких листов (1–2 мм): $\sigma_B \approx 305\text{--}310$ МПа, $\sigma_{0,2} \approx 240\text{--}250$ МПа при $\delta = 8\text{--}12\%$. Удельная прочность (16,5 км (усл. ед.))

листовых полуфабрикатов из сплава ВМД15 превосходит аналогичную характеристику для серийных деформируемых алюминиевых сплавов-аналогов (13–15 км (усл. ед.)).

Результаты исследования фазового состава позволили установить, что в сплавах систем Mg–Zn–Zr и Mg–Zn–Zr–PЗМ высокодисперсные наноразмерные интерметаллиды Zr_3Zn_2 , Mg_2Zn_3 , а также частицы гидрида циркония ϵ -ZrH₂ (в незначительном количестве) достаточно равномерно распределяются как в объеме, так и по границам зерен (рис. 4). Это способствует получению высоких технологических и пластических свойств данных сплавов.

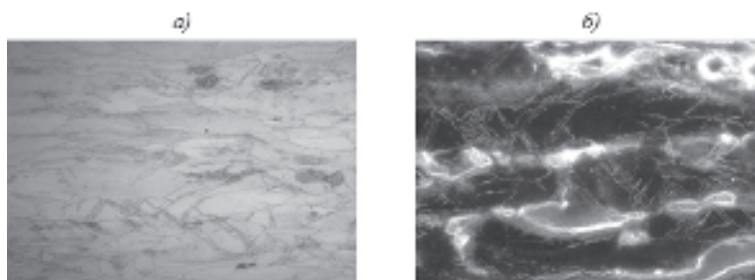


Рис. 4. Микроструктура прессованного прутка из сплава МА14 системы Mg–Zn–Zr: а – без термообработки; б – в поляризованном свете с выделенными в объеме зерен наночастицами цинк-циркониевых интерметаллидов по линиям двойников

Литейные магниевые сплавы – одни из наиболее легких конструкционных материалов. Основные преимущества литейных магниевых сплавов – малая плотность (1800–1900 кг/м³), высокая удельная прочность, жесткость, виброустойчивость, позволяющие применять литые детали в конструкциях авиакосмической и военной техники, спутниковых систем, энергетических и газоперекачивающих установок, оптических приборов и др. В настоящее время страны Европы, Китай, Канада, Израиль расширяют использование магния, что обусловлено специальными свойствами сплавов и возможностью снижения массы конструкции.

Ввиду того, что магниевые сплавы в 1,5 раза легче алюминиевых сплавов, в 4 раза легче стали и чугуна, их применение дает снижение весовых характеристик изделий на 25–30% [6–9]. Специалистами ВИАМ разработано более 17 марок высокопрочных, коррозионностойких, жаропрочных литейных магниевых сплавов, обладающих различными эксплуатационными характеристиками.

Механические свойства высокопрочных литейных магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr

Сплав	Плотность, кг/м ³	Удельная прочность, км (усл. ед.)	σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ , %
			МПа		
МЛ12	1860	12,5	230	120	5
МЛ8	1860	14,0	265	165	4
ВМЛ20	1865	16,0	300–310	200–210	4,5–5
ВМЛ24	1938	17,0	320–330	240–245	4–5

Наиболее высокую удельную прочность и плотность имеют сплавы системы Mg–Zn–Zr (см. таблицу). Разработки в этой области направлены на исследование и создание магний-циркониевых сплавов нового поколения, легированных редкоземельными металлами, серебром и другими микродобавками.

Сплавы ВМЛ20 и ВМЛ24 содержат в своем составе цинк, цирконий и микродобавки ниобия, кадмия, висмута, РЗМ, что позволяет в термически обработанном состоянии Т61 обеспечить высокие прочностные характеристики и коррозионную стойкость сплава. Предел прочности после термической обработки повышается с 220–250 МПа до 300–330 МПа.

Микроструктуру сплава ВМЛ20 в литом, термообработанном по режиму Т61 состоянии и донный слив (рис. 5) исследовали методом микро-рентгеноспектрального анализа (МРСА) на аппарате «Суперпроб-733» фирмы «JEOL» (Япония), а также на растровом электронном микроскопе JSM-840 с энергодисперсионным анализатором «Link»*.

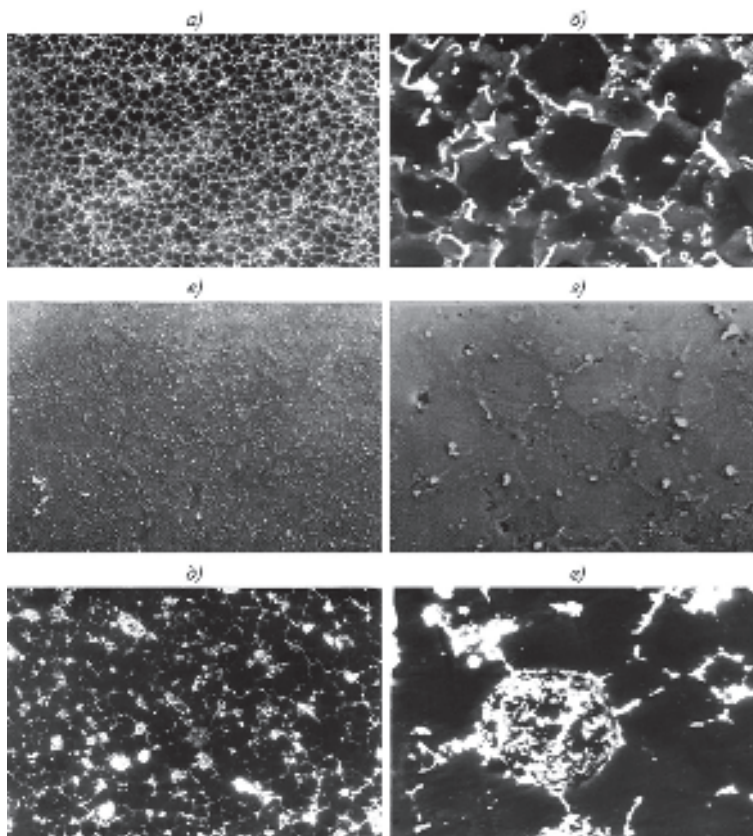


Рис. 5. Микроструктура (*а, в, д* – $\times 100$; *б, г, е* – $\times 600$) сплава ВМЛ20 в литом состоянии (*а, б*), в термообработанном по режиму Т61 (*в, г*) и донного слива в литом состоянии (*д, е*)

* Исследования проведены Е.Б. Чабиной и Е.В. Филоновой.

Установлено, что в литом состоянии зерно сплава содержит следующие элементы: Mg, Zn, Cd, Bi, Zr. Край зерна содержит: Mg, Zn, Cd, Bi. При увеличении содержания ниобия в сплаве, он обнаружен в зерне и крае зерна. Белые включения по границам зерен состоят из Mg, Zn, Cd, Zr, Nb, Bi. Анализ донных сливов сплава показал, что зерно сплава и край зерна в литом состоянии состоят из Mg и небольшого количества Zn, Zr, Cd, Bi. Белые включения по границам зерна содержат Mg, Zn, Zr, Nb, Fe и незначительное количество Bi, Cd.

В процессе исследования и разработки режимов термической обработки с целью получения максимальных свойств был изучен фазовый состав высокопрочного литейного сплава ВМЛ20. Проводились исследования фазового состава и рентгеноструктурный анализ на дифрактометре D/МАХ-2500 фирмы «Rigaku» с применением программного обеспечения и базы данных PDF-2*.

В литом состоянии в сплаве содержатся: фазы Mg_2Zn_3 , Mg_2Zn , циркониды с цинком $ZnZr$, Zn_2Zr_3 , Zn_2Zr и гидрид циркония ZrH_2 . После термической обработки по режиму Т61 метастабильная фаза $ZnZr$ растворяется, образуется высокодисперсная фаза Лавеса на основе соединения Zn_2Zr . Размер частиц фазы Zn_2Zr не превышает 100–200 нм.

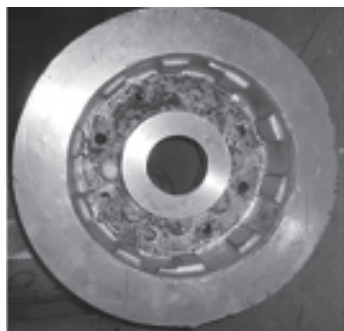
При исследовании структуры сплава ВМЛ20 с малыми добавками кадмия, ниобия, висмута установлено, что состав сплава и выбранный режим термической обработки Т61 (ступенчатая закалка в горячую воду с последующим старением) обеспечивают мелкозернистую регламентированную структуру. Микроструктура сплава представляет зерна α -твердого раствора цинка, кадмия, висмута и частично циркония в магнии с незначительным количеством вторичных фаз, выделяющихся в коагулированном состоянии по границам зерен. Наличие высокодисперсной термостабильной фазы Лавеса Zn_2Zr обеспечивает структурное упрочнение и высокие характеристики: $\sigma_b = 300\text{--}310$ МПа, $\sigma_{0,2} = 200\text{--}210$ МПа.

Сплав ВМЛ24, имеющий предел прочности $\sigma_b = 320\text{--}330$ МПа и высокий предел текучести $\sigma_{0,2} > 210$ МПа, разработан в процессе дальнейшего микролегирования системы Mg–Zn–Zr. Полученный уровень механических свойств превосходит уровень свойств отечественных и зарубежных сплавов аналогичного применения по пределу прочности: промышленный сплав МЛ5 – на 30%; сплавы МЛ8 (Россия), ZK61 (США), MRI 1153М, MRI 201S (Израиль), WE43 (Англия) – на 18–25%. По пределу текучести сплав ВМЛ24 превосходит сплав МЛ5 – в 2,8 раза и сплавы МЛ8 и ZK61 – на 30–35%. Удельная прочность сплава ВМЛ20 составляет 16 км (усл. ед.); сплава ВМЛ24: 17 км (усл. ед.).

Высокопрочные литейные магниевые сплавы ВМЛ20 и ВМЛ24 рекомендованы (в зависимости от условий эксплуатации) для литых нагруженных деталей самолетов, вертолетов, космических аппаратов, двигателей, авиаколес, кронштейнов, ферм, коробок скоростей, корпусов, работающих при комнатной и повышенных до 150°C температурах, а также для изделий, кратковременно эксплуатирующихся при температурах до 200°C. Потенциальные потребители новых сплавов: ОАО «Тупо-

* Исследования выполнены Г.И. Морозовой и Н.А. Колмыковой.

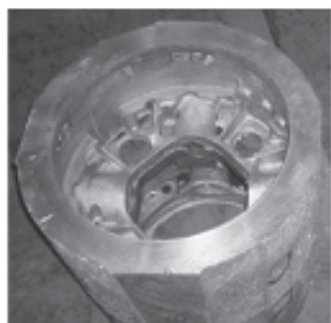
лев» – для модификаций самолета Ту-204 (см. рис. 2), ОАО Корпорация «ИРКУТ» – для самолета МС-21, РКК «Энергия» им. С.П. Королева – для системы ГЛОНАСС и др. космических аппаратов (рис. 6).



Барaban авиаколеса (заливка в кокиль, масса 163,3 кг)



Кронштейн (заливка в ПГС, масса 4,8 кг)



Отсек (заливка в кокиль, масса 176 кг)



Корпус агрегата (заливка в ПГС, масса 59 кг)

Рис. 6. Фасонные отливки из новых литейных магниевых сплавов ВМЛ18, ВМЛ20 и ВМЛ24

Применение высокопрочного литейного магниевых сплава ВМЛ24 с удельной прочностью 16,8–17 км (усл. ед.) в деталях самолетов и вертолетов обеспечит снижение массы на 10–20% за счет уменьшения толщины стенок, увеличение их эксплуатационного ресурса, снижение стоимости на 20–25% при использовании энергосберегающих технологий и сокращении трудоемкости изготовления деталей [7, 10].

В ВИАМ разработаны новые составы противопригарных присадочных материалов [8, 11]*.

Производство отливок в разовые формы из песчано-глинистых смесей (ПГС) является наиболее распространенным технологическим процессом в нашей стране. Тенденции развития литейного производства свидетельствуют о том, что для фасонного литья из магниевых сплавов малых серий технологии с применением ПГС останутся доминирующими в обозримом будущем.

* Разработчики: Е.Н. Каблов, И.Ю. Мухина, З.П. Уридия, В.В. Степанов, В.А. Дуюнова.

Значение сверхлегких магниевых сплавов возрастает из года в год, однако специфические особенности магния создают определенные затруднения при проведении технологических процессов производства магниевых отливок.

В последнее время специалистами ВИАМ разработана и применяется в промышленности защитная присадка ВМ-У. Состав этой присадки удовлетворительно защищает от окисления и загорания литые детали из магниевых сплавов в процессе их литья в ПГС.

С целью улучшения технологических свойств защитной присадки проведен поиск новых компонентов и составов противопопригарных присадочных материалов*.

Основными характеристиками, определяющими пригодность компонентов для присадочных материалов в ПГС, являются: температура плавления, температура разложения, токсикологические характеристики веществ, образующихся при разложении компонентов, и их способность предотвращать загорание в процессе заливки ПГС жидкими магниевыми сплавами.

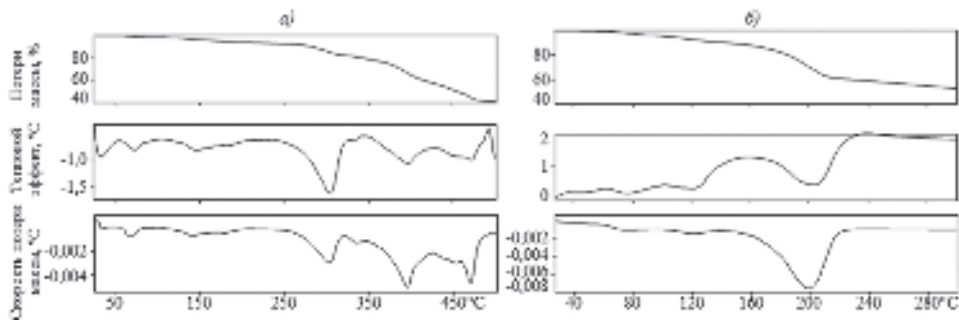


Рис. 7. Результаты термогравиметрического анализа противопопригарного присадочного материала с боратами, аминами, сульфатами, а также с аммонийными солями (а) и фтористым алюминием (б)

Изучены механизмы защиты магниевого расплава от окисления и загорания в форме с помощью следующих методов:

- образование газовой изоляционной прослойки между отливкой и формой;
- образование на поверхности отливки инертной пленки;
- увеличение скорости теплоотдачи наружными стенками отливки;
- комбинированное действие этих методов.

Термогравиметрическим методом исследованы и установлены температуры деструкции и газовыделения разработанных присадочных материалов, предотвращающих взаимодействие расплавленного магния с материалом формы и кислородом воздуха.

Выбранные компоненты присадочных материалов, разлагаясь, выделяют защитные газы CO_2 , NH_3 , SO_2 или химически взаимодействуют с кристаллизующейся поверхностью отливок и этим защищают ее от окисления и загорания (рис. 7). Большая часть рекомендованных компонентов присадочных материалов не содержит кристаллизационную

* Работа выполнена В.А. Дюновой.

воду, что способствует получению качественных отливок без поверхностных дефектов (оксидов, шлаков и т.д.).

В результате проведенной работы разработаны и рекомендованы новые составы противопригарных материалов с пониженной гигроскопичностью (1,0–2,5% вместо 4–5%), обеспечивающие предотвращение загорания отливок в песчано-глинистых формах, повышение чистоты поверхности отливок с $R_z = 160\text{--}320$ мкм до $R_z = 40\text{--}60$ мкм, выход годного – до 85%.

При выборе компонентов присадочных материалов руководствовались их физико-химическими свойствами, стоимостью и наличием отечественного сырья. В ВИАМ организован экспериментально-производственный участок по изготовлению присадочных материалов мощностью ≥ 10 т/год.

Присадочные материалы применяются для получения качественного магниевого литья ответственного назначения: турбин, корпусов вентиляторов, редукторов, генераторов, приборных рам, кронштейнеров и др., которые используются в элементах конструкций ракетно-космической техники, агрегатов и двигателей вертолетов Ми-18, Ми-26, Ми-38, Ка-50, самолетов Ту-204, Ил-96-300М, энергетических и газовых установок.

За 2006–2011 годы в лаборатории магниевых и литейных алюминиевых сплавов проведены работы, направленные на повышение качества отливок, изготовленных различными методами литья: в формы из холоднотвердеющих и песчано-глинистых смесей, в кокиль, под высоким и низким давлением.

Одним из основных требований, предъявляемых к таким деталям, является обеспечение необходимой степени герметичности в течение всего периода эксплуатации изделия. Причинами течи отливок могут быть газоусадочная пористость, неметаллические включения, микрорыхлота.

В соответствии с технической документацией на фасонные отливки из магниевых и алюминиевых сплавов пористость подлежит устранению различными способами герметизации. С этой целью для наиболее широко применяющихся магниевых сплавов МЛ5, МЛ10 и алюминиевых сплавов АЛ9, ВАЛ10 исследована эффективность новых и известных пропитывающих составов: компаунда КП-ГС-55 (запатентован как эффективный герметик для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов); анаэробного клея-герметика Анакрол-204; пропиточных составов Анакрол-90, Анакрол-2501, Анакрол-2505; анаэробного герметика Ана-терм-1у; композиции Ана-терм-ПК-80, – выпускаемых отечественными производителями для герметизации литья из легких сплавов. Разработаны технологические параметры герметизации методами вакуум-давления и капиллярного всасывания. Исследовано влияние предельных рабочих температур (-60 и $+250^\circ\text{C}$) на герметичность образцов сплавов после их пропитки указанными составами. Проблемной является также адгезия лакокрасочных покрытий к пропитанной герметиком поверхности. Предложены способы удаления пропитывающего материала, обеспечивающие адгезию лакокрасочных покрытий к поверхности отливок и типичную коррозионную стойкость сплавов МЛ5, МЛ10, АЛ9, ВАЛ10 в изделиях. Проведенные ресурсные испытания пропитанных образцов на воздухе, в масле Б-3В (при температуре 150°C) и в масле ИПМ-10 (при температуре 200°C) показали эффективность пропитки образцов исследованными герметиками.

В результате выполненных исследований разработана научно-техническая документация, которая является руководством по герметизации

отливок из алюминиевых и магниевых сплавов различными методами в зависимости от величины пор и условий эксплуатации изделий.

Литейные алюминиевые сплавы занимают прочное место среди конструкционных материалов благодаря сочетанию высокой удельной прочности, коррозионной стойкости, хорошей технологичности и широко применяются в различных областях машиностроения. В самолетостроении, где предъявляются особые требования к надежности узлов и деталей, находят применение высококачественные, надежные в эксплуатации детали, отлитые из алюминиевых сплавов. Также удалось добиться значительных успехов в области разработки литейных алюминиевых сплавов и производства из них фасонных отливок, отвечающих, в первую очередь, требованиям авиакосмической техники. Это стало возможным благодаря изучению новых и систематизации известных научно-теоретических и технологических положений регламентированного формирования структурно-фазового состояния отливок.

За последние годы проведены:

– разработка технологии герметизации отливок из алюминиевых сплавов новыми пропитывающими материалами для изделий энергетики и машиностроения;

– исследования и оценка качества отливок для стандартных образцов, однородности по химическому составу, структуре и свойствам, с последующими аттестацией и выпуском (освоено производство и поставка) государственных стандартных образцов (ГСО) из сплава АЛ9.

Комплекты ГСО из литейного алюминиевого сплава АЛ9 предназначены для металлургических, машиностроительных предприятий, институтов в качестве образцов-эталонов, позволяющих определять методом спектрального анализа химический состав сплава по основным компонентам и примесям. Разработаны и выпущены ТИ по технологии производства полуфабрикатов для ГСО для литейного алюминиевого сплава АЛ9. Технологическая инструкция является руководством по технологическому процессу плавки, литья и обработки заготовок, предназначенных для изготовления стандартных образцов. Разработаны и выпущены ТУ, предназначенные для проведения контроля химического состава полуфабрикатов и готовой продукции спектральными методами.

В настоящее время разрабатывается новый высокопрочный технологичный литейный алюминиевый сплав с оптимальным сочетанием свойств для литья в песчаные формы отливок сложной конфигурации вместо серийного сплава ВАЛ10. Целью и задачей данной работы является разработка высокопрочного литейного алюминиевого сплава системы Al–Cu–Mg с жидкотекучестью 300 мм, повышенными прочностью и пластичностью по сравнению со сплавами-аналогами: АЛ5 и АЛ9 (Россия), 206.0 (США), а также обеспечение уровня свойств для опытно-промышленных отливок габаритом до 800 мм: $\sigma_B \geq 420$ МПа, $\delta \geq 7\%$ – для литья фасонных отливок сложной конфигурации деталей внутреннего набора (корпуса, кронштейны, качалки).

Технологические и эксплуатационные возможности литейных алюминиевых сплавов определяют перспективность их использования в качестве конструкционных материалов во многих отраслях машиностроительного комплекса. По мнению зарубежных специалистов, XXI век можно рассматривать как эпоху материалов на основе алюминия и магния. ВИАМ вступает в XXI век с новыми успешными разработками и научными идеями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Металловедение магния и его сплавов. Области применения: Справочник / Под. ред. М.Б. Альтмана, М.Е. Дрица, М.А. Тимоновой и др. Ч. 1. М.: Metallurgia. 1978. 231 с.*
2. *Волкова Е.Ф., Морозова Г.И. Структурно-фазовое состояние и свойства цирконийсодержащего магниевого сплава МА14 // МетТом. 2006. №1. С. 24–28.*
3. *Волкова Е.Ф. Современные деформируемые сплавы и композиционные материалы на основе магния // МетТом. 2006. № 11. С. 5–9.*
4. *Садков В.В., Лапонов Ю.Л., Агеев А.П. и др. Перспективы и условия применения магниевых сплавов в самолетах ОАО «Туполев» // Metallurgia машиностроения. 2007. № 4. С. 19–23.*
5. *Волкова Е.Ф., Моисеев Н.В. Особенности деформации высокопрочных магниевых сплавов в режиме сверхпластичности / В сб.: Авиационные материалы и технологии. Вып. «Перспективные магниевые и титановые сплавы для авиакосмической техники». М.: ВИАМ. 2002. С. 136–142.*
6. *Мухина И.Ю., Журнов А.Д., Степанов В.В., Уридия З.П. Литейные магниевые сплавы для авиастроения / В сб.: Авиационные материалы и технологии. М.: ВИАМ. 2002. С. 71–75.*
7. *Мухина И.Ю., Степанов В.В., Уридия З.П. Влияние технологии плавки и литья на свойства магниевых сплавов / Сб. тезисов докл. «Проблемы создания новых материалов для авиакосмической отрасли в XXI веке». 2001. С. 74.*
8. *Каблов Е.Н., Мухина И.Ю., Корчагина В.А. Присадочные материалы для формовочных смесей при литье магниевых сплавов // Литейное производство. 2007. № 5. С. 15–18.*
9. *Мухина И.Ю., Уридия З.П. Магний – основа сверхлегких материалов // Metallurgia машиностроения. 2005. № 6. С. 29–31.*
10. *Волкова Е.Ф., Мухина И.Ю. Новые материалы на магниевой основе и высокоресурсные технологии их производства // Технология легких сплавов. 2007. № 2. С. 28–34.*
11. *Дуюнова В.А. Новые составы и технология получения противопригарных присадочных материалов для производства магниевого литья, применительно к изделиям авиакосмической техники: Автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н. М. 2008. 27 с.*

В.С. КАСЬКОВ

БЕРИЛЛИЙ И МАТЕРИАЛЫ НА ЕГО ОСНОВЕ

В настоящее время в России производство бериллия и бериллиевых сплавов существенно снизилось, что обусловлено в основном причинами исторического характера: с распадом СССР рудник принадлежит России, а производство бериллия и изделий из него, которое практически прекращено, находится в Казахстане. Сегодня осваивается производство бериллия на заводе «Базальт» (г. Саратов), что, очевидно, даст новый импульс развитию исследований в области металлургии и металлофизики бериллия. В США ~65% потребления бериллия приходится на сплавы системы Ве–Си, в которых содержится в среднем 2% Ве.

Сочетание высокой прочности, коррозионной стойкости и отсутствие ферромагнитных свойств позволяют использовать бериллиевую бронзу