

УДК 669.721.5

Н.В. Трофимов¹, А.А. Леонов¹**ПРОТИВОПРИГАРНЫЕ ПОКРЫТИЯ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ ИЗ ХТС,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ЛИТЬЕ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-10-10

Рассмотрены противопригарные защитные покрытия, предотвращающие налипание материала формы на металлическую поверхность отливки, что обеспечивает ее легкое извлечение. Основной задачей противопригарного покрытия является снижение пригара формы или стержня к отливкам. Для этого используют материалы на водной или спиртовой основе. Краски для форм и стержней из холодно-твердеющих смесей содержат склеивающие добавки и огнеупорные компоненты, что позволяет увеличить прочность рабочей поверхности и снизить осыпаемость форм и стержней. Наносятся покрытия с помощью кисти или пульверизатора, стержни окрашиваются в один слой, а формы в зависимости от массы отливки – в несколько слоев.

Ключевые слова: магниевые сплавы, противопригарные покрытия, водные покрытия, самовысыхающие покрытия, наполнители, связующие компоненты.

We consider non-stick protective coatings that prevent the mold material from adhering to the metal surface of the casting, which ensures its easy extraction. The main task of the non-stick coating is to reduce the mold or rod to mold castings. For this use materials on water or alcohol basis. Paints for molds and rods from cold-hardening mixtures contain gluing additives and refractory components, which makes it possible to increase the strength of the working surface and reduce the scattering of shapes and rods. Coatings are applied with a brush or an atomizer, the rods are painted in one layer, and the molds, depending on the mass of the casting, are in several layers.

Keywords: magnesium alloys, non-stick coatings, aqueous coatings, self-drying coatings, fillers, binding components.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

В связи с повышением требований к отливкам из литейных магниевых сплавов, применяемых в изделиях авиационной, космической, военной и других отраслях, большое внимание стали уделять не только прочностным характеристикам, но и качеству поверхности изготавливаемых отливок. Поскольку в настоящее время проявляется большой интерес к магниевым сплавам, предприятия на территории России, стран СНГ и за рубежом начали активно оснащать свои производственные цеха современным оборудованием для литья отливок из магниевых сплавов традиционным методом, литья под низким давлением и изготовления форм и стержней из холодно-твердеющих смесей (ХТС).

Одним из основных недостатков отливок, получаемых литьем в ХТС, является пригар, который появляется из-за сильного нагрева поверхности формы, в результате чего смола, входящая в состав формы, выгорает и происходит разупрочнение формы.

Металл, смачивая форму, частично проникает в поры и тем самым разрушает ее. Противопригарные покрытия играют важную роль при изготовлении отливок из литейных магниевых сплавов. Они применяются при формовке для уменьшения пригара формы и стержней к отливке. Эти покрытия содержат склеивающие вещества и огнеупорные добавки, увеличивая поверхностную прочность.

Противопригарные покрытия в основном представляют собой суспензию – дисперсные структуры, которые включают: огнеупорный наполнитель (основа), связующее, суспензирующее вещество, растворитель (вода или органическая жидкость) и вспомогательные компоненты, обеспечивающие получение систем с заданными технологическими свойствами. После нанесения покрытий процесс формирования защитного слоя заключается в переходе жидкообразной системы в твердое состояние.

Покрытия образуют на формах и стержнях покровный слой, который проникает в смесь и обеспечивает поверхностное упрочнение формы, уменьшая тем самым ее поверхностную деформацию и газопроницаемость.

При изготовлении толстостенных отливок применяют противопригарные покрытия в виде паст или натирок, которые создают защитный слой толщиной до 5 мм.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 10.10. «Энергоэффективные, ресурсосберегающие и аддитивные технологии изготовления деформированных полуфабрикатов и фасонных отливок из магниевых и алюминиевых сплавов («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1–5].

Характеристика и основные технологические свойства противопригарных покрытий

В зависимости от типа отверждения, противопригарные покрытия можно разделить на три группы.

1. Затвердевающие при сушке с повышенной температурой (как правило, в таких покрытиях растворителем является вода).

2. Самовысыхающие покрытия, содержащие в своем составе летучий растворитель, – в результате испарения образуется пленка.

3. Самоотвердеющие водные системы – затвердевание и упрочнение таких покрытий происходит в естественных условиях путем химических реакций.

Для защиты отливок из магниевых сплавов при литье в ХТС чаще всего используют второй тип покрытий.

Основными технологическими свойствами покрытий являются плотность и вязкость – от этих свойств зависит качество, равномерность нанесения и толщина покрытия [6].

Объемная концентрация наполнителя зависит от плотности отдельных компонентов и их соотношения. Наименьшее значение плотности покрытия обусловлено его способностью создавать на формах и стержнях сплошной противопригарный слой минимальной толщины, при максимальном значении плотности покрытие приобретает консистенцию пасты [7]. Рабочую плотность для каждого покрытия устанавливают в производственных условиях с учетом способа окраски и требований к защитному слою, создаваемому на формах (стержнях).

Вязкость характеризует способность суспензий к деформации в процессе окраски. От показателя вязкости в значительной степени зависят кроющая способность покрытий, равномерность и толщина создаваемого защитного слоя [8].

**Основные наполнители и связующие компоненты
противопригарных покрытий**

Наполнители являются противопригарной основой покрытий. Как правило, они представляют собой порошкообразные полидисперсные материалы. От дисперсности и гранулометрического состава наполнителей зависят свойства покрытий. В качестве наполнителей для приготовления покрытий используют: графит, тальк, цирконовый концентрат и дистенсиллиманитовый концентрат. Поскольку наполнители способны к накоплению влаги, которая снижает их сыпучую способность, иногда определяют удельную поверхность наполнителей, которая позволяет определить воздухопроницаемость порошкового наполнителя [9].

При изготовлении противопригарного покрытия также применяют такие наполнители, как цирконовый и дистенсиллиманитовый концентраты. Цирконовый концентрат обладает высокой огнеупорностью и имеет хорошую теплопроводность, что способствует более быстрому охлаждению металла и кристаллизации отливок в форме. Концентрат получают путем перемола цирконовых песков. Дистенсиллиманитовый концентрат относится к алюмосиликатным минералам. При изготовлении противопригарных покрытий для литья магниевых сплавов используют наполнитель марки КДСП, который получают при переработке рутила и циркона. Дистенсиллиманитовый концентрат обладает хорошей огнеупорностью при повышенных температурах – свыше 1500°C [10].

Связующие компоненты, используемые в покрытиях, также играют важную роль в образовании противопригарных покрытий. Связующие при переходе из жидкого состояния в твердое образуют поверхностную пленку, которая твердеет в результате: химической реакции, при тепловом воздействии или в результате естественного испарения. В табл. 1 представлены основные связующие, используемые при изготовлении противопригарных покрытий для форм и стержней из ХТС, используемых при литье магниевых сплавов [11].

Таблица 1

Связующие компоненты противопригарных покрытий

Связующее	Характеристика связующего	Свойства
Поливинилбутираль – ПВБ (ГОСТ 9439–85)	Продукт взаимодействия поливинилового спирта и масляного альдегида	Порошок белого цвета с влажностью не более 3%, применяется для самовысыхающих покрытий
Смолы фенолформальдегидные (ГОСТ 18694–80)	Продукт поликонденсации фенолов и формальдегида	Порошок или крошка от светло-желтого до темно-коричневого цвета, применяется в самотвердеющих покрытиях
Натриевое жидкое стекло (ГОСТ 13078–81)	Водный раствор силикатов натрия	Вязкая жидкость желтого или серого цвета, применяется в самотвердеющих покрытиях

Использование связующих в покрытиях не на водной основе без растворителей невозможно, в качестве растворителей используют спирт, ацетон и др. Основным параметром растворителей является скорость растворения наполнителей и связующих. Для получения однородного состава противопригарного покрытия требуется длительное время, при этом используют различные мешалки для интенсивного перемешивания. Наименее вредным из растворителей является этиловый спирт, который широко применяется для связующих [12].

Не менее важными компонентами являются поверхностно-активные вещества, которые вводят в композицию для улучшения смачиваемости наполнителя. Введение этих компонентов способствует получению однородной суспензии и увеличивает проникающую способность покрытия в смесь, что делает поверхность формы более прочной. Очень важно соблюсти дозировку этих поверхностно-активных компонентов, так как иначе будет образовываться большое количество пены, что негативно скажется на процессе нанесения противопопригарного покрытия [13].

Виды противопопригарных покрытий для форм из ХТС, применяемых при литье магниевых сплавов

Основными составляющими при выборе состава противопопригарного покрытия являются марка литейного сплава, масса изготавливаемых отливок и особенности формовочных смесей. В зависимости от оснащения технологическим оборудованием и производственных условий цехов выбирают противопопригарное покрытие и технологию его нанесения. В настоящее время многие предприятия еще используют песчано-глинистые формы, для которых подходят покрытия на водной основе и сушка которых происходит при термическом воздействии на них [14].

Водные покрытия выпускают в больших объемах и поставляют на предприятия в виде порошкообразных композиций, содержащих в своем составе все необходимые компоненты (наполнитель, связующее, различные суспензирующие вещества и различные технологические добавки), которые в дальнейшем разводят водой до определенной плотности. В табл. 2 представлены самые распространенные водные покрытия, которые поставляют централизованно и используют при окраске форм из песчано-глинистых смесей.

Водные покрытия также имеют недостаток – при термическом воздействии образуются поверхностные пленки, которые в некоторых случаях отверждаются не полностью, что в дальнейшем может привести к образованию в отливках газовых раковин и незаливов. При формировании защитного слоя вода частично остается в слое, поэтому такой способ отверждения очень длительный. Время удаления влаги из покрытия в значительной степени зависит от температуры и влажности в помещении цеха. Несмотря на недостаток при оптимальных условиях нанесения (время отверждения и выстаивания, качество поверхности форм) покрытия обеспечивают свои защитные противопопригарные свойства [15].

Таблица 2

Противопригарные покрытия для окраски форм

Марка покрытия	Наполнитель	Форма поставляемого покрытия		Рекомендуемая плотность при разведении, кг/м ³
		форма выпуска	влажность, % (не более)	
ГКС-1М	Графит, кварц пылевидный	Порошок	9,0	1300–1320
ДСК-1	Дистенсиллиманитовый концентрат	Порошок	4,0	1670–1680
ЦС-1М	Цирконовый концентрат	Порошок	4,0	1900–2100

Самовысыхающие покрытия изготавливают в виде уже готовых к использованию суспензий с различными наполнителями, покрытия используют для нанесения на формы и стержни из ХТС. Покрытия этого типа не нуждаются в длительном термическом высушивании и долгом выстаивании. Поскольку в составе этих противопопригарных покрытий находятся растворители, время высыхания и выстаивания значительно снижается. В табл. 3 представлены составы самовысыхающих покрытий, применяемых при литье отливок из цветных металлов. При использовании в составе покрытий поливинилбутирала, для повышения термостойкости иногда добавляют кремнийорганические смолы.

Помимо противопопригарных покрытий на водной основе и самовысыхающих покрытий изготавливают пасты (затирки). Пасты применяют при изготовлении форм и стержней, их наносят, как правило, вручную. Используют пасты на несложных поверхностях, в местах, наиболее подверженных разрушающему действию жидкого металла, и на стыках форм из ХТС, чтобы предотвратить протекание металла. Для защиты форм и стержней из ХТС для литья магниевых сплавов в составе покрытий используют огнеупорную глину, тальк, графит и цирконовый концентрат [16].

Таблица 3

Основные компоненты покрытий

Компонент	Содержание компонентов, % (по массе), в смеси		
	1	2	3
Графит	45,0	–	–
Дистенсиллиманитовый концентрат	–	52	–
Тальк	–	–	42,0
Поливинилбутираль	2,5	2,0	2,5
Растворитель АПК и этиловый спирт	52,5	46,0	55,5
Плотность покрытия, кг/м ³	1100–1200	1350–1450	1080–1150

Изготовление и нанесение покрытий на формы и стержни из ХТС для литья магниевых сплавов

Противопригарные свойства покрытий зависят не только от состава, но и от технологии их изготовления. При изготовлении покрытий очень важно использовать максимально измельченные сухие компоненты, чтобы в дальнейшем избежать комкования и неоднородности наполнителя, так как у исходных компонентов наблюдается склонность к впитыванию влаги. Очень важна интенсивность смешения компонентов. При изготовлении самовысыхающих покрытий сыпучие вещества изначально смешивают с незначительным количеством растворителя, затем добавляют наполнитель и разбавляют оставшимся растворителем. Покрытия на водной основе можно готовить в два этапа: сначала смешивают сухие компоненты с небольшим количеством воды и перемешивают до образования пасты, затем разводят водой до получения необходимой плотности. На предприятиях-изготовителях и в литейных цехах при изготовлении применяют лопастные мешалки с частотой вращения до 200 оборотов в минуту. Использование таких мешалок существенно снижает время изготовления противопопригарных покрытий [17].

Способ нанесения противопопригарных покрытий очень важен для их формирования, так как от этого зависит качество получаемых отливок. В производственных цехах для нанесения покрытий используют пульверизаторы и кисти, а также наносят их с помощью окунания. Покрытия на формы и стержни для тонкостенных отливок массой до 400 кг обычно наносят в один слой, для более габаритных отливок – в 2–3 слоя. Как правило, плотность первого слоя должна быть ниже последующих слоев. В случае мелкосерийного производства покрытия наносят кистью, не рекомендуется проводить кистью по одному и тому же месту при нанесении нескольких слоев покрытий – каждый слой нужно просушить, прежде чем наносить последующий. При нанесении покрытий с помощью пульверизатора необходимо подобрать нужную плотность напыляемой краски, так как слишком густые покрытия не будут напыляться на поверхность форм и стержней. Очень важно равномерное распыление противопопригарного покрытия – особенно качественно необходимо прокрашивать не только рабочую поверхность форм, но также и литниковую часть. Недостатком данного метода является повышенный расход противопопригарной краски за счет потерь при окрашивании. На рисунке показана форма из ХТС до нанесения покрытия и с нанесенным с помощью пульверизатора противопопригарным покрытием (3 слоя).



Форма из холодно-твердеющей смеси без покрытия (а) и с противопригарным покрытием (б)

Для получения отливок, отвечающих повышенным требованиям к качеству поверхности, в европейских странах также используют цирконовые и графитовые покрытия на водной или спиртовой основе. В России в связи с поставленной задачей, направленной на импортозамещение и повышение конкурентоспособности отечественной литейной продукции, на первое место выходит выпуск отливок не только с повышенными механическими свойствами, но и с качественной поверхностью, поэтому особое внимание уделяют изготовлению и нанесению отечественных противопригарных покрытий.

При контроле состояния поверхности и внешнего вида, отливки из магниевых сплавов оценивают на соответствие чертежу, проверяют наличие внешних дефектов – газовых раковин, пригара. Контроль отливок в производстве разделяют на группы. Первая группа – отливки без особых видимых дефектов, т. е. годные после внешнего осмотра. Ко второй группе относятся отливки с незначительными дефектами, которые легко исправить подручными инструментами в цехах. Третья группа – отливки с дефектами, требующими доработки и исправлений по указанию технолога цеха. Четвертая группа – отливки с явными дефектами, требующими подварки и исправления брака, ремонт таких отливок производится только на усмотрение технолога цеха. Пятая группа – это неисправимый брак [18].

Заключения

Использование защитных покрытий для форм и стержней из ХТС является важной составляющей при изготовлении отливок из магниевых сплавов. Поскольку в производственных цехах в настоящее время активно используют краски, которые наносят с помощью пульверизатора, можно выделить этот метод нанесения как основной. В современном литейном производстве происходит переход от изготовления песчано-глинистых форм к формам и стержням из ХТС, для которых подходят самовысыхающие противопригарные покрытия на спиртовой основе, поэтому эту группу покрытий можно считать основной. Преимущество самовысыхающих покрытий перед остальными группами покрытий в том, что значительно меньше времени требуется для полного высыхания, что увеличивает производительность отливок.

Недостатки противопригарных покрытий практически отсутствуют, но некачественное покрытие может получиться при несоблюдении процентного состава краски и технологии нанесения краски на форму.

Способ нанесения противопригарных покрытий очень важен для получения качественной поверхности на отливке, что значительно снизит трудозатраты и время на устранение дефектов, а также скажется на повышении производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. №1. С. 3–12.
2. Каблов Е.Н. ВИАМ: продолжение пути // Наука в России. 2012. №3. С. 36–44.
3. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
4. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
5. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI:10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
6. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №2. Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.10.2017).
7. Дуюнова В.А., Гончаренко Н.С., Мухина И.Ю., Уридия З.П., Волкова Е.Ф. Научное наследие академика И.Н. Фридляндера. Современные исследования магниевых и литейных алюминидных сплавов в ВИАМ // Цветные металлы. 2013. №9. С. 71–78.
8. Дуюнова В.А. Методы защиты магниевых сплавов в отечественном литейном производстве с 1930-х гг. до настоящего времени // Литейщик России. 2010. №10. С. 35–37.
9. Дуюнова В.А., Уридия З.П. Исследование воспламеняемости литейных магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr // Литейщик России. 2012. №11. С. 21–23.
10. 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.
11. Дуюнова В.А., Мухина И.Ю., Уридия З.П. Новые противопригарные присадочные материалы для литейных форм магниевых отливок // Литейное производство. 2009. №9. С. 18–21.
12. Дуюнова В.А., Козлов И.А. Холоднотвердеющие формовочные смеси: перспективы использования при литье магниевых сплавов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №1. С. 41–43.
13. Мухина И.Ю., Дуюнова В.А., Уридия З.П. Перспективные литейные магниевые сплавы // Литейное производство. 2013. №5. С. 2–5.
14. Леонов А.А., Дуюнова В.А., Ступак Е.В., Трофимов Н.В. Литье магниевых сплавов в разовые формы, полученные новыми методами // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №12. Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.10.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-1-1.
15. Трофимов Н.В., Леонов А.А., Дуюнова В.А., Уридия З.П. Литейные магниевые сплавы (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №12. Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.10.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-1-1.
16. Мухина И.Ю., Уридия З.П. Магний – основа сверхлегких материалов // Металлургия машиностроения. 2005. №6. С. 29–31.
17. Мухина И.Ю., Бобрышев Б.Л., Антипов В.В., Кошелев А.О., Бобрышев Д.Б. Структура и свойства сплавов системы Mg–Al–Zr при литье в кокиль и формы из ХТС // Литейное производство. 2014. №8. С. 6–10.
18. Волкова Е.Ф., Мухина И.Ю. Новые материалы на магниевой основе и высокоресурсные технологии их производства // Технология легких сплавов. 2007. №2. С. 28–34.