



Магниево-алюминиевые сплавы: научные исследования  
Центрального аэрогидродинамического  
института и Всесоюзного института  
авиационных материалов. 1930–1935 гг.

В.А. Дуюнова  
*кандидат технических наук*

Апрель 2012

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 *«История науки и техники»*, № 10, 2012 г.

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

**Магние­вые сплавы: научные исследования Центрального аэрогидродинамического института и Всесоюзного института авиационных материалов. 1930–1935 гг.**

В.А. Дуюнова

*Всероссийский институт авиационных материалов*

*Рассматриваются результаты самых первых научно-исследовательских работ (с 1930 по 1935 г.) по коррозионной защите литых и прокатанных магниевых сплавов, технологии их литья. Исследования велись в Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ), а с 1932 г. – во Всесоюзном институте авиационных материалов (ВИАМ) в тесном контакте с отраслевыми и промышленными предприятиями.*

**Ключевые слова:** магниевые сплавы, защита от коррозии, литье в землю и кокиль.

*Results of the very first research works (from 1930 to 1935) on corrosion protection of cast and rolled magnesium alloys and technology of their casting are considered. Researches were conducted by TsAGI, and from 1932 – by VIAM in a close contact to branch and industrial enterprises.*

**Key words:** magnesium alloys, protection against corrosion attacks, sand casting and gravity die casting.

Одной из важнейших задач, поставленных перед ЦАГИ на рубеже 1920–1930-х гг., было исследование магниевых сплавов, носивших общее название «электрон». При этом ориентировались на зарубежный опыт, из которого было известно, что применение электрона в авиа- и моторостроении позволяло снизить массу самолета более чем на 100 кг, а также на наличие больших

запасов магния в СССР. Научно-исследовательская работа ЦАГИ, а затем с 1932 г. в ВИАМ, в период с 1930 по 1935 г. состояла из нескольких этапов.

### ***1. Первичная защита магниевых сплавов оксидными пленками***

Магниевые сплавы обладают сравнительно низкой коррозионной стойкостью. Возможность применения магниевых сплавов для изготовления деталей машин, подвергающихся в условиях эксплуатации коррозионному воздействию, обеспечивается применением методов надежной защиты от коррозии [1].

Исследования В.О. Кренига и Г.А. Костылева основывались на результатах зарубежных исследований, защищенных соответствующими патентами:

– Английский патент 287450 (09.03.1928 г.) акционерного общества Farbenindustrie: металл обрабатывали раствором бихромата, содержащего свободную хромовую или азотную кислоту, после чего тщательно промывали в воде. Ни концентрация, ни время травления указаны не были;

– Английский патент 305197 (22.02.1928 г.) акционерного общества Farbenindustrie: металл обрабатывали в течение 1 ч разведенной азотной кислотой, содержащей хромпик. Концентрация не указана;

– Г. Зибель (G. Siebel, Werkstoff – Handbuch, Nichteisenmetalle, Beuth-Verlag, k/2):

– травление в течение j – 3 мин в ванне, содержащей 15% хромпика и 20% азотной кислоты;

– Американский патент 1677667 A.C. Zimmerman, Dayton: горячий раствор ортофосфорной кислоты, борной кислоты или боратов в присутствии окислителя, например перекиси марганца, раствор не должен быть крепче 5%;

– Американский патент 1709894 E.C. Burdick (Dow-Chem. Co., Midland): металл обрабатывали одновременно натриевой или магниевой солью фосфорной кислоты;

– Германский патент 435931 О.Н. Werber (Farbenindustrie, Grieshehn a/M): обработка изделий из электрона раствором фтористого металла, после чего изделия стойки против водяного пара;

– Dow-Metal Co обработка электрона перегретым паром. При этом получается тонкая бесцветная пленка.

Для проведения сравнительных испытаний на коррозию магниевых сплавов, травленных различными способами, авторами был взят сплав, химический состав которого представлен в табл. 1.

Таблица 1.  
Состав сплава

Mg	Al	Zn	Mn	Si	Fe
Основа	6,10%	0,96%	0,23%	0,04%	0,10%

В качестве травящих ванн были взяты растворы, в том числе и рекомендованные в литературе:

1. Хромпик с азотной кислотой (к насыщенному при 20°C раствору  $K_2Cr_2O_7$  прибавляли 1/5 объема азотной кислоты).

2. Хромпик с  $HNO_3$  (раствор по п. 1, разбавленный водой в 2 раза).

3. Фосфорная кислота с перманганатом (к 5% водному раствору  $H_3PO_4$  добавляли 1/5 по объему насыщенного раствора  $KMnO_4$ ).

4.  $H_3BO_3$  и  $KMnO_4$  (к насыщенному при комнатной температуре раствору  $H_3BO_3$  добавляли 1/5 по объему насыщенного раствора  $KMnO_4$ ).

5. NaF (10% раствор в воде).

6. Раствор  $KMnO_4$ , насыщенный при комнатной температуре.

7. Тот же раствор с добавлением нескольких капель  $HNO_3$ .

8. NaF и  $KMnO_4$  (к раствору №5 добавляли 1/5 по объему раствора №6).

9.  $H_3BO_3$  (насыщенный водный раствор).

10. Фосфорная кислота с хромпиком (к раствору в воде 5%  $H_3PO_4$  добавляли 1/5 по объему насыщенного на холоде раствора  $K_2Cr_2O_7$ ).

Образцы погружали в жидкость при комнатной температуре или при температуре, доведенной до точки кипения, выдерживали в ней разное время.

После протравливания образцы промывали в струе воды, прополаскивали в спирте и высушивали, затем подвешивали в стакан с морской водой на трое суток. Одновременно в морскую воду помещали нейтральный контрольный образец. Через несколько минут на поверхности всех образцов появлялись пузырьки водорода.

По окончании опыта образцы вынимали, протирали щетинной щеткой, тщательно промывали в струе воды, прополаскивали в спирте и высушивали. Оказалось, что все образцы в той или иной степени прокорродировали. Особенно сильно сказалась коррозия на образцах, протравленных раствором №7, которые даже сильнее, чем непротравленный электрон.

Микроскопическое исследование этих покрытий показало, что они состояли из мелких чешуек, не связанных друг с другом. Такое покрытие только усиливало коррозию.

Слабее других прокорродировали образцы, протравленные горячим насыщенным при 20°C раствором хромпика с азотной кислотой. В отличие от остальных образцов, покрывшихся слоем основных солей, эти образцы сохраняли блестящую поверхность и только местами появлялись отдельные пятна продуктов.

Авторы в работе остановились на методе травления электрона раствором хромпика с азотной кислотой с целью его дальнейшего уточнения и развития [2].

## ***2. Исследование и улучшение методики литья магниевых сплавов в земляную форму***

Старший инженер А.С. Лугаськов, проводивший исследование, выбрал два сплава для исследований следующего химического состава, в %:

а) ЭА4: Al (5,5–6,5) + Zn (2,5–3,0) + Mn (0,2–0,9) + Mg (остальное), при этом предел прочности  $\sigma_b=160\text{--}240$  МПа, относительное удлинение  $\delta=2,5\text{--}6,0\%$ ;

б) ЭА8: Al (7,8–9,0) + Mn (0,2–0,35) + Mg (остальное), при этом предел прочности  $\sigma_b=170\text{--}180$  МПа, относительное удлинение  $\delta=2,0\text{--}4,5\%$ ;

– флюс, состоящий из (в % по массе):  $MgCl_2$  (60–65) +  $BCl$  (25–35) +  $CaF_2$  (5–10) +  $MgF_2$  или  $NaF$  (2).

Исполнителем был разработан метод изготовления сплава с получением более высоких механических свойств в отливках, чем у итальянской авиации.

Испытанию подвергали картера М-34.

В результате работы было сделано следующее:

- выбран состав формовочных и стержневых смесей;
- разработаны соль для сварки и сплав для пайки;
- разработана технология изготовления магниевого сплава с марганцем (до 3%) методом восстановления марганца из хлористого соединения с расплавленным магнием;

- выбран состав краски №164 на основе льняного масла для отливок.

Организовано производство краски на Ярославском лакокрасочном заводе;

- написан подробный отчет, который послужил материалом «...для издания книги по технологии литейного дела магниевых сплавов» [3].

### ***3. Исследование влияния условий плавки и отливки на механические свойства и коррозию магниевых сплавов***

Старший инженер А.С. Балль выбрал для исследования бинарные и сложные сплавы на основе магния, более известные за границей. Химический состав выбранных сплавов указан в табл. 2.

Таблица 2.

№	Al	Zn	Mn	Mg
	%, по массе			
1	10,0	–	0,3	Основа
2	8,0	1,0	0,4	Основа
3	6,0	3,0	0,3	Основа
4	6,0	–	0,5	Основа
5	8,0	1,0	0,5	Основа
6	4,0	3,0	0,4	Основа
7	–	–	1,5	Основа
8	8,0	–	1,0–2,0	Основа



После проведенных физико-механических и коррозионных испытаний для дальнейших исследований было отобрано три сплава: №1, 5 и 8.

По работе были сделаны следующие выводы:

- для уменьшения усадки сплавы с 1,0–2,0% Mn использовать присадку, содержащую до 8% Al;
- установлена температура перегрева (880–900°C) для разложения хлористых соединений калия и натрия;
- выбран флюс для плавки следующего состава, в % по массе:  $MgCl_2$  (60) + KCl (35) +  $MgF_2$  или  $CaF_2$  (5);
- выбрана температура нагрева металлических форм [3].

#### **4. Исследование жаростойких (поршневых) магниевых сплавов**

Инженер В.В. Крымов совместно с лаборантом Морозовым провели исследования 23 сплавов различного химического состава по физико-механическим свойствам, изучили микроструктуру и химический состав сплавов.

Проведенные испытания показали лучшие результаты по физико-механическим свойствам сплавов, имеющих химический состав, указанный в табл. 3.

Таблица 3.

№	Al	Cu	Si	Cd	Mg
	%, по массе				
1	4,0	2,0	–	–	Основа
2	5,0	2,0	–	–	Основа
3	8,0	–	2,5	1,5	Основа

Сплавы подвергли дальнейшему изучению, после чего были выбраны два сплава ЭЖ1 и ЭЖ2 для проведения испытаний в 1933 г. на авиамоторе в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ).

Разработана технология введения в сплав кадмия и бериллия. Кадмий вводили в сплав в чистом виде, а бериллий – из лигатуры Be–Al–Mg (5–45–50%).

Сплавы заливали не только в кокиль, но и в песчаные формы, подсушенные горелкой без припыла и введения в землю серы [3].

## ***5. Связь с промышленностью в оказании технической помощи***

1. Изучены технологии проведения всех видов сварки электрона по договору с заводом «Оргаметалл». Создана база обучения сварщиков по магниевым сплавам.

2. Оказана техническая помощь Заводу опытных конструкций ЦАГИ по освоению технологии производства тормозных колес из магниевых сплавов, полученных литьем в землю и металлические формы.

3. По договорам с предприятиями отрасли были изучены диаграммы состояний Mg–Be, Mg–Al–Be, Mg–Al–Cd.

4. В Академии наук СССР были изучены диаграммы состояния Mg–Si, Mg–Cd.

5. Начаты научно-исследовательские работы по изучению наружной и внутренней плакировки из магниевых сплавов.

В январе 1932 г. группа магниевых сплавов была организована в самостоятельную секцию при отделе испытания авиационных материалов ЦАГИ. Предварительно «ударная бригада инженеров Я.Е. Афанасьева, Н.Д. Бобовникова и А.С. Балль обследовала все состояние научно-исследовательских работ по магнию в институтах и на заводах СССР» (около 30) и разработала единый тематический план научно-исследовательских работ в части самолетостроения, согласовав его со всеми заинтересованными организациями. В результате к середине 1932 г. были получены листы из магниевых сплавов (толщиной от 0,3 до 6 мм), первый гофр толщиной 3 мм, первые сложные прессованные электронные профили из советского магния, трубы разных диаметров, отливки самолетной арматуры, налажено изучение прессовки в лабораторных условиях [4].

К концу 1932 г. группа магниевых сплавов ВИАМ на основе проведенных исследований «овладела первой ступенью технологии производств всех видов отливок и полуфабрикатов для авиапромышленности, кроме производства проволоки и заклепок».

В 1932 г. состоялась первая отчетная авиационная конференция, созданная ВИАМ по предложению магниевой группы с участием конструкторов, на которой были представлены материалы в области освоения магниевых сплавов. Единогласно было принято решение приступить в 1933 г. к внедрению магниевых сплавов в конструкции самолета и мотора из существующих марок сплавов [3].

## **6. Защита от коррозии литых сплавов магния**

### *6.1. Влияние параметров термической обработки (ТО) на коррозию магниевых сплавов*

В.О. Крениг и Г.А. Костылев в работе по изучению влияния параметров ТО на коррозию магниевых сплавов выбрали следующие режимы ТО:

1. Нагрев под закалку до температуры 420°C, выдержка 24 ч; охлаждение в горячей воде при температуре 80–90°C, старение при температуре 150°C, выдержка – 15 ч; охлаждение на воздухе.

2. Нагрев под закалку до 420°C, выдержка – 24 ч; охлаждение на воздухе, старение при 150°C, выдержка – 15 ч; охлаждение на воздухе.

3. Нагрев под закалку до 500°C, выдержка – 24 ч; охлаждение в горячей воде при 80–90°C.

4. Нагрев под закалку до 500°C, выдержка – 24 ч; охлаждение на воздухе.

5. Нагрев под закалку до 300°C, выдержка – 32 ч; охлаждение в горячей воде при 80–90°C, старение при 150°C, выдержка – 15 ч; охлаждение на воздухе.

5. Нагрев под закалку до 420°C, выдержка – 24 ч; охлаждение на воздухе, старение при 150°C, выдержка – 15 ч; охлаждение на воздухе.

Технологическую обработку проводили в муфельной электрической печи, в которой подачу тока регулировали реостатом. В печи образцы оставляли на 24 ч, после чего часть образцов закаливали в воде, а часть оставалась в охлажденной печи [5].

Образцы для испытания на коррозию подвешивались в 3%-ном растворе NaCl.

## Коррозия магниевых сплавов до и после ТО

– Коррозионная стойкость (КС) магниевых сплавов до ТО в 3%-ном растворе NaCl:

1) коррозия сплавов, не содержащих алюминий, проявлялась значительно сильнее, чем коррозия сплавов, содержащих алюминий;

2) примеси цинка и меди (в малых количествах) улучшали устойчивость сплава;

3) металл, литой в кокиль, корродировал несколько сильнее, чем литой в песок.

– Коррозионная стойкость магниевых сплавов после ТО в 3%-ном растворе NaCl: проведенные исследования показали, что ТО сказывается неблагоприятно на сопротивлении исследованных сплавов коррозии. Сильнее всего корродировали отожженные сплавы, закаленные и состаренные после закалки занимали промежуточное положение [5].

Для получения путем ТО наибольшей коррозионной устойчивости сплава было необходимо для каждого отдельного сплава точно установить время и температуру ТО. Способность к коррозии определялась именно процессами растворения и коагуляции. Захват дисперсной фазой более широкой зоны приводил к усилению коррозии. Увеличение твердости сплава при ТО обуславливалось распространением дисперсной фазы.

*6.2. Изучение коррозии в контакте с другими металлами (платиной, алюминием, железом, никелем, медью, свинцом, марганцем, цинком, ртутью) в растворах солей*

Вторым этапом изучения коррозии магниевых сплавов для В.О. Кренига и Г.А. Костылева было проведение исследований в растворе солей магния в контакте с другими металлами.

Диаграмма на рис. 1 показывает, что контакт с платиной в сильной степени увеличивал коррозию магния. Количество водорода, выделенного совместно на обоих электродах, в 15–18 раз превосходило количество водорода, выделившегося изолированным магнием. Из сравнения кривых,

показывающих выделение водорода изолированным магнием и магнием, находящимся в контакте, понятно, что выделение водорода на нем при контакте больше, чем у изолированного.

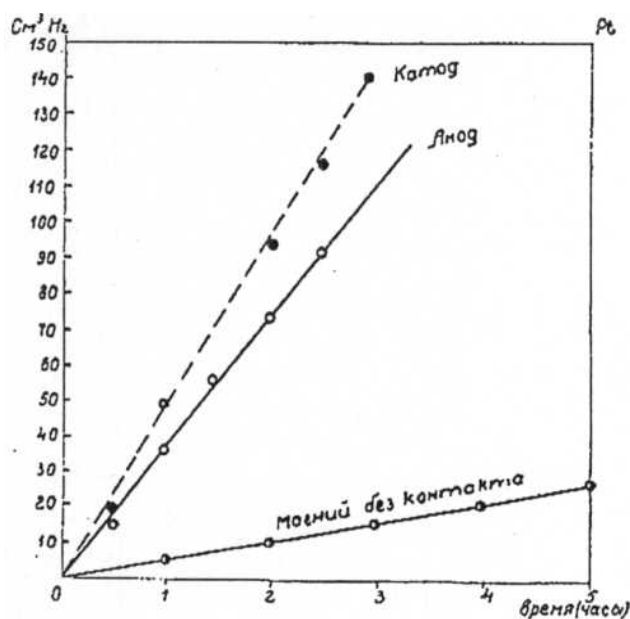


Рисунок 1. Контакт магний–платина

Количество водорода на катоде – платине – превышало количество водорода на аноде – магнии. Продолжительность опыта, как видно из диаграммы, составляла только 2,5–3 ч, так как через такой промежуток времени пластинка магния при контакте с платиной оказывалась почти полностью разрушенной.

При контакте магния с алюминием выделение водорода слабее, чем при контакте с платиной (рис. 2). При контакте магний–алюминий опять имеется отрицательный дифференц-эффект, и выделение водорода на катоде интенсивнее, чем на аноде. Коррозия магния от контакта с алюминием в 3%-ном растворе NaCl усиливалась ~ в 13 раз.

Контакт Mg–Fe указывает на еще более слабое влияние контакта железа, чем двух предыдущих металлов на коррозию магния.

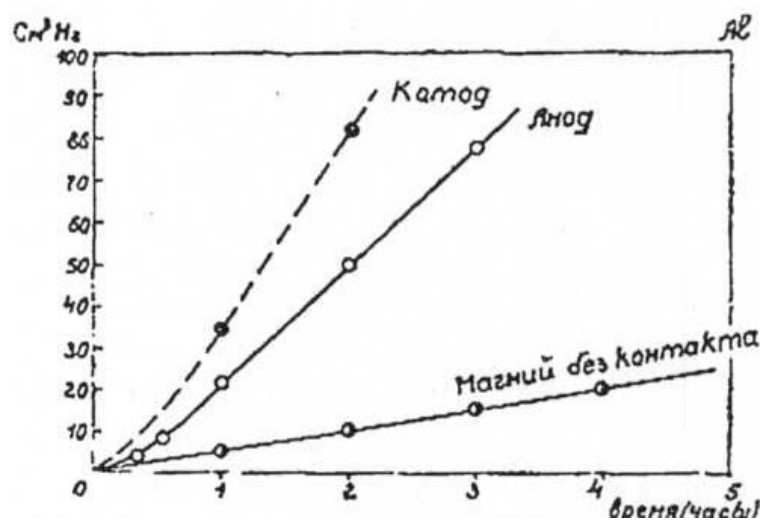


Рисунок 2. Контакт магний–алюминий

Результаты опытов по контакту магния с никелем, медью, свинцом, марганцем, цинком и ртутью были следующими:

- контакт магния со всеми исследованными металлами в 3%-ном растворе NaCl и ряде других солей усиливал коррозию сплава;
- коррозия магния усиливалась в соответствии с перенапряжением водорода на том металле, с которым магний находился в контакте;
- по степени усиления коррозии магния и электрона в 3%-ном растворе NaCl все исследованные металлы можно расположить в ряд (от наиболее усиливающих коррозию магния металлов к наименее): платина, алюминий, железо, никель, медь, свинец, марганец, цинк, ртуть;
- при контакте с другим металлом выделение водорода на самом магнии усиливалось;
- интенсивность коррозии зависела от размера катода;
- при меньших расстояниях между катодом и анодом процесс коррозии интенсивнее [6].

### 6.3. Влияние марганца. Изучение механизма коррозии сплавов Mg–Mn

Зарубежные источники указывали на повышенное сопротивление коррозии магниевых сплавов при введении в них небольших количеств марганца. Причины, по которым добавка марганца повышает сопротивление коррозии магниевых сплавов, в начале 1930-х гг. оставались неясными.

В техническом отчете ВИАМ за I полугодие 1933 г. представлены исследования марганца на коррозию магниевых сплавов. Были получены магниевые сплавы с различным содержанием марганца (до 3,4% включительно). Из всех сплавов изготавливали шлифы для коррозионных испытаний в дистиллированной и морской воде. Исследования показали, «...что влияние марганца основано на образовании сложной пленки, состоящей из продуктов коррозии магния в смеси с соединениями марганца, вероятно, окисью последнего» [7].

Для выявления причин изменения поведения сплава с введением в него добавок марганца решено было исходить из сравнения поведения магния, не содержащего марганец, и сплавов с марганцем. Материалом для экспериментов служили: чистый технический магний и сплавы, содержащие марганец от 0,51 до 4,10%.

На рис. 3 вполне отчетливо видно, что добавка марганца в 0,51% относительно мало улучшала устойчивость сплава, но при содержании марганца от 1,36 до 4,10% коррозия резко уменьшается, и наиболее устойчивым из трех сплавов (содержащих 1,36; 2,23 и 4,10%) оказывался сплав с 1,36% марганца.

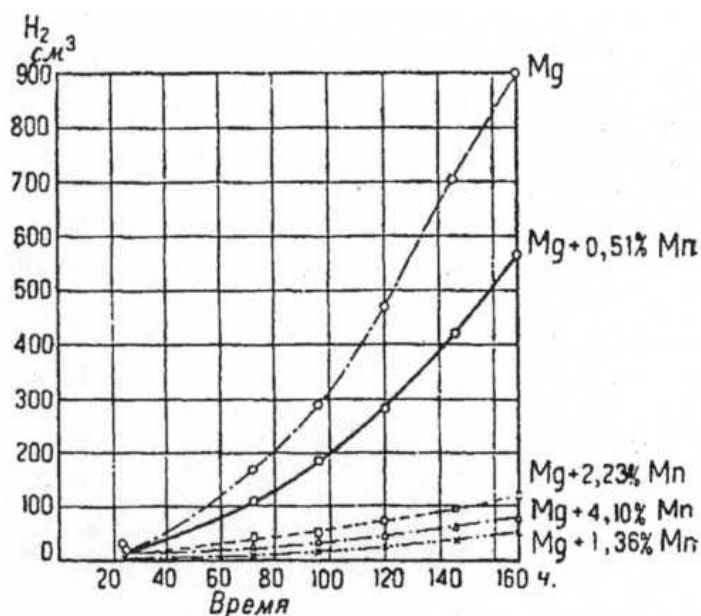


Рисунок 3. Кривые выделения водорода сплавами Mg–Mn в морской воде. Испытанию подвергались образцы с полированной поверхностью, размер 6 см<sup>2</sup>

Характер изменения коррозионной устойчивости сплава в морской воде в зависимости от возрастающего содержания в нем марганца показан на рис. 4.

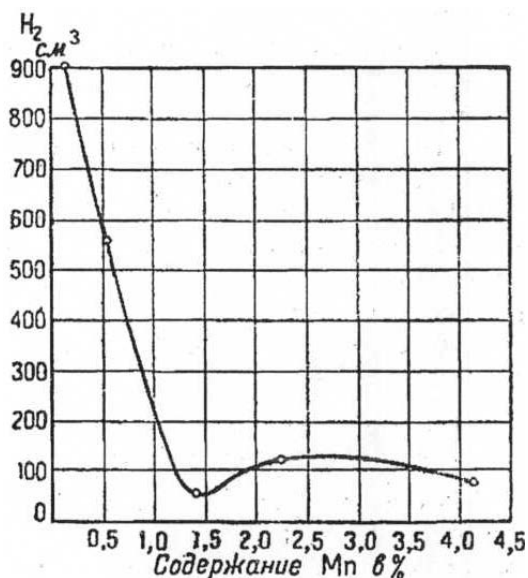


Рисунок 4. Кривая выделения водорода в морской воде сплавами Mg–Mn в зависимости от содержания марганца

Повышение коррозионной устойчивости рассматривали как следствие одной из следующих причин:

- 1) марганец входил в решетку основного металла, образуя с ним твердый раствор;
- 2) марганец способствовал образованию защитной изолирующей пленки;
- 3) марганец повышал перенапряжение водорода на металле или включениях.

По исследованиям Рюмана и Шмидта известна растворимость марганца в магнии.

Бочвар и Гридунов, исследовавшие тройные сплавы Mg–Al–Mn, на основании металлографического исследования этих сплавов пришли к выводу о нерастворимости марганца в твердом магнии.

При введении в сплав марганца последний лишь частично переходит в твердый раствор с магнием, большая же часть его присутствует в сплаве в форме свободных включений интерметаллического соединения  $Mg_xMn_y$ , рассеянных в основной массе твердого раствора алюминия или других примесей в магнии.



Изучение с помощью микроскопа развития процесса коррозии сплавов Mg–Mn и изучение поверхности этих сплавов при удалении продуктов коррозии показывало, что коррозия возникала на участках поверхности, наиболее удаленных от включений и являющихся наиболее анодными. На анодных участках образовывалась пленка из гидрата окиси магния, защищающая эти участки от дальнейшей коррозии.

Повышенная устойчивость против коррозии сплавов Mg–Mn объясняется защитным действием пленки, образующейся на этих сплавах в процессе коррозии. В состав пленки, образовавшийся на сплавах Mg–Mn, входил  $Mn(OH)_2$ , который с течением времени под действием растворенного в воде кислорода переходит в следующую степень окисления – гидратированную двуокись марганца  $MnO_2 \cdot H_2O$ . Процесс сопровождался изменением цвета пленки от телесного через желтовато-золотистый до почти черного [8].

### ***7. Исследование О.Н. Подвойской***

Обобщением работ, проведенных В.О. Кренигом, Г.А. Костылевым и С.Е. Павловым, стало исследование О.Н. Подвойской, в котором рассматривалось влияние сурьмы, бериллия, титана, марганца на поведение сплавов систем Mg–Al и Mg–Al–Zn для литья, а также влияние режимов ТО, оптимизирован химический состав сплавов.

1. Выбраны наиболее устойчивые против коррозии магниевые сплавы:

– 4,0–6,0% Al; 3% Zn; 0,2–0,5% Sb; 0,2 Ti; 0,05% Be;

– 2,0–4,0% Al; 1,5% Mn; 0,2% Ti;

– 8,0% Al; 0,2% Mn (или Sb); 0,2% Ti; 0,05% Be.

2. Отмечена высокая устойчивость сплавов магния с 2,0–3,0% Al и/или Zn с добавкой 0,5% Sb.

3. Проверено действие различных режимов ТО на устойчивость магниевого сплава с 10% Al и 0,1% Mn против коррозии и на механические свойства, наиболее удачной оказалась ТО при 420°C в течение 16 ч с последующим охлаждением на воздухе и отпуском при 200°C – 8 ч, или при 185°C – 12 ч, или при 175°C – 16 ч [9].

## **8. Защита от коррозии прокатанных (прессованных) магниевых сплавов**

Н.Д. Бобовников исследовал коррозию в различных условиях (морская, пресная вода; влажная морская и естественная атмосферы; горючие смеси, применяемые для авиационных целей) магниевых сплавов различного состава при разных температурах нагрева и проката в интервале 250–425°C.

Наиболее устойчивыми оказались сплавы систем Mg–Mn и Mg–Al–Mn–Zn в пресной и морской воде, а также во влажной атмосфере. Значительно хуже сопротивлялись коррозии сплавы систем Mg–Al–Mn и Mg–Cd–Cu–Al.

В горючих смесях оказались практически устойчивыми все исследованные сплавы, что открывало возможности применения электрона для бензиновых баков [10].

### **Выводы**

В истории освоения технологии магниевых сплавов отечественными исследователями период начала 1930-х гг. представляет наибольший интерес, т.к. проведенные в это время первые научно-исследовательские работы позволили перейти к освоению производства литых (в земляные формы и частично, в кокиль), прокатанных и начать освоение прессованных полуфабрикатов магниевых сплавов. Промышленному внедрению сплавов магния способствовала слаженная работа ВИАМ и ЦИАМ в контакте с опытным заводом им. Фрунзе.

### **Список литературы:**

1. Каримова С.А., Дуюнова В.А., Козлов И.А. Конверсионное покрытие для жаропрочного литейного магниевоего сплава МЛ10 // Литейщик России. 2012. № 2. С. 26.
2. Крениг В.О., Костылев Г.А. Коррозия магниевых сплавов. Часть 1. Защита магниевых сплавов при помощи оксидных пленок. – М.–Л.: Цветметиздат, 1932. С. 4–6.
3. Филиал РГАНТД. ф. Р-124, оп. 1–6, д. 1 (1932 г.) Технический отчет ВИАМ.
4. Газета «ЦАГИ», 10.09.1932 № 52 (90). С. 3.

5. Крениг В.О., Костылев Г.А. Коррозия магниевых сплавов. Часть 3. Влияние термообработки на коррозию литых магниевых сплавов. – М.–Л.: Государственное химико-техническое издательство, 1933. С. 6.
6. Крениг В.О., Костылев Г.А. Коррозия магниевых сплавов. Часть 4. Коррозия магния и электрона в контакте с другими металлами. – М.–Л.: Государственное химико-техническое издательство, 1933. С. 12–15; 23.
7. Филиал РГАНТД. ф. Р-124, оп. 1–6, д. 4 (1933 г.) Технический отчет ВИАМ за I полугодие 1933 г.
8. Крениг В.О., Павлов С.Е. Коррозия магниевых сплавов. Часть 5. Влияние марганца на коррозию магния. – М.–Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1935. С. 8–10; 30–31.
9. Подвойская О.Н. Литейные магниевые сплавы с повышенной устойчивостью против коррозии. – М.–Л.: Главная редакция литературы по цветной металлургии, 1937. С. 47, 48.
10. Бобовников Н.Д. Коррозия прокатанных магниевых сплавов. – М.–Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1935. С. 61.

## References

1. Karimova S.A., Dujunova V.A., Kozlov I.A. Konversionnoe pokryitie dlya zharoprochnogo liteynogo magnievogo splava ML10. [Conversion coating for heat resistant cast magnesium alloy ML10] Russian Foundryman. 2012. №2. P. 26.
2. Krenig V.O., Kostylev G.A. Korroziya magnievyyih splavov. Chast 1. Zashchita magnievyyih splavov pri pomoschi oksidnyih plenok. [Corrosion of Magnesium Alloys. Part 1. Protection of magnesium alloys by means of oxide films]. М.–Л.: Tsvetmetizdat, 1932. P. 4-6.
3. Branch of Russian State Archive of Science and Research Documents. F. P-124, inv. 1–6, d. 1 (1932). Technical report of VIAM.
4. Gazeta «TsAGI». [«TsAGI» Newspaper], 9/10/1932, 52 (90), p. 3.
5. Krenig V.O., Kostylev G.A. Korroziya magnievyyih splavov. Chast 3. Vliyanie termoobrabotki na korroziyu lityih magnievyyih splavov. [Corrosion of Magnesium Alloys. Part 3. An effect of heat treatment on corrosion of cast magnesium alloys. The state chemical-engineering publishing house]. М.–Л., 1933. P. 6.
6. Krenig V.O., Kostylev G.A. Korroziya magnievyyih splavov. Chast 4. Korroziya magniya i elektrona v kontakte s drugimi metallami. [Corrosion of Magnesium Alloys. Part 4. Corrosion of magnesium and «electron» alloy in contact to other metals]. М.–Л.: The state chemical-engineering publishing house., 1933. P. 12–15; 23.

7. Branch of the Russian State Archive of Science and Research Documents. F. P-124, inv. 1–6, d. 4 (1933). Technical report of VIAM for the first six months of the year 1933.
8. Krenig V.O., Pavlov S.E. Korroziya magnievyih splavov. Chast 5. Vliyanie margantsa na korroziyu magniya. [Corrosion of magnesium alloys. Part 5. Influence of manganese on corrosion of magnesium]. M.–L., 1935. P. 8–10; 30-31.
9. Podvoyiskaya O.N. Liteynye magnievyie splavyi s povyishennoy ustoychivostyu protiv korrozii. [Cast magnesium alloys with an enhanced corrosion resistance]. M.– L.: The main editorial office for nonferrous metallurgy literature, 1937. P. 47–48.
10. Bobovnikov N.D. Korroziya prokatannyih magnievyih splavov. [Corrosion of rolled magnesium alloys]. M.–L.: 1935. P. 61.