

**КОНДРАТЬЕВА Д. С., ЛЫСЕНКО А. П.  
РАСШИРЕНИЕ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БАЗИСА В ОБЛАСТИ  
ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗА СЧЕТ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*Кондратьева Дарья Сергеевна*

Студент магистратуры

Национальный Исследовательский Технологический Университет

«Московский Институт Стали и Сплавов»

Электронная почта: Dkandrateva.92@mail.ru

*Лысенко Андрей Павлович*

Кандидат технических наук, доцент

Национальный Исследовательский Технологический Университет

«Московский Институт Стали и Сплавов»

Электронная почта: reikis@yandex.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы антикоррозионной защиты металлических конструкций и их элементов. Описано общее состояние проблемы защиты металлических элементов от агрессивного внешнего воздействия. Описана разница использования протекторов из первичных металлов и вторичных металлов. Для проведения опытов нами был выбран сплав МЛ-5. В ходе проведенных экспериментов по снятию поляризационных кривых магниевого сплава МЛ-5 и стали Ст3 были получены графики для трех сред: кислой ( $pH=3,2$ ), щелочной ( $pH=10,95$ ) и нейтральной ( $pH=7,3$ ). Во время проведения эксперимента было установлено, что фрагмент водопровода вес свой не потерял, а сам протектор разрушается и теряет свою массу. Mg переходит в раствор, поверхность становится рыхлой и на дне реактора образуется серый осадок. Анализ осадка показал, что его состав соответствует интерметаллическому соединению  $Al_{12}Mg_{17}$ . Так как Mg более электроотрицательный металл, то он будет растворяться в первую очередь. Соединение  $Al_{12}Mg_{17}$  выступает как индивидуальный компонент, имеющее более положительный, чем у Mg, потенциал. Поэтому соединение  $Al_{12}Mg_{17}$  растворяться не будет. Оно будет выпадать в осадок. При этом теряется 18 % металла. Для создания протектора с улучшенными свойствами, мы предлагаем в сплав МЛ-5 добавлять Al или его сплав до получения соединения  $Al_{12}Mg_{17}$ . В этом случае будет работать весь сплав, т.е. осадка образовываться не будет, а протекторные свойства будут сохраняться до полного растворения интерметаллида. Для подтверждения полученных данным, нами были проведены опыты по снятию поляризационных кривых сплава  $Al_{12}Mg_{17}$  и стали Ст3. Из полученных данных следует, что в случае со сплавом  $Al_{12}Mg_{17}$  разность потенциалов меньше, чем у сплава МЛ-5. Во время работы такого протектора его материал растворяется равномерно и осадок не образуется.

*Ключевые слова:* протекторная защита, протектор, магний, сталь, трубопровод, поляризационные кривые, защита, коррозия, интерметаллид

**KONDRATEVA D. S., LYSENKO A. P.  
EXPANSION OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL BASIS  
IN THE SACRIFICIAL PROTECTION OF STEEL CONSTRUCTIONS THROUGH  
THE USE OF SECONDARY MAGNESIUM ALLOYS**

*Kondrateva Daria Sergeevna*

Student of MSc

National University of Science and Technology

«Moscow Institute of steel and alloys»

E-mail: Dkandrateva.92@mail.ru

**Lysenko Andrey Pavlovich**  
PhD (Technical), associate professor  
National University of Science and Technology  
«Moscow Institute of steel and alloys»  
E-mail: reikis@yandex.ru

**Abstract.** *The article considers the issues of corrosion protection of metal constructions and their elements. It describes general state of metal elements protection against aggressive external influences problem. The difference in use of protectors from primary and secondary metals is described. For laboratory experiments ML-5 alloy was selected. During polarization curves determination experiments for ML-5 magnesium alloy and St3 steel graphs for the three mediums were obtained: acidic (pH=3,2), alkaline (pH=10,95) and neutral (pH=7,3). During experiments it was found that a fragment of a water pipe did not lose its weight, and the protector was destroyed and lost its mass. Mg goes into solution; the surface becomes loose and grey sediment is formed at the bottom of the reactor. Analysis of the sediment showed that its composition corresponds to the intermetallic  $Al_{12}Mg_{17}$  compound. Because Mg is more electronegative metal, it will dissolve in the first place.  $Al_{12}Mg_{17}$  compound acts as an individual component that has more positive potential than Mg potential. Therefore, the  $Al_{12}Mg_{17}$  compound will not dissolve. It will precipitate. During this process 18% of metal is lost. To create protector with improved properties, we offer adding Al or its alloys into ML-5 alloy in order to obtain  $Al_{12}Mg_{17}$  compound. In this case, all alloy mass will be used in the process, which means the precipitate will not be formed, and the protective properties will be preserved until complete dissolution of the intermetallic compound. To confirm the obtained data, we carried out experiments on the determination of the polarization curves for  $Al_{12}Mg_{17}$  alloy and St3 steel. From the data obtained can be seen that in case of  $Al_{12}Mg_{17}$  alloy, the potential difference is smaller than that for the alloy ML-5. During utilization of such protector, its material is dissolved uniformly and the precipitate is not formed.*

**Keywords:** *sacrificial protection, protector, magnesium, steel, pipeline, polarization curves, protection, corrosion, intermetallic*

Одним из методов защиты от коррозии предполагается создание непроницаемого барьера между металлом трубопровода и окружающим его грунтом. Это достигается нанесением на трубу специальных защитных покрытий (битум, каменноугольный пек, полимерные ленты, эпоксидные смолы и пр.). Как правило, на практике не удается добиться полной сплошности изоляционного покрытия: различные виды покрытия имеют различную диффузионную проницаемость и поэтому обеспечивают различную изоляцию трубы от окружающей среды. В процессе строительства и эксплуатации в изоляционном покрытии возникают трещины, задиры, вмятины и другие дефекты. Поэтому, чаще всего используют в качестве защиты – протекторную защиту [1].

Обычно все протекторы изготавливают из первичных металлов. Самые распространенными являются: цинковый, магниевый и алюминиевый протекторы.

Цинковые протекторы применяют для защиты изделий от морской коррозии (в соленой воде). Если цинковый протектор эксплуатировать в слабосоленой, пресной воде либо почвах – он достаточно быстро покрывается толстым слоем оксидов и гидроксидов. Потенциал цинка равен -0,76 В.

Магниевый протектор используют в слабосоленых, пресных водах, почвах. Такие протекторы применяются в средах, где цинковые и алюминиевые протекторы малоэффективны. Так же в отличие от цинка и алюминия у магния и магниевых сплавов отсутствует поляризация, сопровождаемая уменьшением токоотдачи. Потенциал магния равен -2,36 В.

Алюминиевые протекторы эксплуатируются в прибрежном шельфе и проточной морской воде. Потенциал алюминия равен -1,66 В.

Защита от коррозии стальных изделий зависит от токоотдачи протектора [2]. Чем выше токоотдача протектора, тем надежней защищаются и дольше работают стальные

конструкции. Самая высокая токоотдача у магния, а самая низкая у цинка. Алюминий занимает промежуточное положение.

В настоящее время марочные сплавы цветных металлов пользуются большим спросом, как в России, так и за рубежом, для производства протекторов. Однако себестоимость цветных сплавов, полученных из первичных компонентов, очень высока из-за дороговизны чистых металлов.

Создание протекторов так же возможно из вторичного сырья. Расчеты показывают, что переработка вторичного сырья экономически выгодна. На производство не требуется значительных затрат. Предложенная технология дает существенный экономический эффект. Экономический эффект достигается за счет снижения себестоимости протекторов из-за внедрения использования более дешевого сырья – металлического лома и производства нового вида продукции, что позволяет увеличить зону защиты трубопровода и улучшить рабочие характеристики протекторов.

Для проведения опытов мы использовали сплав МЛ-5 следующего состава: Al – 8,%; Zn – 0,45 %; Mn – 0,67 %, Si – 0,21 %; Cu – 0,15 %; Fe – 0,14 %; Mg – 90,2 %.

В ходе проведенных экспериментов по защите стальных изделий (марка Ст3) при помощи магниевого протектора сделанного из вторичного магниевого сплава (марка МЛ-5) были сняты поляризационные кривые в трех средах: кислая (pH = 3,2), щелочная (pH = 10,95) и нейтральная (водопроводная вода с показателем pH = 7,3) на электрохимическом комплексе «ЭХК-10012».

Обработка полученных данных показала, что разница потенциалов между анодным материалом (магниевым сплавом) и защищаемым объектом (сталью) в случае кислой и нейтральной сред составляет 0,7 В и 0,6 В, а в случае щелочной среды - 0,4 В. Следовательно, защита объектов в кислых и нейтральных средах осуществляется более эффективно, чем в щелочной.

Для подтверждения вышеуказанных результатов нами были проведены дополнительные исследования. В пластмассовую емкость с раствором определенной кислотности помещался протектор вместе с фрагментом стального водопровода и выдерживался в течение 319 часов при температуре 25°C. В первой емкости pH составляла 7,25, а во второй 3,21. Кислотность растворов определяли при помощи pH-метра марки «МАРК-901». Для получения надежных результатов протекторы вместе с подзащитными стальными деталями доставали из раствора, разбирали, промывали, очищали от налета, сушили и взвешивали. Эта операция проводилась раз в сутки. После каждого взвешивания отработанный раствор меняли на новый, который готовили из дистиллированной воды и HCl, но с той же кислотностью, что и в начале опыта.

Полученные результаты показаны на рисунках 2 и 3.

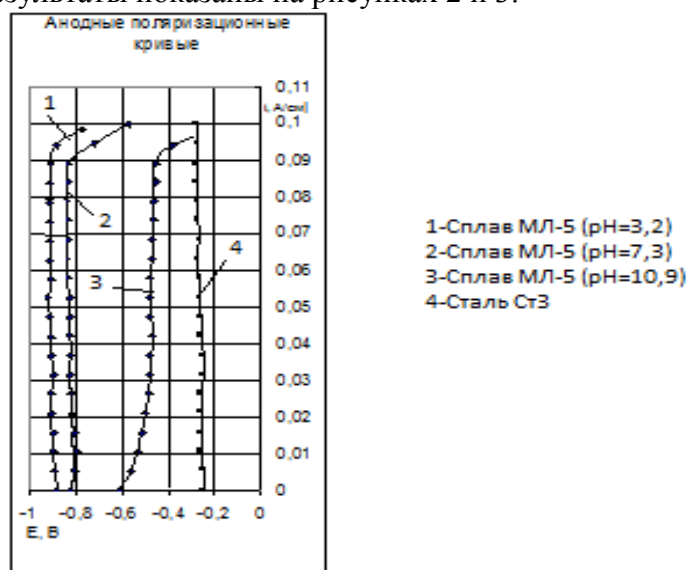


Рисунок 1 – Анодные поляризационные кривые магниевого сплава МЛ-5 и стали Ст3

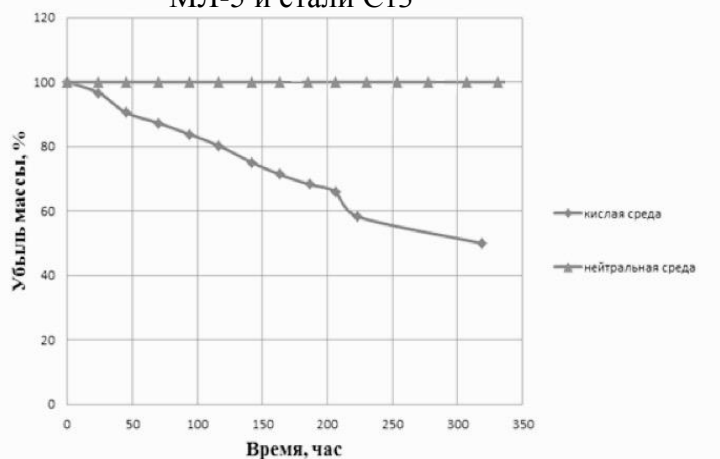


Рисунок 2- Убыль веса протекторов в кислой и нейтральной средах

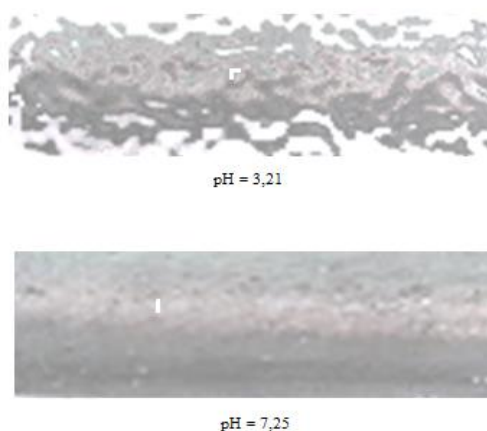


Рисунок 3-Влияние среды на форму и состояние поверхности протекторов

Во время эксперимента было установлено, что в обоих случаях вес стальной части протекторной защиты не зависит ни от кислотности почвы, ни от времени эксперимента и остается постоянной. А сам протектор при этом разрушается и теряет свою массу. Магний переходит в раствор, а на поверхности протектора образуется рыхлый осадок серого цвета, который отделяется от протектора и собирается на дне реактора. Рентгенофазовый анализ осадка показал, что его состав соответствует интерметаллическому соединению  $Al_{12}Mg_{17}$ .

Таким образом, при использовании магниевого сплава МЛ-5 в качестве протектора защитные функции берет на себя металлический магний, а остальная его часть, входящая в состав  $Al_{12}Mg_{17}$ , теряется вместе с алюминием.

Из диаграммы Al-Mg (рис.4) видно, что весовое соотношение Al:Mg в интерметаллиде  $Al_{12}Mg_{17}$  составляет 1:1,26. А в сплаве МЛ-5 соотношение Al:Mg составляет 1:11. Концентрация Mg равная 90% соответствует сплаву МЛ-5 и находится с правой стороны диаграммы. Так как магний более электроотрицательный металл, то он будет растворяться в первую очередь [4]. Интерметаллическое соединение  $Al_{12}Mg_{17}$  выступает как индивидуальный компонент, имеющее более положительный, чем у магния, потенциал [3]. Поэтому вышеуказанное соединение электрохимически растворяться не будет. Оно отделяется от поверхности протектора и выпадает в осадок.

При этом теряется 18 % металла, который не участвует в защите стальной конструкции, например, трубопровода.

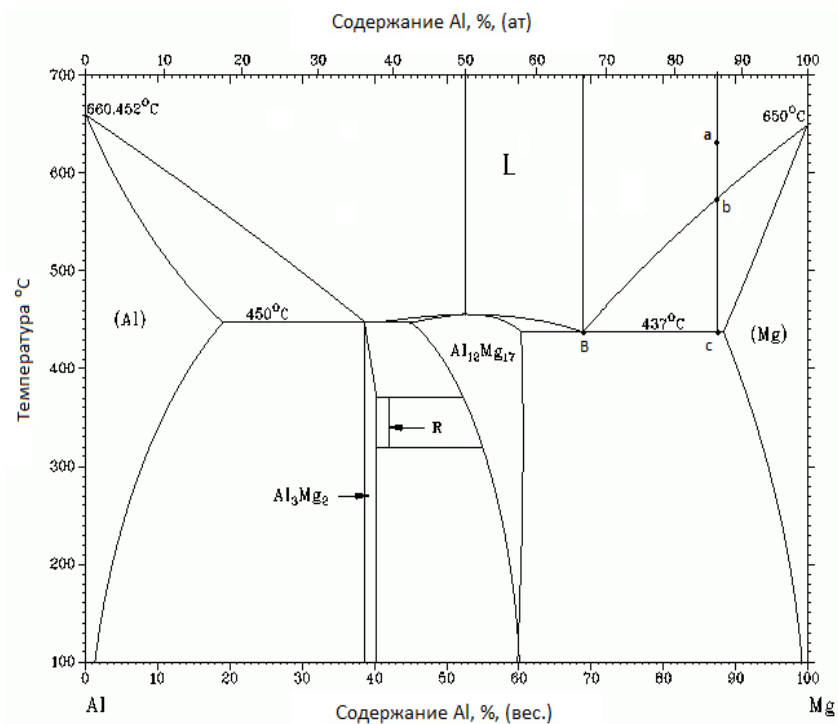


Рисунок 4—Диаграмма состояния Al-Mg

Для создания протектора с улучшенными свойствами, мы предлагаем в сплав МЛ-5 добавлять алюминий или его сплав до получения соединения  $Al_{12}Mg_{17}$ . В этом случае будет работать весь сплав, т.е. осадка образовываться не будет, а протекторные свойства будут сохраняться до полного растворения интерметаллида.

Мерой эффективности работы протектора может служить его потенциал. У  $Al_{12}Mg_{17}$  он составляет  $-2,07$  В. Для проверки расчетных данных нами проведена серия опытов по снятия поляризационных кривых на сплавах  $Al_{12}Mg_{17}$  и МЛ-5 по отношению к Ст3 (рис.5). Из полученных данных следует, что в случае использования протектора из сплава  $Al_{12}Mg_{17}$ , разность потенциалов между сталью Ст3 и сплава  $Al_{12}Mg_{17}$  меньше, чем при использовании сплава МЛ-5. Несмотря на некоторое уменьшение токоотдачи у протектора, сделанного из сплава  $Al_{12}Mg_{17}$ , последний срабатывает полностью и затраты на его изготовления значительно ниже, чем на протекторы сделанные из первичных металлов [5]. Во время работы такого протектора его материал растворяется равномерно и осадок не образуется. При этом протектор сохраняет гладкую поверхность.

#### Анодные поляризационные кривые

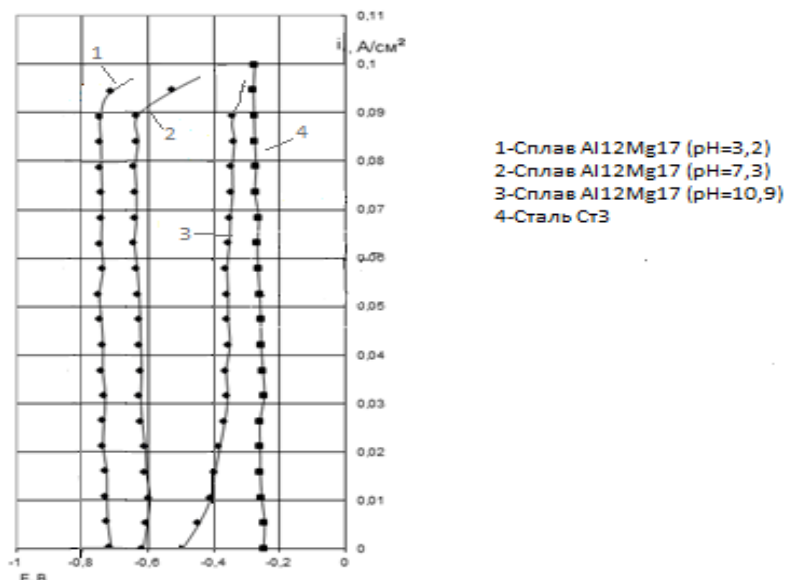


Рисунок 5-Анодные поляризационные кривые сплава  $Al_{12}Mg_{17}$  и стали Ст3

На основании проведенных исследований был сделан вывод, что использование соединения -  $Al_{12}Mg_{17}$  может использоваться в качестве материала для протекторов с экономической выгодой. При этом эффективность работы протектора не меняется.

#### Список литературы

1. Исаев Н.И., Коррозия и защита металлов: Разд.: Электрохимическая коррозия. Анодные процессы. - М.: Metallurgy, 1980.
2. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии. - М.: Metallurgy, 1984.
3. Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия. - СПб.: Химия, 1970.
4. Андреев Ю.Я., Электрохимия металлов и сплавов: учеб. пособие / Ю.Я.Андреев . - Изд. Дом МИСиС, 2011.
5. Портной К.И., Лебедев А.А., Магниевые сплавы. - М.:1952.

#### References

1. Isaev N. And. Corrosion and protection of metals: Div.: Electrochemical corrosion. Anodic processes. - M.: Metallurgy, 1980.
2. Backman V., Schwenk V. Cathodic corrosion protection. - M.: Metallurgy, 1984.
3. Scorcelletti, V. V. Theoretical electrochemistry. - SPb.: Chemistry, 1970
4. Andreev Yu. Ya., electrochemistry of metals and alloys : proc. guide / Y. Andreev . - Ed. House MISiS, 2011.
5. Tailor K. I., A. A. Lebedev, Magnesium alloys. - Moscow:1952.