

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВАНИЙ ШИФФА В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ

© Мехдиева Лала Ашраф гызы (а), Мамедова Парвин Шамхал гызы (b),
Бабаев Эльбей Расим оглу (с)

- (а) Институт Химии Присадок, Азербайджан, г. Баку; докторант лаборатории «Смазочно-охлаждающие композиции»
(b) Институт Химии Присадок, Азербайджан, г. Баку; д.х.н., зав. лаборатории «Смазочно-охлаждающие композиции»
(с) Институт Химии Присадок, Азербайджан, г. Баку; кандидат химических наук, в.н.с. лаборатории «Защитные органические соединения»

Аннотация. Основания Шиффа находят широкое применение в различных областях промышленности и быта. Кроме того, они часто используются в качестве лигандов для образования комплексных соединений, которые могут применяться в качестве катализаторов химических процессов. С другой стороны, наличие высокой биологической активности этих соединений позволяет использовать их в качестве лекарственных препаратов в фармакохимии и фармацевтике. Еще одной областью применения оснований Шиффа является их применение в качестве ингибиторов коррозии стали, меди, алюминия и сплавов этих металлов. В настоящей статье рассмотрены результаты исследований в области применения оснований Шиффа в качестве ингибиторов коррозии.

Ключевые слова: основания Шиффа, ингибиторы коррозии, адсорбция физическая и химическая, азометины, анилы.

APPLICATION OF SCHIFF BASES AS ACORROSION INHIBITORS

© Mehdiyeva Lala Ashraf (a), Mammadova Parvin Shamkhal (b),
Babayev Elbey Rasim (c)

- (a) Institute of Chemistry of Additives, Azerbaijan, Baku; doctoral student of the laboratory "Lubricating and cooling compositions"
(b) Institute of Chemistry of Additives, Azerbaijan, Baku; Doctor of Chemical Sciences, Head Laboratory "Lubricating and cooling compositions"
(c) Institute of Chemistry of Additives, Azerbaijan, Baku; Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher Laboratory of Protective Organic Compounds

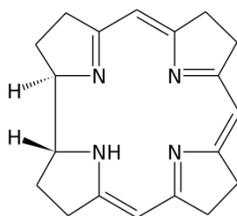
Abstract. Schiff bases are widely used in various fields of industry and everyday life. In addition, they are often used as ligands for the formation of complex compounds that can be used

as catalysts in chemical processes. On the other hand, the presence of high biological activity of these compounds allows them to be used as drugs in pharmacochemistry and pharmaceuticals. Another area of application for Schiff bases is their use as corrosion inhibitors for steel, copper, aluminum and alloys of these metals. This article discusses the results of research in the field of application of Schiff bases as corrosion inhibitors.

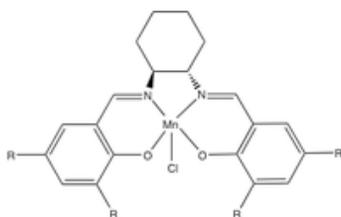
Key words: Schiff bases, corrosion inhibitors, physical and chemical adsorption, azomethines, anils.

Основания Шиффа можно рассматривать как производные альдегидов или кетонов, содержащих в своем составе азометиновую или иминную группу вместо карбонильной группы. Помимо того, что они часто используются в промышленности, они обладают разнообразными биологическими действиями. Это наиболее широко используемые органические химические вещества, которые применяются в качестве катализаторов, пигментов и красителей, стабилизаторов полимеров и промежуточных продуктов в органическом синтезе. Таким образом, альдегиды и кетоны реагируют с первичными алифатическими и ароматическими аминами с образованием оснований Шиффа. Первичный амин и альдегид обычно конденсируются в присутствии органических растворителей, таких как метанол, тетрагидрофуран и 1,2-дихлорэтан. Также было показано, что микроволновое облучение является наиболее простым методом синтеза простого основания Шиффа без отсутствия растворителей. Основания Шиффа имеют общую структуру $R_2C=NR'$. В зависимости от их структурного состава они могут быть либо вторичными кетеминами, либо альдимидами. Эти вещества названы в честь итальянского химика Хьюго Шиффа.

В некоторых случаях основания Шиффа используются в качестве лигандов для создания координационных комплексов с ионами металлов. Подобные комплексы существуют в природе, например, в коррине, но большинство оснований Шиффа являются искусственными и используются для образования многих важных катализаторов, таких как катализатор Якобсена.



коррин



катализатор Якобсена

Рис. 1. Структурные формулы коррина и катализатора Якобсена

Отмечается [1], что создание основания Шиффа стало большим шагом вперед в области координационной химии. Основания Шиффа сыграли определяющую роль в развитии координационной химии и явились ключевым моментом в развитии неорганической, бионеорганической химии и оптических материалов. Основания Шиффа, широко используемые в неорганической, органической и аналитической химии, составляют значительную часть наиболее часто используемых классов органических молекул. Способность лигандов оснований Шиффа образовывать стабильные комплексы металлов с широким спектром переходных и других ионов металлов делает их чрезвычайно полезными.

Комплексы неблагородных металлов Шиффа привлекли значительное внимание в научном сообществе из-за их уникальных свойств и универсального применения в различных областях, включая промышленность и биологию [2]. Эти комплексы проявляют различные биологические активности, включая противовирусные, цитостатические, антибактериальные, противораковые и противогрибковые свойства. Кроме того, они обладают исключительной каталитической активностью в отношении широкого круга соединений. В этом обзоре представлено всестороннее исследование истории, химии, синтеза и различных применений металлических комплексов на основе лигандов на основе Шиффа с акцентом на их биологическое и каталитическое применение.

В работах [3,4] сообщается, что аниловые соединения представляют собой основания Шиффа, полученные из анилинового фрагмента, содержащего фенильную или замещенную фенильную группу, которые иногда называют азокрасителями. Эти основания Шиффа могут быть получены непосредственно из ароматического амина с ароматическими карбонильными группами, которые стабильны и с ними можно манипулировать в различных и подходящих условиях. Явления координации оснований Шиффа с ионами металлов дают основаниям Шиффа хорошие преимущества для использования в синтезе красителей. Классификация красителей основана на химическом строении или на основе хромофорной системы. Красители на основе комплексов металлов представляют собой комбинации красителей и ионов металлов, в которых координационный комплекс может применяться или использоваться в качестве факторов улучшения в методах окрашивания. Исследование и характеристику полученных красителей проводили с использованием различных физических методов. Полученные красители наносили на различные волокна, такие как овечья шерсть и козья шерсть, с двумя основаниями Шиффа, синтезированными из салицилового альдегида либо с 2-аминофенолом, либо с 2-аминобензиловым спиртом. Также исследовано влияние протравного типа на процесс окрашивания.

В обзорной работе [5] подчеркивается разнообразное значение комплексов оснований Шиффа во многих областях, таких как координационная химия, катализ, фармацевтика, пищевая промышленность, красильная промышленность, аналитическая химия и биологические процессы.

Таким образом, основания Шиффа находят самое широкое применение в различных областях, в связи с чем исследования в области синтеза и применения этих соединений чрезвычайно актуальны. В этой работе нами рассмотрены исследования в области изучения антикоррозионных свойств оснований Шиффа.

Так, в работе [6] отмечается, что воздействие коррозии на окружающую среду очень опасно и требует больших мировых усилий и средств. Авторами обсуждается защита окружающей среды, металлов и металлических инфраструктур с помощью эффективных ингибиторов оснований Шиффа. Ингибиторы коррозии [(1E 3E)-N1,N3-дибутил-1-(тиофен-2-ил)бутан-1,3-диимин] (ГСБ-1) и [(1Z, 3Z)-N1, N3-бис(4-метилгексан-2-ил)-1-(тиофен-2-

ил)бутан-1,3-диимин] (ГСБ-II) были успешно синтезированы и оценены для защиты стали API 5L X65 (CS) в среде 1 М HCl с использованием электрохимических методов, СЭМ/ЭДС и квантово-химических расчетов. Эффективность ГСБ-I и ГСБ-2 пропорциональна концентрации теста. Было определено, что в присутствии 1 мМ ГСБ-I и ГСБ-II максимальная ингибирующая эффективность составляет 90,6 и 93,8% соответственно. Согласно потенциодинамическим поляризационным испытаниям, эти два соединения являются эффективными ингибиторами коррозии смешанного типа. Физисорбция и хемосорбция обоих ингибиторов следовали изотерме Ленгмюровской адсорбции на поверхности CS. Была изучена биологическая реактивность обоих ГСБ, и были получены обнадеживающие результаты в отношении противогрибкового, антибактериального, и биоцидные средства против сульфатредуцирующих бактерий (СРБ). Кроме того, с помощью расчетов DFT и моделирования молекулярной динамики (МД) было исследовано влияние молекулярной конфигурации ГСБ-I и ГСБ-II на поведение ингибирования коррозии в кислых средах.

Ингибирующая способность пяти производных азометина, таких как: 1-(4-метилоксифенилимино)-1-(фенилгидразоно)-пропан-2-он (SB1), 1-(4-метилфенилимино)-1-(фенилгидразоно)пропан-2-он (SB2), 1-(фенилимино)-1(фенилгидразоно)-пропан-2-он (SB3), 1-(4-Бромфенилимино)-1(фенилгидразоно)-пропан-2-он (SB4) и 1-(4-хлорфенилимино)-1(фенилгидразоно)-пропан-2-он (SB5) в качестве ингибиторов коррозии мягкой стали в серной кислоте 0,5 М исследовали различными методами. Все экспериментальные результаты показывают, что эти соединения являются эффективными ингибиторами. Эффективность ингибирования увеличиваются с концентрацией ингибиторов. В $7,5 \times 10^{-5}$ М эффект ингибирования составлял 97,27%, 96,31%, 94,23%, 93,19 и 91,64% для SB1, SB2, SB3, SB4 и SB5 соответственно. Результаты потенциодинамической поляризации показали, что все исследованные ингибиторы действуют по смешанному типу. Процесс адсорбции на поверхности мягкой стали подчиняется изотерме Ленгмюра. Были рассчитаны и обсуждены соответствующие параметры активации и термодинамика. Адсорбированная пленка, образующаяся на поверхности металла, была охарактеризована методами СЭМ и ЭДС.

Два азометиновых лиганда, полученные из производных 2-4-дигидроксибензальдегида и бензиламина, были успешно синтезированы с помощью обычного метода конденсации [8]. Физико-химические свойства были установлены с помощью элементного анализа (CHNS), инфракрасной спектроскопии (IR) и спектроскопии ядерного магнитного резонанса (NMR). Результаты замедления коррозии двух азометинов, полученных из бензиламина, а именно А1 и А2, для низкоуглеродистой стали в 1М HCl при различных концентрациях были изучены на основе измерения поляризации и спектроскопии электрохимического импеданса (ЭИС). На основании результатов импеданса видно, что увеличение концентрации добавок одновременно увеличивает сопротивление переносу заряда и снижает емкость двойного слоя. Параметры измерения поляризации показали, что в присутствии ингибиторов коррозионный потенциал (E_{corr}) изменяется в направлении катодной области по сравнению с неингибированным раствором и подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра. Добавки А1 и А2 относятся к ингибиторам смешанного типа, так как сдвиг потенциала коррозии составляет менее ± 85 мВ по сравнению с потенциалом коррозии в отсутствие раствора ингибитора. Согласно электрохимическим измерениям, А2 демонстрирует эффективность ингибирования до 95%. Сканирующая электронная микроскопия

(СЭМ) и атомно-силовая микроскопия (АСМ) выявили улучшение состояния металлической подложки на границе раздела металл/раствор в присутствии ингибиторов А1 и А2. Согласно исследованию теории функционала плотности (DFT), ингибитор А2 улучшил эффективность ингибирования благодаря высокой растворимости в воде, в отличие от А1. Присутствие фтора в А2 приводит к тому, что граничные орбитали ВЗМО более делокализованы, чем в А1, что увеличивает адсорбцию всей молекулы на границе раздела металл/раствор, что также объясняет повышенную эффективность ингибирования по сравнению с А1. Выводы были подтверждены дальнейшими исследованиями, основанными на анализе элементного состава границы раздела металл/раствор с использованием рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). На основании анализа XPS было доказано, что адсорбция ингибитора А2 на поверхности раздела мягкая сталь-электролит в основном осуществляется посредством хемосорбции из углерода, обнаруженного в бензольном кольце, и физической адсорбции через азот в $C=N^+$, которые также объясняют улучшенную эффективность ингибирования по сравнению с А1.

Показано [9], что ингибирование коррозии хелатами переходных металлов, полученными из лигандов оснований Шиффа, было испытано на (мягкой, медной, нержавеющей, алюминиевой и углеродистой) стали в различных концентрациях (HCl , HNO_3 и H_2SO_4) в кислой среде при $25\text{ }^\circ C$ с помощью методов (потеря веса, потенциодинамическая поляризация, поляризационные кривые, спектроскопия электрохимического импеданса (EIS) и измерения потенциала разомкнутой цепи (ОСР)). Исследуемые соединения идентифицировали различными спектральными, аналитическими и физико-химическими методами. Было замечено, что исследуемые соединения оказывают значительное ингибирующее влияние на коррозию различных сталей в исследуемой среде. Анализ показывает, что увеличение дозы исследуемых комплексов улучшает соответствующие показатели ингибирующей эффективности. Отрицательные результаты свободной энергии адсорбции Гибба (ΔG_{ads}^0) свидетельствуют о спонтанной и физической адсорбции процесса подавления, что противоречит изотерме адсорбции Ленгмюра.

В работе [10] синтезированный N_4,N_4' -бис(2,3,4-нитробензилиден)бифенил-4-4'-диамин(В1-В3) был испытан в качестве ингибитора при контроле коррозии углеродистой стали в 3,5% растворе $NaCl$ с использованием потенциала разомкнутой цепи (ОСР) при четырех различных температурах (293, 303, 313 и 323 К). Кроме того, морфологию поверхности исследовали с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ). Также было исследовано влияние использования различных оснований Шиффа и температуры. Основания Шиффа были синтезированы и охарактеризованы с помощью инфра-красной спектроскопии с преобразованием Фурье (FT-IR) и атомно-силовой микроскоп (АСМ) характеризуются. Экспериментальные результаты показали, что основания Шиффа могут рассматриваться как превосходные ингибиторы коррозии углеродистой стали в 3,5% растворе $NaCl$, при этом присутствие оснований Шиффа значительно подавляло коррозию углеродистой стали. Эффективность ингибирования снижается с повышением температуры. Рассчитывали кинетические и термодинамические параметры активации (E_a , A , ΔH^* , ΔS^* и ΔG^*).

В работе [11] исследуются физические характеристики некоторых оснований Шиффа для определения наилучших ингибиторов коррозии с использованием 6-311G/ (д, п) базового набора и функциональную теорию плотности (DFT) для оценки эффективности ингибитора. Физические характеристики, такие как энергия ионизации (дипольный момент, мягкость и твердость) вычисляются для соединений с занятыми орбиталями (энергетическая щель).

Новое производное азометина, а именно 5-(((4-гидроксibenзилиден)амино)метил)хинолин-8-ол (НВНQ), было синтезировано и идентифицировано различными спектроскопическими методами [12]. Продукт оценивали в отношении ингибирования коррозии углеродистой стали (CS) в 1 М HCl с использованием тафелевской поляризации, потери веса и спектроскопии электрохимического импеданса. Их свойство антикоррозионной активности относительно в концентрациях и достигало 92 % при оптимальной концентрации 10^{-3} М. Поляризационные исследования показали, что вновь синтезированный ингибитор имеет смешанный характер. Данные ЭИС показывают, что образование защитного слоя из производного азометина увеличивает сопротивление переносу заряда и снижает емкость двойного слоя углеродистой стали в кислой среде. Процесс адсорбции НВНQ на границе раздела углеродистой стали в соляной кислоте изучали при различных температурах (298–338 К) с помощью тафелевских поляризационных измерений. Адсорбция азометинового производного на поверхности углеродистой стали (CS) следовала изотерме адсорбции Ленгмюра, и для определения характера процесса адсорбции были оценены различные термодинамические и активационные параметры. Квантово-химические расчеты проводились с использованием методов, основанных на теории функционала плотности (DFT/B3LYP) и моделировании методом Монте-Карло (MC). Действительно, результаты, полученные этим расчетом, отражают хорошее согласие с практической частью.

Соединения оснований Шиффа N,N - бис(салицилидин)-4,4 - диаминостильбен(SDS) и N,N - бис(салицилидин)-4,4-были синтезированы диаминоазобензолы (SDA), и их молекулярная структура определена с помощью FT-IR и ^1H ЯМР [13]. Ингибирование коррозии соединениями на основе Шиффа на алюминиевом сплаве 2024 в 1 М соляной кислоте оценивали методами потенциодинамической поляризации, импеданса, метода потери веса и метода сканирующей электронной микроскопии. Исследования потенциодинамической поляризации (PDP) показали, что соединения SDS и SDA действуют преимущественно как катодные ингибиторы. Параметры спектроскопии электрохимического импеданса (ЭИС) подтвердили адсорбцию молекул SDS и SDA на поверхности алюминиевого сплава 2024 путем образования ингибирующего слоя. Исследования потери веса показали, что эффективность ингибирования этих соединений увеличивается непосредственно с концентрацией и снижается с увеличением температуры раствора и времени погружения. Рассчитаны термодинамические параметры для исследования механизма ингибирования коррозии. Было обнаружено, что SDA более эффективен, чем SDS, и соответствует модели изотермы адсорбции Ленгмюра. Результаты растровой электронной микроскопии (СЭМ) показали, что ухудшение поверхности сплава в присутствии ингибитора минимально. Обе молекулы основания Шиффа продемонстрировали превосходное ингибирование коррозии для алюминиевого сплава 2024 в среде HCl.

Ингибирование коррозии меди двумя новыми основаниями Шиффа в 0,5 М H_2SO_4 при 250°C было изучено с помощью электрохимических тестов (потенциодинамическая поляризация и метод импеданса переменного тока) [14]. Эти исследования показали, что два основания Шиффа являются хорошими ингибиторами меди в 0,5 М H_2SO_4 . Полученные результаты показывают, что с увеличением концентрации двух оснований Шиффа значения сопротивления поляризации (Rt) увеличиваются, значения емкости двойного слоя (Cdl) уменьшаются, а эффективность ингибирования увеличивается. Процесс ингибирования связывают с образованием на поверхности металла адсорбционной пленки, защищающей

металл от агрессивных агентов. Было обнаружено, что эти два основания Шиффа химически адсорбируются на поверхности меди и следуют изотерме Ленгмюра. Поляризация Тафеля показала, что два основания Шиффа действуют как анодные ингибиторы.

Атомистическое моделирование и симуляции становятся все более важными в области ингибирования коррозии [15]. В этой работе метод моделирования Монте-Карло, включающий молекулярную механику и молекулярную динамику, был использован для моделирования адсорбции двух производных основания Шиффа, а именно 4-(4-аминостирил)-N,N-диметиланилина (АНД) и 2-((4-(4-(4-диметиламино))фенилимино)метил) (ДСМ), на поверхности меди. Наши результаты показывают, что оба соединения являются потенциальными ингибиторами коррозии меди, а эффективность ингибирования DSM выше, чем у AND.

Работа [16] посвящена коррозии низкоуглеродистой стали в 1M HCl и ингибирующему действию лигандов оснований Шиффа [N-(*n*-анизалиден)-6-метокси-1,3-бензотиазол-2-амин (АМБТА) и N-(2-гидрокси-1-нафталиден)-6-метокси-1,3-бензотиазол-2-амин (ГНМБТА)], полученных из 2-амино-6-метокси-бензотиазола (АМБТ) методом потери веса и электрохимическими исследованиями. Морфологию поверхности пластин из мягкой стали в присутствии и в отсутствие ингибиторов исследовали с помощью СЭМ.

Эффективность ингибирования коррозии двух новых оснований Шиффа, а именно (E)-3-[тиофен-2-илметиленамино]бензойной кислоты (Т2УМАВА) и (E)-4-(5-[(2-фенилгидразино)метил]тиофен-2-ил)бензойной кислоты (РНМТ2УВА), на мягкой стали (MS) в 1,0 M растворе HCl была исследована и сопоставлена с использованием спектроскопии электрохимического импеданса и мощного иодинамического поляризационного анализа [17]. Основания Шиффа продемонстрировали очень хорошее ингибирование коррозии низкоуглеродистой стали в среде 1,0 M HCl, и эффективность ингибирования увеличивалась с увеличением концентрации ингибитора. Поляризационные исследования показали, что Т2УМАВА действует как ингибитор смешанного типа, тогда как молекулы РНМТ2УВА действуют как анодный ингибитор.

Три новых основания Шиффа, полученные из 3-формилхромона с сульфациридазином (К3), 3-формил-6-метилхромом с сульфаметоксипиридазином (Н3) и 3-формил-6-метилхромом с сульфакроксиллом (Н4) синтезированы в работе [18]. Структуры были подтверждены ИК, ^1H и ^{13}C NMR и масс-спектрометрией. Ингибирование коррозии этих соединений на углеродистой стали в технической воде были исследованы с использованием методов потери веса и поляризации Тафеля. Исследовано влияние температуры и концентрации. Соединения были проверены на их *in vitro* антимикробную активность в отношении четырех типов бактерий, широко известных на нефтяных месторождениях.

В работе [19] три основания Шиффа (SB), а именно 2-(2-гидроксибензилиденамино) гептандиовая кислота (SB-1), 2-(4-(диметиламино)бензилиденамино)гептандиовая кислота (SB-2) и 2-(4-гидрокси-3-метоксибензилиденамино) гептандиовой кислоты (СБ-3) и их коррозионно-ингибирующие свойства на мягких сталях в 1M HCl были исследованы с использованием методов потери веса, потенциодинамической поляризации и электрохимического импеданса спектроскопии (EIS). Потенциодинамические поляризационные измерения показывают, что SB действуют как ингибиторы смешанного типа. Морфологию поверхности мягкой стали исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Со-

став поверхности оценивали с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX), чтобы показать наличие SBs на поверхности из мягкой стали. Адсорбция SB на поверхности мягкой стали подчиняется изотерме адсорбции Ленгмюра.

В работе [20] эффективность некоторых синтезированных оснований Шиффа в качестве ингибиторов коррозии исследовалась с использованием гравиметрических и FTIR-методов. Основания Шиффа были охарактеризованы с использованием инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Основания Шиффа, имеющие различные лиганды (а именно, лиганд меди (CuL) и лиганд железа (FL)) исследовали на предмет их эффективности в отношении ингибирования коррозии алюминия в HCl (0,1 M) и H₂SO₄ (0,05 M) соответственно гравиметрическим методом. Результаты показывают хорошую эффективность ингибирования, которая увеличивается с увеличением концентрации ингибитора, но снижается с повышением температуры и продолжительностью контакта. Изотерма адсорбции Ленгмюра лучше всего соответствовала адсорбционным характеристикам ингибиторов, и адсорбция была спонтанной, эндотермической, упорядоченной и соответствовала механизму физической адсорбции. Таким образом, синтезированные основания Шиффа считаются полезными продуктами для ингибирования коррозии алюминия в средах HCl и H₂SO₄. Однако эффективность ингибирования лучше в H₂SO₄, чем в HCl из-за пассивации.

Подводя итог по результатам исследований в области применения оснований Шиффа в качестве ингибиторов коррозии, можно заключить, что эти соединения обладают хорошими антикоррозионными свойствами и могут быть использованы в качестве ингибиторов коррозии в нефтехимическом производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meena R., Kumari A., Sharma A. Schiff Bases and Their Metal Complexes: Synthesis, Structural Characteristics and Applications // in Book Schiff Base in Organic, Inorganic and Physical Chemistry. 2023. 396 p.
2. Boulechfar Ch., Delimi A., Djedouani A. Schiff Bases and Their Metal Complexes: A review on the history, synthesis, and applications // Inorganic Chemistry Communications. 2023. N 1. Pp. 1-24
3. Abuamer K., Maihub A., El-Ajaily M., Etorki A. The Role of Aromatic Schiff Bases in the Dyes Techniques // International Journal of Organic Chemistry. 2014. Vol. 4. N 1. Pp. 7-15
4. Abuamer K., El-Ajaily M., Maihub A., Elarbi F. The Role of Schiff Bases in Dyes Techniques Applications: A Review // Asian Journal Adv. Basic Sci. 2018. Vol. 6. N 1. Pp. 77-85
5. Kumar R., Ravikant A. Review on Synthesis and Application of Schiff base and its transition metal complexes // Research Journal of Chemical And Environmental Sciences. 2014. Vol. 2. N 2. Pp. 1-4
6. Farag A., Toghan A., Mostafa M., Lan Ch. Environmental Remediation through Catalytic Inhibition of Steel Corrosion by Schiff's Bases: Electrochemical and Biological Aspects // Catalysts. 2022. Vol. 12. N 8. Pp. 838-844

7. Hamani H., Daoud D., Behabid S., Douadi T. Investigation on corrosion inhibition and adsorption mechanism of azomethine derivatives at mild steel/0.5 M H₂SO₄ solution interface: Gravimetric, electrochemical, SEM and EDX studies // Journal of the Indian Chemical Society. 2022. Vol. 99. N 2. Pp. 100330-100337
8. Hashim N., Zakiah N., Ashraf M., Kahar K. Experimental and theoretical studies of azomethines derived from benzylamine as corrosion inhibitors of mild steel in 1 M HCl // Journal of Molecular Structure. 2020. Vol. 1222. N 1. Pp. 128899-128904
9. El-Lateef H., El-Dabea T., Khalaf M., Abu-Dief A. Innovation of Imine Metal Chelates as Corrosion Inhibitors at Different Media: A Collective Study // Inter. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. N 16. Pp. 9360-9367
10. Mohammed M. T., Al-Sieadi W. N., Al-Jeilawi O.H.R. Corrosion inhibitor of carbon steel in 3.5%NaCl solution with Schiff base compounds // International Journal of Health Sciences. 2022. Vol. 6. N 6. Pp 57-75.
11. Abdullah A., Naser A. Predict the ability of inhibition corrosion by AzoSchiff bases compounds derivatives // International Journal of Mechanical Engineering. 2022. Vol. 7. N 1. Pp. 6433-6439
12. El-Yakimi A., Lachiri A., Faydy E., Benhiba F. Inhibitor effect of new azomethine derivative containing an 8-hydroxyquinoline moiety on corrosion behavior of mild carbon steel in acidic media // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Vol. 7. N 4. Pp. 609-632
13. Bhascara Sh., Fakrudeen S., Desalegn T., Murthy H. Evaluation of Corrosion Inhibition Efficiency of Aluminum Alloy 2024 by Diaminostilbene and Azobenzene Schiff Bases in 1 M Hydrochloric Acid // International Journal of Corrosion. 2021. Vol. 2021. N 5. Pp. 1-7
14. Ravari F.B., Dadgarinezhad A., Shekhshosei I. Investigation on two salen type schiff base compounds as corrosion inhibition of copper in 0.5 M H₂SO₄ // Gazi University Journal of Science. 2009. Vol. 22. N 3. Pp. 175-182
15. Guo L., Ren X., Zhou Y., Shenying X. Monte Carlo simulations of corrosion inhibition of copper by two Schiff bases // Proceedings of the 2015 International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering. 2015. 131-134 pp.
16. Bagavathy S., Ganesan P.K. Corrosion inhibition studies on Schiff bases derived from 2-amino-6-methoxy-benzothiazole // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 2015. Vol. 7. N 2. Pp. 830-839
17. Kuriakose N., Thomas J., Raphael V., Varghese S. Quantum mechanical and electrochemical investigations on corrosion inhibition properties of novel heterocyclic Schiff bases // Current Chemistry Letters. 2017. Vol. 6. N 4. Pp. 177-186
18. Hadi J.S., Bhkakh C. Corrosion, inhibition and biological evaluation investigations of Schiff bases derived from formyl chromone // Pelagia Research Library. 2015. Vol. 6. N 5. Pp. 103-112
19. Verma B., Quraishi M.A. Schiff's Bases of Glutamic Acid and Aldehydes as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel: WeightLoss, Electrochemical and Surface Analysis // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. Vol. 3. N 7. Pp. 14601-14613

20. Aliyu A.O., Awe F.E., Faruruwa M.D., Abawua T.E. Synthesis of Some Schiff Bases and Investigation of their Corrosion Inhibition Efficiencies for Aluminum in Acidic Media // Communications in Physical Sciences. 2022. Vol. 8. N 1. Pp. 42-57

REFERENCES

1. Meena R., Kumari A., Sharma A. Schiff Bases and Their Metal Complexes: Synthesis, Structural Characteristics and Applications // in Book Schiff Base in Organic, Inorganic and Physical Chemistry. 2023. 396 p.
2. Boulechfar Ch., Delimi A., Djedouani A. Schiff Bases and Their Metal Complexes: A review on the history, synthesis, and applications // Inorganic Chemistry Communications. 2023. N 1. Pp. 1-24
3. Abuamer K., Maihub A., El-Ajaily M., Etoriki A. The Role of Aromatic Schiff Bases in the Dyes Techniques // International Journal of Organic Chemistry. 2014. Vol. 4. N 1. Pp. 7-15
4. Abuamer K., El-Ajaily M., Maihub A., Elarbi F. The Role of Schiff Bases in Dyes Techniques Applications: A Review // Asian Journal Adv. Basic Sci. 2018. Vol. 6. N 1. Pp. 77-85
5. Kumar R., Ravikant A. Review on Synthesis and Application of Schiff base and its transition metal complexes // Research Journal of Chemical And Environmental Sciences. 2014. Vol. 2. N 2. Pp. 1-4
6. Farag A., Toghan A., Mostafa M., Lan Ch. Environmental Remediation through Catalytic Inhibition of Steel Corrosion by Schiff's Bases: Electrochemical and Biological Aspects // Catalysts. 2022. Vol. 12. N 8. Pp. 838-844
7. Hamani H., Daoud D., Behabid S., Douadi T. Investigation on corrosion inhibition and adsorption mechanism of azomethine derivatives at mild steel/0.5 M H₂SO₄ solution interface: Gravimetric, electrochemical, SEM and EDX studies // Journal of the Indian Chemical Society. 2022. Vol. 99. N 2. Pp. 100330-100337
8. Hashim N., Zakiah N., Ashraf M., Kahar K. Experimental and theoretical studies of azomethines derived from benzylamine as corrosion inhibitors of mild steel in 1 M HCl // Journal of Molecular Structure. 2020. Vol. 1222. N 1. Pp. 128899-128904
9. El-Lateef H., El-Dabea T., Khalaf M., Abu-Dief A. Innovation of Imine Metal Chelates as Corrosion Inhibitors at Different Media: A Collective Study // Inter. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. N 16. Pp. 9360-9367
10. Mohammed M. T., Al-Sieadi W. N., Al-Jeilawi O.H R. Corrosion inhibitor of carbon steel in 3.5%NaCl solution with Schiff base compounds // International Journal of Health Sciences. 2022. Vol. 6. N 6. Pp 57-75.
11. Abdullah A., Naser A. Predict the ability of inhibition corrosion by AzoSchiff bases compounds derivatives // International Journal of Mechanical Engineering. 2022. Vol. 7. N 1. Pp. 6433-6439
12. El-Yakimi A., Lachiri A., Faydy E., Benhiba F. Inhibitor effect of new azomethine derivative containing an 8-hydroxyquinoline moiety on corrosion behavior of mild carbon steel in acidic media // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Vol. 7. N 4. Pp. 609-632

13. Bhascara Sh., Fakrudeen S., Desalegn T., Murthy H. Evaluation of Corrosion Inhibition Efficiency of Aluminum Alloy 2024 by Diaminostilbene and Azobenzene Schiff Bases in 1 M Hydrochloric Acid // International Journal of Corrosion. 2021. Vol. 2021. N 5. Pp. 1-7
14. Ravari F.B., Dadgarinezhad A., Shekhshosei I. Investigation on two salen type schiff base compounds as corrosion inhibition of copper in 0.5 M H₂SO₄ // Gazi University Journal of Science. 2009. Vol. 22. N 3. Pp. 175-182
15. Guo L., Ren X., Zhou Y., Shenying X. Monte Carlo simulations of corrosion inhibition of copper by two Schiff bases // Proceedings of the 2015 International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering. 2015. 131-134 pp.
16. Bagavathy S., Ganesan P.K. Corrosion inhibition studies on Schiff bases derived from 2-amino-6-methoxy-benzothiazole // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 2015. Vol. 7. N 2. Pp. 830-839
17. Kuriakose N., Thomas J., Raphael V., Varghese S. Quantum mechanical and electrochemical investigations on corrosion inhibition properties of novel heterocyclic Schiff bases // Current Chemistry Letters. 2017. Vol. 6. N 4. Pp. 177-186
18. Hadi J.S., Bhkakh C. Corrosion, inhibition and biological evaluation investigations of Schiff bases derived from formyl chromone // Pelagia Research Library. 2015. Vol. 6. N 5. Pp. 103-112
19. Verma B., Quraishi M.A. Schiff's Bases of Glutamic Acid and Aldehydes as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel: WeightLoss, Electrochemical and Surface Analysis // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. Vol. 3. N 7. Pp. 14601-14613
20. Aliyu A.O., Awe F.E., Faruruwa M.D., Abawua T.E. Synthesis of Some Schiff Bases and Investigation of their Corrosion Inhibition Efficiencies for Aluminum in Acidic Media // Communications in Physical Sciences. 2022. Vol. 8. N 1. Pp. 42-57