

## РАЗРУШЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМАМИ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

В.С. Ивашко, докт. техн. наук, профессор, В.В. Кураш, канд. техн. наук, доцент,  
А.В. Кудина, инженер (УО БГАТУ)

### Аннотация

*Исследованы закономерности воздействия биологических факторов на материалы деталей машин, выявлены особенности протекания коррозионных процессов при участии микроорганизмов, установлена закономерность заражения и протекания бикоррозионного разрушения на пятне контакта биосреда-материал. Раскрыт механизм образования дефектов и повреждений деталей машин по производству и переработке сельхозпродукции под воздействием биологического фактора, предложена кинетика биоповреждений материалов.*

*На основании результатов исследований сделано научное предположение о неразрывной связи коррозионных процессов с жизнедеятельностью микроорганизмов, причем инициирование и развитие коррозии материалов протекает при активном воздействии биологического фактора.*

### Введение

В последние годы коррозия металлических и неметаллических материалов стала объектом исследования не только материаловедов и электрохимиков, но и микробиологов. Роль биологического фактора в коррозии металлов и различных неметаллических материалов нельзя недооценивать. Микробному разрушению подвергается практически все, что нас окружает: металл, бетон, стекло, камень, резина, кожа, текстиль, пластмассы, смазки и др. Взаимодействуя с различными материалами, микроорганизмы и продукты их метаболизма создают особый вид разрушения – биоповреждения. Процессы биоповреждений по своему механизму различны и зависят как от биофактора, так и от особенностей подверженного их действию объекта.

Рабочие органы сельскохозяйственных машин работают в постоянном контакте с возделываемыми техническими растениями (масляничные, крахмалосы, сахаросы, красильные растения и пр.). Эти культуры в процессе измельчения выделяют в окружающее пространство, в том числе и на детали машин, микроэлементы органических и химических соединений, являющиеся питательной средой для различного рода микроорганизмов. При усвоении ими питательной среды извлекаются нужные вещества и энергия, используемые для построения живой клетки и поддержания ее метаболизма. Продукты распада, не нужные организму, выделяются в окружающее пространство. В большинстве случаев продукты распада и деструкции живых микроорганизмов являются химически активными элементами и свободными радикалами [1, 2], которые вовлекаются в электрохимиче-

ские и химические процессы, интенсифицируя коррозионное разрушение деталей рабочих органов машин и механизмов.

### Основная часть

Коррозия материалов в природе носит многогранный характер. Ее зарождение и развитие часто следует отнести к жизнедеятельности микроорганизмов, относящимся как к аэробам, так и к анаэробам. Аэробная коррозия протекает при достаточном количестве свободного или растворенного в воде кислорода. Анаэробная коррозия наблюдается в труднодоступных зонах без кислорода в условиях, которые создаются в почвах, на сильно загрязненных органическими веществами поверхностях и при переработке растительных и животных отходов сельскохозяйственного производства. Известно, что среда, в которой происходит анаэробная коррозия железа и стали, содержит значительное количество сульфатредуцирующих бактерий [1]. Бактерии используют поляризованный водород с поверхности металла для своих диссимиляторных процессов, т.е. для сульфатредукции. Способность сульфатредуцирующих бактерий осуществлять катодную деполяризацию зависит от способности усваивать элементарный водород в процессе метаболизма т.е. от гидрогеназной активности. Катодная реакция, связанная с использованием водорода бактериями, происходит на сульфиде железа, который образуется в результате взаимодействия ионов железа с ионами биогенного гидросульфида. Благодаря гидрогеназной активности бактерий, водород уходит и катодная функция сульфида железа восста-

навливается. На рис. 1 показаны стальные детали, разрушенные бактериальной коррозией.

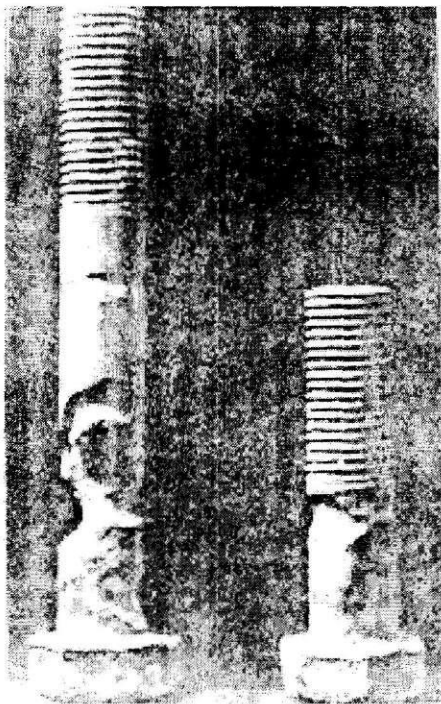


Рис. 1. Детали из стали 40ХН, разрушенные тионовыми и сульфатредуцирующими бактериями

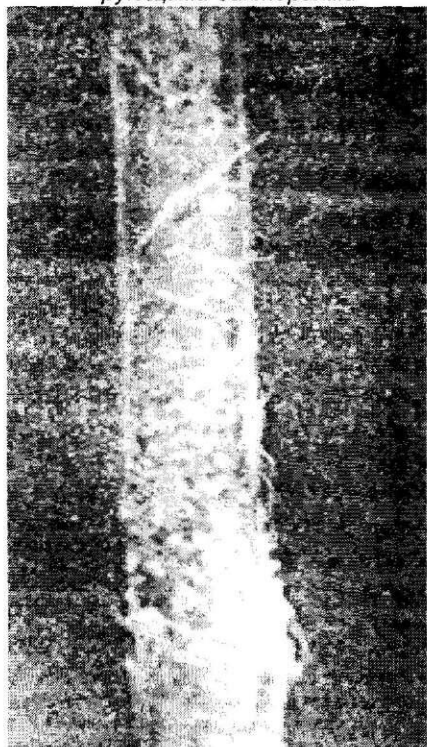


Рис. 2 Колония гриба *Penicillium susporium*, разрушающая проволоку Св-15ГСТЮЦА

Дефекты, вызываемые грибами, разнообразны: деформация материалов, усиление диффузии жидкостей через изоляционные материалы, ускорение коррозии металлов, снижение электроизоляционных свойств материалов, изменение свойств и порча топлива и др. Кроме прямой деградации изделий (неметаллические материалы), грибы способны образовывать мицелии на металлоповерхностях путем их обрастания с последующим повреждением и разрушением материалов (рис. 2). Повреждения и разрушения различных материалов грибами являются сложными процессами, происходящими в силу способности гиф грибов к непосредственному внедрению в материал, вследствие высокого давления их верхушечных клеток, а также прямого и косвенного влияния образуемых грибами продуктов (рис. 3). Группа грибов, повреждающих металлы и неметаллические изделия, наименее изучена, причиной чего явилось господствующее до недавнего времени представление о том, что биоповреждение металлов вызывается главным образом автотрофными и гетеротрофными бактериями [2].

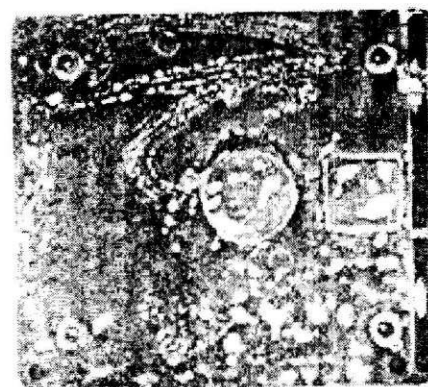
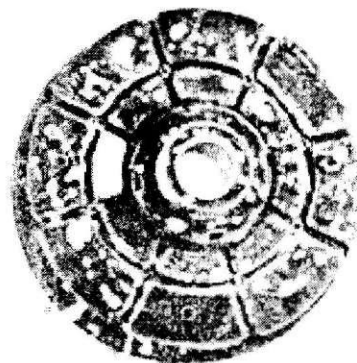


Рис. 3. Колония гриба *Penicillium fellutanum*, разрушающая пластмассовые детали

Грибы воздействуют на материалы нередко в экстремальных условиях посредством различных механизмов. В процессе роста на различных материалах у грибов активизируется система окислительных ок-

сидаз, выделяются продукты окисления органические кислоты, которые создают условия для химической или электрохимической коррозии.

Микробная коррозия металлов является частью актуальной проблемы существования металлов. В этой связи долговечность металлов и других материалов в природе в значительной степени зависит от микробиологических аспектов. Микробиологические проблемы существования металлов в биосфере следует рассматривать с двух позиций:

- токсическое влияние металлов на жизнедеятельность микроорганизмов;
- трансформация металлов под воздействием микроорганизмов и продуктов их метаболизма.

Многочисленность основных видов микробной коррозии металлов и защитных материалов свидетельствует о необычайно широком распространении этого явления в различных сферах деятельности человека.

Коррозионные эффекты при участии микроорганизмов аналогичны другим видам коррозии. Например, подобно локальной сосредоточенной коррозии в результате биоповреждений образуются блестящие или шероховатые плоские малозаметные углубления, особенно под загрязнениями или тонкими окисными пленками, а также раковины различной глубины под слоем продуктов коррозии [1].

Микробная коррозия протекает различными путями: путем непосредственного воздействия продуктов деструкции и метаболизма микроорганизмов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}^+$ , органические и неорганические кислоты) на металлические и неметаллические изделия; путем образования органических продуктов, которые могут действовать как деполаризаторы или катализаторы коррозионных реакций; путем, при котором коррозионные реакции являются отдельной частью метаболического цикла бактерий.

В коррозионных процессах могут участвовать микроорганизмы, относящиеся к широкому кругу родов и видов. Это могут быть бактерии, образующие кислоты, а также грибы и водоросли. Почвенная биота является неиссякаемым источником различного рода микроорганизмов, а возделываемые технические растения, органохимические вещества и соединения – обильной питательной средой для их жизнедеятельности. Такие благоприятные условия способствуют протеканию на пятнах контакта металл-биосреда микробной коррозии в скрытых или явно выраженных формах.

В результате жизнедеятельности микроорганизмов сильно растормаживаются наиболее затрудненные этапы коррозионного процесса [1].

В большинстве случаев микроорганизмы способствуют созданию агрессивных сред, в которых ускоряются коррозионные реакции. Изучение закономерностей превращения металлов под влиянием деятельности

микроорганизмов имеет не только научное, но и большое практическое значение для понимания сущности коррозионных процессов, которые резко увеличивают скорость роста усталостных трещин и снижают циклическую трещиностойкость и водородостойкость [4].

Процессы биологических повреждений материалов в конкретных условиях вызываются различными микроорганизмами или их ассоциациями. В природных условиях организмы существуют и проявляют свою активность, как правило, в ассоциациях, которые могут изменяться под воздействием привносимых в биосферу новых, ранее не существовавших материалов и веществ [2]. Поэтому, в плане технологических проблем, важно создавать такие материалы, которые в составе изделий служили бы требуемый период времени без текущего и последующего повреждающего действия биофакторов, приводящих к повреждениям, дефектам и отказам технических систем.

В последние годы многие специалисты считают, что более 50% коррозионных процессов связано с влиянием и участием микроорганизмов [1-4], причем ведущая роль на начальном этапе принадлежит микробам различных родов и видов.

В условиях протекания различных видов коррозии разрушающее действие на металлы оказывает присутствие в среде водорода. Так, например, увеличение содержания водорода в углеродистой стали приводит к уменьшению сил межатомного взаимодействия и тем самым понижает его прочность на отрыв  $\sigma_b$  [4]. Прижизненная активность микроорганизмов приводит к нежелательным изменениям свойств материалов, происходящим под действием микробиологической коррозии. Результатом микробной коррозии металлов является биоповреждаемость рабочих поверхностей деталей, приводящая к снижению эксплуатационной надежности деталей, узлов и механизмов машин и оборудования [3].

Механизм биоповреждений имеет специфические особенности, связанные с попаданием микроорганизмов на поверхность рабочих органов сельхозмашин, адсорбцией их и загрязнением поверхностей, образованием микроколоний, накоплением продуктов метаболизма, стимулированием электрохимической коррозии металлов, старения полимерных материалов и покрытий, эффектами синергизма и т. п.

Последовательность протекания процессов биоповреждений материалов микроорганизмами представляется состоящей из следующих этапов.

Первый этап - перенос микроорганизмов на поверхности деталей. Возможен перенос микроорганизмов посредством воздушных потоков, несущих бактерии, актиномицеты, мицелии и споры грибов с частицами почвы и опадающей листвой. Менее вероятен путь пе-

реноса влаги воздуха и проникающими почвенными водами. Нельзя исключать из рассмотрения и перенос микроорганизмов и загрязнений на поверхности эксплуатирующихся металлоконструкций насекомыми (мухами, бабочками, жуками и др.). Часты случаи переноса микроорганизмов технологического характера с загрязненных поверхностей деталей при сборке изделий в условиях производства или при их ремонте, возможны переносы микробов и другой природы.

На втором этапе происходит адсорбция микроорганизмов и загрязнений на поверхности деталей. Процесс адсорбции весьма сложен и зависит от строения и свойств микроорганизмов, характера поверхности и, особенно, степени ее шероховатости, состояния среды (наличия питательных сред, температурно-влажностных условий, рН водных пленок), характера контакта между микроорганизмами, загрязнениями и поверхностями материалов. Микроорганизмы имеют строение, позволяющее им достаточно прочно прикрепляться к твердым поверхностям.

Третий этап – образование микроколоний и их рост до размеров, видимых невооруженным глазом, сопровождаемый появлением коррозионно-активных метаболитических продуктов и локальным накоплением электролитов с избыточным содержанием гидроксония  $H_3O^+$ . Состав биоценоза и эффект повреждения материалов определяет доступность субстрата для заселения микроорганизмами.

Четвертый этап – накопление продуктов метаболизма, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов на контактных поверхностях, которое представляет значительную опасность, особенно в соединениях деталей, т.к. накопления способствуют образованию натиров, задиров, схватыванию поверхностей, интенсивному изнашиванию, что снижает работоспособность технических систем.

Некоторые микробы воздействуют на материалы окислительными ферментами. К таким ферментам относят оксидоредуктазы (дегидрогеназы, флавиновые ферменты, оксидазы), гидролазы (эстеразы, сульфэстеразы), лигазы, и пр.

Пятый этап – стимулирование процессов коррозионного разрушения, т.е. явление, сопутствующее биоповреждениям. Участие в процессе коррозии микроорганизмов снимает известные ограничения по условиям его протекания (температуре и влажности). Бактерии стимулируют процессы биокоррозии в широких интервалах температур. Так, например, стимулирование старения полимеров происходит, в основном, в направлении усиления химической деструкции продуктами жизнедеятельности и прямым потреблением микроорганизмами продуктов разрушения полимерных цепей.

Шестой этап, так называемый, синергизм биоповреждений происходит как результат воздействия ряда факторов и взаимного стимулирования процес-

сов разрушения: коррозии, старения, изнашивания и пр., а также развития биоценоза. Характер и интенсивность биоповреждений зависят от адаптации и видового отбора микроорганизмов – технофилов. Высокая приспособляемость микроорганизмов к условиям обитания и источникам питания делает трудным получение биостойких материалов на достаточно длительный период времени и унификацию средств защиты. Борьба с биоповреждениями на этом этапе носит запоздалый характер, так как протекают не только биокоррозионные процессы, но и интенсифицируются процессы химической коррозии. Причем, если детали узлов и механизмов машин подвержены воздействию физических полей при относительном перемещении рабочих поверхностей и техногенных сред, процессы коррозионного разрушения развиваются катастрофически.

В коррозионном разрушении металлов и сплавов, металлических и неметаллических материалов принимают участие как литотрофные, так и гетеротрофные бактерии. По физиологическим особенностям эти группы бактерий весьма различны, чем и обуславливаются многообразие биокоррозионных повреждений.

В настоящее время неопровержимо утвердилось представление, что грибы различного таксономического положения являются одним из существенных звеньев экологических ниш, связанных с повреждениями различных материалов. Обладая высокой энергией размножения, вследствие чего образуется огромное количество споровых конидий с длительным периодом выживания, а также гетерогенным генетическим аппаратом, грибы способны к формированию новых высокоагрессивных рас, занимающих впоследствии доминирующее положение. Наряду с этим, в популяции видов в процессе адаптации создаются формы, представляющие потенциальную агрессивность.

### Заключение

На основании результатов исследований, обобщения и анализа научно-технической информации по проблеме коррозионных разрушений материалов, систематизации и синтезирования полученных данных можно констатировать, что коррозионные процессы материалов неразрывно связаны с жизнедеятельностью микроорганизмов, т.е. с процессами биокоррозии. Детали машин и оборудования по получению и переработке сельхозпродукции контактируют с растительными субстратами и почвенной биотой, которые, накапливаясь в микродефектах поверхностей деталей, создают так называемые застойные зоны, благоприятные для образования колоний микроорганизмов. В этой связи кинетика биоповреждений материалов представляется в следующем виде: микроорганизмы из окружающего пространства, почвенной биоты или растительного сырья накапливаются в микродефектах и повреждениях поверхностного слоя материала. На пятне контакта биосреда-материал при всех

благоприятных факторах происходит микробное образование колоний. В результате метаболизма, а также деструкции клеток окружающее пространство заполняется активными радикалами и биогенными элементами, которые адсорбируются материалом и, проникая в подповерхностный слой, разрыхляют его путем разупрочнения межатомных и межкристаллических связей. Вместе с разрыхлением поверхности начинается интенсификация коррозионных процессов: создаются очаги коррозионного поражения, активизируются химические и электрохимические процессы, происходит деструкция и разрушение материалов.

Взаимодействие микроорганизмов и продуктов их метаболизма с поверхностью материала в застойных зонах, где создаются благоприятные условия для роста колоний микробов, приводит к биоповреждениям как металлических, так и неметаллических деталей машин, приводящих, в конечном случае, к отказам технических систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреюк, Е.И. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова. – Киев: Навук. думка, 1980. – 288с.
2. Гусев, М.В. Микробиология / М.В. Гусев, Л.А. Минеева. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 464с.
3. Ивашко, В.С. Теоретические аспекты кинетики изнашивания поверхностей деталей машин и механизмов / В.С. Ивашко, В.В. Кураш, А.В. Кудина. – Мн.: Вестник БНТУ, 2005 г. – № 5. – С. 59-63.
4. Механика разрушений и прочность материалов: Спр. пособие в 4-х томах / под ред. Панасюка В.В. – Киев: Навук. думка, т. 4. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н. Романов, С.Я. Яреша, Г.Н. Никифорчин и др. – 1990. – 680с.

## ЛИТЫЕ ШТАМПЫ

Технологический процесс изготовления деталей карданных валов включает горячую объемную штамповку мерных заготовок из сортового проката конструкционных сталей, механическую обработку штампованных поковок, термическую и химико-термическую обработку деталей.

Объемная штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) позволяет в дальнейшем подвергать механической обработке штампованные поковки с минимальными потерями в стружку. Штамповый инструмент в процессе деформации исходных заготовок испытывает высокие механические и температурные нагрузки.

Стойкость вставок (то есть количество штампованных поковок, которые получают до выхода штампа из строя) зависит от марки стали, из которой они изготовлены, и от технологии изготовления самой вставки.

Сущность технологического процесса заключается в получении отливок в блочных литейных формах из терморезистивных (цирконо-смоляных) формовочных смесей. Использование этих смесей позволяет получить литейную форму такой механической прочности, что можно отказаться от применения традиционных литейных опок при их сборке, транспортировке и заливке.

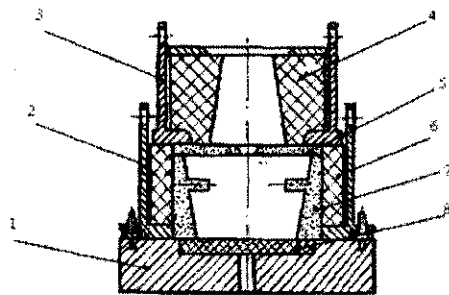


Рис 1. Слитная литейная форма: 1 - поддон; 2 - корпус прибыльной надставки; 4 - гнездовой кирпич; 5 - стержень перемычки; 6 - шамотная кладка; 7 - облицовочный слой из терморезистивной смеси

Комбинированная многослойная литейная форма для изготовления отливок вставок штампов весом от 70 до 300 кг состоит из металлического поддона 1, корпуса формы 2, корпуса прибыльной надставки 3 с шамотным гнездовым кирпичом 4, стержня перемычки 5, шамотной кладки 6, облицовочного слоя 7 из терморезистивной смеси, графитовой вставки поддона 8.

Новизна разработки: создание новой конструкции литейных форм с элементами многоразового использования и замены массивного слоя формовочной цирконо-смоляной смеси на керамические тонкие вставки.

Достоинствами данной технологии являются:

- снижение трудоемкости изготовления штамповой оснастки в 1,5...1,8 раза по сравнению со вставками, изготовленными из поковок;
- реализация принципа малоотходного производства за счет переплавки изношенных вставок и отходов инструментальной стали при изготовлении новых штампов;
- повышение стойкости вставок штампов на 20...30% за счет организации направленного теплоотвода при затвердевании отливки;
- снижение до 60% расхода формовочных материалов;
- уменьшение удельного расхода металла (в том числе ферросплавов) на изготовление отливок;
- уменьшение объема металлообработки при изготовлении вставок штампов;
- снижение затрат на регенерацию смеси;
- уменьшение вредных выбросов в окружающую среду.