

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ
БИБЛИОТЕКА
СОЛДАТА И МАТРОСА



А. С. Федоров

РЖАВЧИНА И БОРЬБА С НЕЙ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
СОЛДАТА И МАТРОСА

А. С. ФЕДОРОВ
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

РЖАВЧИНА И БОРЬБА С НЕЙ

Под редакцией
проф. С. А. БАЛЕЗИНА



ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
Москва — 1954

К ЧИТАТЕЛЯМ!

Военное Издательство просит присылать свои отзывы и замечания на эту книгу по адресу: Москва, Тверской бульвар, 18, Управление Военного Издательства.

173-1

ВВЕДЕНИЕ

Металл... Кто не знает этот замечательный материал, ставший в наше время важнейшим, поистине незаменимым? В жизни человеческого общества металл играет первостепенную роль. Из металла делают тысячи разных полезных вещей. Самолет и винтовка, танк и пулемет, автомобиль и трактор, станок на текстильной фабрике и машина для посадки картофеля, сложный аппарат, позволяющий производить киносъёмку со скоростью миллиона кадров в секунду, и батисфера — прочный и массивный шар, в котором человек отваживается опускаться на морское дно, — сделаны из металла.

Металл окружает нас всюду. Линии металлических проводов связывают села и города, воинские части. По этим проводам бегут телеграммы, ведутся телефонные разговоры, передается электрическая энергия, приводящая в движение машины на фабриках и заводах и освещающая наши жилища. Ажурные конструкции металлических мостов висят над реками и долинами. По металлическим трубам, проложенным в земле, подаются на далекие расстояния нефть и горючий газ. Металлическая арматура стала сердцевиной железобетонных стен гигантских зданий.

В быту нас также окружает металл. Мы садимся обедать и пользуемся металлическими предметами: ложкой, вилок, ножом. Мы смотрим на часы, а они являются чудесным сочетанием тончайших металлических деталей — пружин, шестеренок, стрелок. Мы пишем письмо — и в наших руках ручка с металлическим пером. Мы пришиваем пуговицу и опять обращаемся к услугам металла — тонкой стальной иглы.

Металл везде. Металл всюду. Сейчас трудно представить себе жизнь людей без металла...

Уже тысячи лет назад люди научились пользоваться металлами и добывать их. Сейчас десятки различных металлов применяются в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в военном деле и в быту. Человек редко пользуется только чистыми металлами. Чаще всего он применяет сплавы нескольких металлов, так как сплавы обладают такими свойствами, которых не имеет чистый металл. Одни сплавы отличаются большой твердостью, другие, наоборот, очень пластичны, то есть хорошо штампуются или куются. Есть металлические сплавы, которые остаются твердыми при очень высоких температурах, и сплавы, плавящиеся даже в пламени спички.

Металл является надежным другом и помощником человека. Но он требует заботливого отношения к себе. Металлическое изделие служит хорошо и долго, если человек бережно относится к нему. Станок, который находится в умелых руках, содержится в чистоте, вовремя смазывается, выглядит всегда, как новый, и долгое время работает безотказно. Тот же станок при плохом уходе покрывается слоем пыли, ржавеет и быстро выходит из строя.

Это значит, что условия, в которых находится металлический предмет, сильно влияют на его сохранность. Металлы подвержены «болезням», которые сокращают срок их службы. Так, уже в древности была известна тяжелая болезнь олова — «оловянная чума». Предметы, сделанные из олова, — статуэтки, вазы, кубки — с течением времени покрывались серыми пятнами, а потом рассыпались, превращаясь в порошок. Было замечено, что заболевание олова заразно: оно возникало быстрее в тех случаях, когда «здоровый» оловянный предмет находился в соприкосновении с изделием, больным «оловянной чумой». Для лечения этой болезни вначале применялись «хирургические» методы: пораженная часть изделия просто вырезалась. Иногда такая операция давала положительные результаты. Распространение «оловянной чумы» по здоровой части металла прекращалось.

Со временем ученые открыли причины, вызывающие «оловянную чуму». Оказалось, что олово встречается в двух различных видах — в виде белого олова, отличающегося прочностью и характерным металлическим бле-

ском, и серого олова, которое легко рассыпается в порошок. Было замечено, что белое олово склонно превращаться в серое при охлаждении. Поэтому «заболевания» оловянных предметов чаще всего возникали в тех случаях, когда они долгое время находились в неотопливаемых помещениях.

Установив причины «оловянной чумы», ученые нашли средство для излечения металла от этой «болезни». Средство оказалось довольно простым. Для лечения предмета, больного «оловянной чумой», его нагревают до температуры 100 градусов или попросту опускают на некоторое время в кипящую воду. Однако полностью излечить изделие, больное «оловянной чумой», не всегда удается.

Есть у металлов другие, значительно более опасные, а порой даже неизлечимые «болезни». Они постепенно разъедают металлические изделия и нередко доводят их до полного разрушения. У металлов есть «враги», вызывающие эти тяжелые заболевания. Злейшим врагом большинства металлов и металлических сплавов является кислород, этот столь распространенный химический элемент, входящий в состав воздуха, воды и земной коры. Тяжелая болезнь металлов, называемая коррозией, частным примером которой является ржавление, часто вызывается химическими реакциями, в которых участвует кислород. Ржавление стальных изделий, потемнение и позеленение предметов, сделанных из меди, латуни или бронзы, потускнение деталей из алюминия, почернение серебра — все это примеры коррозии металлов.

Особенно велики требования к коррозионной стойкости металлов, из которых делаются приборы и аппараты химической промышленности. Современная химическая технология имеет дело с кислотами, щелочами, сложными смесями жидкостей и газов, с растворами солей. Химические процессы часто требуют применения высоких давлений и температур. Все это во много раз усложняет условия работы металлов.

В трудных условиях эксплуатируется и сложная боевая техника, которой снабжена современная армия, — самолеты, танки, артиллерийские орудия, стрелковое оружие, боеприпасы и многие другие предметы вооружения, сделанные из металла. Действительно, боевая техника призвана служить в непрерывно меняющихся температурных условиях, в хорошую погоду и в дождь, зимой и ле-

том. Сталь, из которой сделаны, например, стволы артиллерийских орудий и стрелкового вооружения, в момент выстрела испытывает огромные давления пороховых газов. Эти газы оказывают на металл также и химическое воздействие. Металлы, из которых изготовлены детали двигателей танков, самолетов, самоходных орудий, автомобилей, также испытывают давление и химическое действие сгорающего в цилиндрах топлива.

Каждый солдат знает, что если внести холодное оружие в теплое помещение, на нем выступают капельки влаги: холодный металл «отпотеваает». То же самое происходит даже в тех случаях, когда металлические изделия находятся в хорошо запаянных железных ящиках. Наличие влаги, как правило, приводит к началу разрушения металла, вызывает коррозию.

Коррозия приносит огромные убытки. Потери металла за счет коррозии составляют около одной трети от всего количества ежегодно выплавляемых металлов и сплавов. Это значит, что во всем мире ежегодно разрушаются десятки миллионов тонн металла.

Однако это только прямые убытки. Не менее велики и убытки косвенные. Действительно, легко себе представить, как много средств и труда приходится затратить для того, чтобы заменить разрушенные коррозией водопроводные трубы или телефонные кабели, проложенные глубоко под землей. А если коррозия поражает внутренние детали сложного химического аппарата! В этом случае для замены деталей требуется остановить производство.

Поэтому во всем мире, особенно с начала нашего столетия, проводится большая научно-исследовательская работа, направленная к изучению коррозии и к изысканию наиболее надежных и дешевых способов защиты металла от преждевременного разрушения.

В ряде промышленных капиталистических стран появились институты и научные общества по борьбе с коррозией. Однако там эта работа, несмотря на отдельные значительные результаты, тормозилась и тормозится самой капиталистической системой. Борьба с коррозией не стала и не может стать в этих странах общегосударственным делом. Одним капиталистам выгодно получать более стойкие и долговечные металлы. Другие, наоборот, заинтересованы в том, чтобы металл быстрее выходил из строя и его можно было бы заменить новым. Каждая

фирма и предприятие разрабатывают свои способы борьбы с коррозией, свои средства защиты металлов от ржавления. Конкуренция заставляет капиталистов держать эти способы в тайне; они не становятся достоянием других предприятий.

Совсем другое дело в Советском Союзе. Социалистический, плановый характер нашего народного хозяйства позволил широким фронтом, подлинно в общегосударственном масштабе развернуть работы по защите металлов от коррозии.

В 1927 году, на пороге великих советских пятилеток, преобразивших лицо нашей страны, в Центральном аэрогидродинамическом институте проф. Г. В. Акимовым была организована первая научно-исследовательская коррозионная лаборатория. Сейчас в десятках научно-исследовательских институтов и вузов СССР ведется работа по изучению коррозии и борьбе с ней.

Талантливые советские ученые академик В. А. Кистяковский, члены-корреспонденты Академии наук СССР Г. В. Акимов, Н. А. Изгарышев и другие первыми в СССР начали борьбу с коррозией. Они подготовили многочисленные кадры специалистов, успешно работающих над изучением причин коррозии, над разработкой способов защиты от нее металлов, над созданием новых сплавов, не подверженных коррозии. Их работа дала уже ощутительные результаты.

В этой книжке будет рассказано о причинах коррозии металлов и о тех мерах, которые применяются сейчас для защиты металлов от преждевременного разрушения.

1. ЧТО ТАКОЕ КОРРОЗИЯ?

Коррозией называется разрушение металлов и металлических сплавов под действием окружающей среды. Коррозия всегда начинается с поверхности металлического изделия и постепенно распространяется вглубь. При этом металлы изменяют свой внешний вид (рис. 1). Они теряют блеск, их гладкая поверхность становится шероховатой и покрывается так называемыми продуктами коррозии, особыми химическими соединениями, обычно состоящими из металла и кислорода. Железо, например, в результате коррозии покрывается бурым

слоем ржавчины, состоящей в основном из окислов железа.

Не все металлы и сплавы в одинаковой степени подвержены коррозии. Одни металлы разрушаются быстро, другие в тех же условиях оказываются очень стойкими.



Рис. 1. Железная труба, разрушенная коррозией.

Практически нет металлов, не подверженных коррозии. Одним из наиболее стойких металлов является платина, но и она в определенных условиях разрушается. Это можно наблюдать, смочив платиновую пластинку так называемой царской водкой (смесью азотной и соляной кислот в определенном соотношении).

Широко распространенный металл медь не разрушается

в воде. Поэтому водопроводную аппаратуру — краны, задвижки и пр. — часто делают из меди и сплавов ее с другими металлами. В то же время в растворе аммиака медные изделия быстро разрушаются.

Таким образом, природа металла или состав сплава прежде всего определяют их способность сопротивляться коррозии.

Однако и внешние условия оказывают большое влияние на величину коррозии. При этом большое значение имеют не только природа окружающей металл среды, но и ее температура, а также давление.

Коррозия металлов является следствием химических или электрохимических процессов. Поэтому-то и принято все коррозионные явления делить на две группы: химическую и электрохимическую коррозию.

Первая из них происходит под действием сухих газов или жидкостей, не проводящих электрического тока.

Окисление стали при нагревании также является примером химической коррозии.

Более широкое распространение имеет электрохимическая коррозия. Она является результатом воздействия на металл так называемых жидких электролитов, то есть жидкостей, проводящих электрический ток. Чаше всего разрушения железа, меди и других металлов и сплавов в растворах кислот и солей, во влажной атмосфере и в почве связаны с электрохимической коррозией.

Познакомимся подробнее с причинами, вызывающими коррозию. Для этого нам придется, прежде всего, изучить внутреннее строение металлов и сплавов.

2. МЕТАЛЛ — КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

Попробуйте разломить на две части небольшой стержень, отлитый из чугуна, стали, алюминия или другого металла. Вы легко обнаружите, что в месте излома металл имеет зернистое, кристаллическое строение. Отдельные зерна настолько велики, что отлично видны даже невооруженным глазом. В других случаях излом имеет матовый цвет. Это признак того, что металл состоит из мельчайших зернышек, которые можно наблюдать только через увеличительное стекло.

Познакомимся с тем, как расплавленная сталь превращается в твердый слиток. Представим, что мы находимся в сталеплавильном цехе металлургического завода.

Гулко звучит небольшой колокол. Сейчас сталевары начнут выпуск металла из печи... И вот сверкающая струя расплавленной стали быстро ползет по желобу. Искристый металл устремляется в массивный ковш, выложенный внутри огнеупорным кирпичом, и спустя несколько минут заполняет его до краев. Огромный мостовой кран бережно поднимает стотонную тяжесть. Ковш плавно подается к установленным в ряд изложницам — большим чугунным сосудам с толстыми стенками. Одна за другой изложницы наполняются жидкой сталью. Она начинает застывать. Нам следует подробнее разобраться в том, как это происходит. Мы увидим, что внутреннее строение будущего слитка зависит от того, как шло затвердевание расплавленного металла.

Замечательный русский ученый Д. К. Чернов долго и тщательно изучал, как застывает жидкий металл. 80 лет

тому назад, на основе многочисленных опытов и исследований, Чернов сделал вывод, что сталь затвердевает не однородной массой, не так, как затвердевает расплавленный воск, а образует сложную систему кристаллов. Это важное положение легло в основу современного представления о строении металлов.

Кристаллические тела отличаются тем, что атомы, составляющие такие тела, располагаются в строго определенном порядке, образуя кристаллическую решетку, в то время как атомы некристаллических веществ располагаются беспорядочно.

Свойства кристаллического вещества зависят от строения его атомной решетки. Вспомним «оловянную чуму», о которой мы говорили ранее. Теперь мы хорошо знаем, что серое и белое олово отличаются друг от друга только расположением атомов в решетке. Сами атомы в обоих случаях, конечно, одинаковые. При определенной температуре атомы олова перестраиваются, образуя новое вещество.

Когда расплавленный металл начинает остывать, то, прежде всего, образуются так называемые центры кристаллизации, дающие основу для роста осей будущих кристаллов. Оси отбрасывают от себя многочисленные ветви, образующие скелет кристалла (рис. 2).

Затвердевание металла начинается, прежде всего, в местах соприкосновения расплавленной стали с холодными стенками изложницы. Вначале жидкий металл покрывается твердой стальной коркой. Эта корка, состоящая из мелких кристалликов, защищает остальную массу жидкой стали от быстрого остывания. Дальнейшее затвердевание металла замедляется. Поэтому внутри слитка вырастают более крупные кристаллы (рис. 3).

При остывании сталь уменьшается в объеме. Однако внешние размеры стального слитка уже не меняются: они определены коркой затвердевшего металла. Жидкой стали не хватает для заполнения полости слитка, поэтому внутри слитка образуется пустота, называемая усадочной раковинной.

В затвердевающей слитке растет одновременно огромное количество кристаллов. Их ветви переплетаются, искривляются и искажают друг друга. Однако бывают случаи, когда отдельный кристалл начинает расти в самой усадочной раковине. Росту этого кристалла ничто не пре-

пятствует, его форма не искажается. Такие кристаллы достигают значительной величины и веса. В коллекции Д. К. Чернова хранился кристалл, найденный в усадочной раковине стотонного стального слитка. Этот кристалл весил 3,45 килограмма и имел 39 сантиметров в длину.

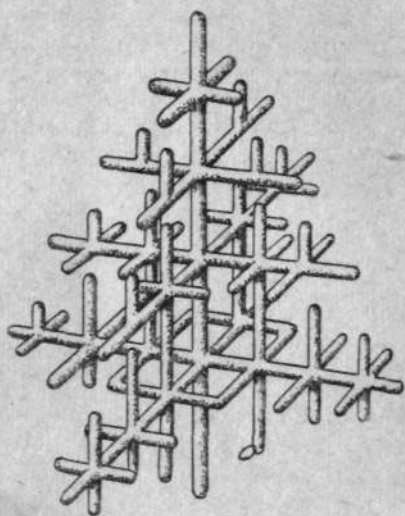


Рис. 2. Схема роста кристаллов стали.

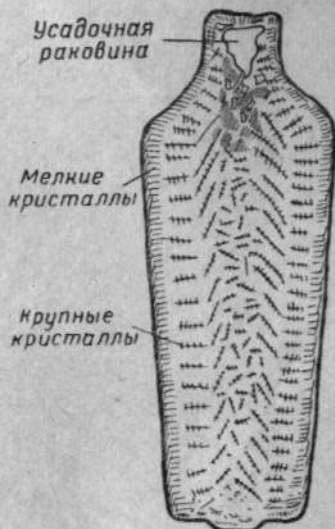


Рис. 3. Продольный разрез стального слитка.

Обычная сталь, как известно, состоит из железа, а также небольших количеств углерода, кремния, марганца и неизбежных вредных примесей — серы и фосфора. Специальные сорта стали содержат, кроме того, еще и другие металлы — хром, никель, вольфрам, молибден. Эти добавки, взятые в разных количествах, придают стали особые свойства, делая ее твердой, кислотоупорной, вязкой или, наконец, жароупорной, то есть способной сохранять свою твердость при весьма высоких температурах.

Вещества, входящие в состав стали, имеют различную температуру плавления и затвердевания. Чистое железо становится твердым уже при температуре 1530 градусов, а соединения железа с серой или другими элементами затвердевают при более низкой температуре. Слои металла,

затвердевающие в первую очередь, состоят из наиболее тугоплавких элементов — из железа и углерода. Вредные более легкоплавкие примеси серы и фосфора, затвердевающие в последнюю очередь, оттесняются к середине слитка и сосредоточиваются поэтому главным образом возле усадочной раковины.

Верхняя часть изложницы снабжается утепленной надставкой, а иногда даже специально подогревается. Поэтому «голова» слитка остывает последней и наибольшее количество вредных примесей, а также усадочная раковина располагаются именно в ней. При дальнейшей обработке эта часть, составляющая весьма значительный процент веса всего слитка, чаще всего отрезается как негодная для производства изделий.

Однако и оставшаяся, лучшая часть слитка химически не однородна. Металл наружных слоев имеет меньше вредных примесей и отличается более высокими механическими качествами по сравнению с металлом внутренней части слитка. Даже в пределах одного кристалла металл не однороден по своему составу. Скелет кристалла стали состоит из чистого железа и углерода, а в пространстве между ветвями скелета скопляются и затвердевают более легкоплавкие примеси, в том числе сера и фосфор. Такая неоднородность является неизбежным пороком стального слитка.

У стали бывают и другие серьезные пороки. К ним относятся загрязнения металла мельчайшими частицами шлака, наличие крупных и мелких газовых пузырей внутри металла и т. п. Эти пороки снижают качество металла.

Литая сталь, применяемая для изготовления деталей машин, подвергается ковке или прокатке. Для этого стальной слиток нагревается, а затем обжимается под молотом, прессом или между валками прокатного стана. Большие кристаллы слитка раздробляются, а их осколки вытягиваются в волокна. Сталь приобретает волокнистое строение. Чем сильнее обжат слиток, тем тоньше волокна стали, тем более высокими качествами обладает стальное изделие.

Однако полностью уничтожить неоднородность металла не удается. С нею приходится считаться при изучении жизни металла и его «болезней», в том числе и коррозии.

3. ХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ

Как коррозия сама себе препятствует. Даже в сухом месте при комнатной температуре металлические предметы не остаются неизменными. С течением времени их блестящая глянцевая поверхность мутнеет, становится матовой. Металл покрывается тончайшей пленкой окислов — продуктов химической реакции между металлом и кислородом. С повышением температуры коррозия увеличивается, мутная пленка растет быстрее.

Кислород воздуха воздействует, прежде всего, на поверхность изделия. Он вступает в химическое соединение с наружным слоем металла, образуя пленку окислов. Эта пленка окислов в известной степени препятствует дальнейшему проникновению кислорода внутрь металла и окислению нового слоя. Таким образом, пленка, возникающая в результате коррозии, как бы тормозит дальнейшее разрушение металла. Поэтому такую пленку называли защитной пленкой.

Защитная пленка, образующаяся на некоторых металлах, например на алюминии, надежно предохраняет металл от дальнейшего разрушения; процесс коррозии резко замедляется. На других же металлах, например на железе, защитная пленка менее совершенна. Она содержит многочисленные поры и трещины, сквозь которые сравнительно легко проникают газы и жидкости, вызывающие коррозию.

Вообще, несмотря на защитную пленку, процесс коррозии никогда не прекращается. Поэтому с течением времени толщина пленки увеличивается. Особенно быстро растет пленка окислов при повышении температуры металлов. Перед ковкой или прокаткой стальной слиток нагревают до высокой температуры, нередко доходящей до 1200—1300 градусов. При этом сталь легко и хорошо обжимается. Но в результате такого нагрева значительный слой металла быстро соединяется с кислородом, образуя окалину. При нагревании очень больших слитков толщина слоя окалины нередко достигает одного сантиметра. Сотни килограммов отличной стали превращаются в окалину при одном только нагреве слитка! А ведь при ковке сложных изделий стальной слиток часто приходится нагревать не один, а несколько раз. Это приводит к значительному увеличению потерь металла.

Но на металл влияет не только кислород. Не меньшее воздействие на него оказывают примеси углекислого и сернистого газов, содержащиеся, например, в атмосфере заводских районов. Эти газы активно воздействуют на поверхность металлического изделия и также вызывают разрушения металла.

Уже давно заметили, что длительное соприкосновение металла с кислородом воздуха или с другими окисляющими газами и жидкостями значительно замедляет процесс коррозии, то есть, как говорят, уменьшает химическую активность металлов. Металл переходит в пассивное состояние. Именно в этом проявляется действие защитной пленки. Достаточно удалить эту пленку, и коррозия резко усилится.

Сделаем такой опыт. Поместим небольшую полоску железа в крепкую азотную кислоту. При этом на металле быстро образуется тонкая пленка окислов, предохраняющая железо от дальнейшего окисления. Попробуем теперь такой же кусочек железа с хорошо очищенной поверхностью поместить в сосуд с азотной кислотой, разбавленной водой. В этом случае железная полоска будет быстро разрушаться, пока не растворится в кислоте. В чем же дело? Почему слабая азотная кислота действует на металл энергичнее, чем крепкая?

Дело в том, что разбавленная азотная кислота не обладает достаточной окислительной способностью, чтобы вызвать образование на металле защитной пленки. Но попробуйте опустить железо сначала в крепкую кислоту, а потом, когда на нем образуется защитная пленка, перенести его в разбавленную. Тогда образовавшаяся пленка надежно предохранит металл от дальнейшего разрушения в кислоте любой концентрации — от самой крепкой до весьма разбавленной. Крепкая азотная кислота пассивировала железо, сделала его пассивным, то есть на его поверхности возникла защитная пленка.

В обычных условиях, при комнатной температуре, толщина защитных пленок на металле весьма мала — она не превышает 0,5 микрона, то есть одной двухтысячной доли миллиметра. Как же удалось обнаружить такую сверхтонкую пленку? Как ученые смогли измерить ее толщину и изучить свойства?

Тысячные доли миллиметра. Сравнительно толстые защитные пленки (толщиной 0,5 микрона и больше) могут

быть легко обнаружены даже невооруженным глазом. Пользуясь самыми простыми инструментами — стамеской или ножом, их можно соскоблить с поверхности металлического изделия. Однако на металлах возникают нередко и более тонкие пленки.

Нагреем стальную пластинку до температуры в 250—300 градусов. Поверхность металла покажется нам окрашенной всеми цветами радуги. Появление этих так называемых «цветов побежалости» и объясняется возникновением на металле очень тонких пленок.

Почему же наличие тонких пленок приводит к причудливой окраске металлической поверхности? Чем вызвано появление «цветов побежалости»? Доказано, что цвета побежалости представляют собою оптическое явление, а не связаны с окраской пленки.

На рисунке 4 схематически изображена поверхность металла с образовавшейся на ней пленкой окислов. Свет, падающий на металл, частично отражается от поверхности пленки, а частично проходит через пленку и отражается от поверхности металла. Вследствие того, что свет представляет собой волновое явление, при определенном соотношении между толщиной пленки и длиной волны падающего луча оба отраженных луча, сложившись, могут погасить друг друга. Таким образом, часть лучей определенного цвета, входящая в состав падающего «белого» света, в отраженном луче будет сильно ослаблена. Поэтому пленка покажется нам ярко окрашенной в один из дополнительных цветов. С увеличением толщины пленки цвета побежалости будут меняться — начиная от желтого и кончая серо-зеленым. Когда толщина пленки достигает



Рис. 4. Схема, поясняющая возникновение цветов побежалости.

определенной для каждого металла величины, цвета побежалости исчезают. Пленка становится мало прозрачной и полностью поглощает лучи света.

Уже давно замечено, что цвета побежалости зависят не только от толщины пленки, но и от металла, на котором такая пленка образовалась. Составлены специальные таблицы, которые позволяют по цветам побежалости приблизительно определить толщину защитной пленки.

Возникают на металлах и еще более тонкие пленки толщиной в сотые доли микрона (стотысячные доли миллиметра). Такие пленки уже не дают цветов побежалости. Долгое время их существование не было доказанным. Однако теперь уже разработаны способы, позволяющие отделить от металла даже такую исключительно тонкую пленку и изучить ее свойства.

Для снятия тонких защитных пленок существует несколько способов. Один из них заключается в следующем. Железная пластинка, выдержанная некоторое время на воздухе или в азотной кислоте, помещается в 10-процентный раствор иодистого калия, насыщенный иодом. Предварительно на пластинке делается несколько глубоких царапин, разрывающих защитную пленку. Через сутки железо растворяется целиком, не образуя ни твердых осадков, ни пузырьков газа. Остаются нерастворенными лишь окислы железа, то есть защитная пленка. В виде тонких нежных хлопьев она собирается на дне сосуда. Кусочки пленки осторожно собирают и изучают под микроскопом.

В настоящее время построены специальные аппараты, позволяющие исследовать строение и свойства тонких защитных пленок без предварительного снятия их с металла. Устройство этих аппаратов основано на применении либо рентгеновых, либо электронных лучей. Сущность последнего способа заключается в том, что на поверхность металла направляется пучок электронов. Этот пучок проникает в металл неглубоко и, отражаясь, попадает на специальную фотопластинку. Получается электронограмма поверхностного слоя металла. По ней можно судить о строении защитной пленки.

Изучение тонких пленок особенно продвинулось вперед в последние годы, когда начал использоваться э л е к

тронный микроскоп¹. Электронный микроскоп увеличивает в десятки и даже сотни тысяч раз. При таких увеличениях удалось установить, что защитная пленка, как и металл, имеет зернистое, кристаллическое строение. Пленки пронизаны мельчайшими порами, причем число пор на одном квадратном миллиметре поверхности пленки нередко достигает десятков миллионов.

Широкое применение электронного микроскопа для исследования защитных пленок в ближайшем будущем бесспорно даст много новых интересных сведений о строении и свойствах этих тончайших защитных слоев.

В борьбе за жаростойкость. Многие современные машины и аппараты работают при высоких температурах. Выхлопные клапаны авиационных и автомобильных двигателей должны выдерживать температуру до 800—900 градусов. Отдельные детали химических аппаратов работают при температуре в 500—600 градусов, при давлениях, нередко превышающих атмосферное в 1000 раз. При высокой температуре должны также работать детали нагревательных и плавильных печей, лопатки газовых турбин и многие другие механизмы. Горячая обработка металлов —ковка, штамповка, прокатка— нередко требует предварительного их нагревания до высоких температур, превышающих 1200 градусов.

Но ведь при повышении температуры скорость окисления большинства металлов резко возрастает. Поэтому естественно, что изучению коррозии металлов в атмосфере воздуха при высоких температурах уделяется исключительное внимание. Такую коррозию принято называть газовой коррозией. Огромное количество деталей современных машин подвергается разрушению благодаря газовой коррозии.

Уже при температуре в 250—300 градусов на железе или обычной (углеродистой) стали появляется видимая пленка окислов. По мере дальнейшего повышения температуры скорость коррозии увеличивается. При температуре в 600 градусов и выше поверхность металла быстро покрывается слоем окалины. До температуры 700—800 градусов окислы, образовавшиеся на железе, несколько

¹ Об электронном микроскопе см. брошюру «Научно-популярной библиотеки солдата и матроса» Воениздата: Ю. М. Кушнер «Окно в невидимое».

замедляют процесс коррозии, то есть обладают защитными свойствами. Но при температурах, превышающих 800 градусов, защитные свойства окалины понижаются и скорость окисления металла вновь возрастает.

Окалина, образовавшаяся на железе, имеет довольно сложное строение. Она состоит из слоев различных окислов железа, начиная от низшей степени окисления (FeO), кончая наивысшей (Fe_2O_3). Из всех этих слоев (рис. 5)

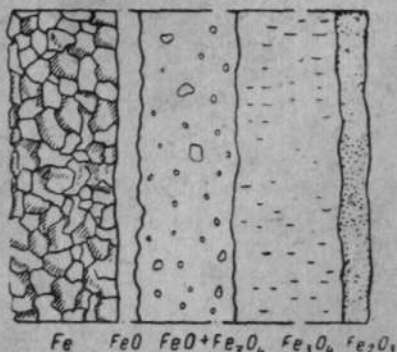


Рис. 5. Строение окалины на железе.

лучшей защитой является слой, непосредственно прилегающий к железу (FeO). Другие слои содержат множество трещин и сравнительно крупных пор и мало препятствуют проникновению кислорода.

Газовая коррозия стальных изделий сопровождается обычно обезуглероживанием поверхности металла. Это явление заключается в том, что

газы, содержащие окислители, вступают в химическое соединение с углеродом, входящим в состав стали. В результате получают газообразные соединения, которые выделяются в атмосферу. Поверхностные слои изделия обедняются углеродом. При этом целостность окисной пленки нарушается и ее защитные свойства уменьшаются.

С течением времени обезуглероженный слой стали становится толще. Иногда этот слой состоит даже из чистого железа. Механические качества поверхностного слоя изделия вследствие этого заметно снижаются, в частности уменьшается твердость, которая имеет большое значение для стальных инструментов и трущихся деталей машин и механизмов. Это происходит потому, что твердость стали и связана как раз с тем, что в состав ее, помимо железа, входит также углерод.

В настоящее время металлические изделия, работающие при высоких температурах, делают из так называемых жаростойких сплавов, то есть сплавов, хорошо сопротивляющихся газовой коррозии. Одновременно эти

сплавы обладают и свойством жаропрочности — способностью сохранять свои высокие механические качества даже при значительном повышении температуры.

Для повышения жаростойкости сталей в их состав вводятся добавки алюминия, хрома, кремния, никеля и других металлов, обладающих способностью покрываться хорошими защитными пленками. Эти добавки как бы передают стали свои высокие защитные свойства.

Присутствие в стали 12 процентов хрома сильно понижает скорость коррозии, а при содержании 25 процентов хрома сталь становится вполне устойчивой к коррозии даже при нагревании до 1000—1100 градусов. Еще больше повышает стойкость стали алюминий. Достаточно 8 процентов этого металла, чтобы практически избежать газовой коррозии стального сплава по крайней мере до температуры 1100 градусов. Аналогичным образом действует и кремний. Однако сталь, содержащая много алюминия или кремния, не получила широкого применения, так как эти добавки делают металл хрупким и затрудняют его механическую обработку. Подавляющее большинство жаростойких сталей — хромистые стали. Для повышения жаростойкости в хромистые стали часто вводят небольшие количества (до 4 процентов) кремния или алюминия. Так получают сильхромы (сплавы, содержащие железо, хром и кремний) — жаростойкие сплавы, из которых делают клапаны для авиационных и автомобильных двигателей, так создаются сильхромы — очень дешевые и весьма жароупорные сплавы, отличающиеся от сильхромов добавкой небольшого количества алюминия.

Прибавка к стали, кроме хрома, еще и никеля, вольфрама, молибдена и других металлов делает сплавы не только жаростойкими, но и жаропрочными. Такие стали сохраняют высокие механические качества даже при температуре в 1000 градусов и выше.

Во многих случаях заменять обычную сталь более дорогими жаростойкими сплавами невыгодно. Например, было бы непростительным расточительством расходовать жаростойкие сплавы на изготовление таких изделий, как колосниковые решетки в топках или металлические ящики, в которых проходят термическую (тепловую) обработку детали многих машин.

Даже самую простую сталь удастся защитить от газовой коррозии. Для этого на ее поверхность наносят тонкий слой металла, хорошо сопротивляющегося газовой коррозии, специальную жаростойкую эмаль или тонкий слой особого стекла, хорошо пристающего к металлу.

Для уменьшения газовой коррозии при нагревании металлов перед ковкой, прокаткой или для термической обработки часто применяют в печах так называемую защитную атмосферу. Для этого в нагревательные печи подается газовая смесь, не содержащая кислорода и других вредных примесей, например соединений серы. Обычно такая смесь состоит из азота и водорода. В других случаях создание защитной атмосферы достигается частичным сжиганием коксовального, светильного или природного газов.

Химическая коррозия, особенно газовая, приносит значительный ущерб, прежде всего, машиностроительной промышленности, где обработка металла связана с его предварительным нагреванием. Однако наибольший вред решительно всем отраслям народного хозяйства причиняет электрохимическая коррозия. О ней и будет рассказано в следующей главе.

4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ

Как работает гальванический элемент? Подавляющее большинство металлических изделий во время своей службы соприкасается с электролитами — водными растворами, проводящими электрический ток. Такое соседство для металлов часто оказывается роковым. Мы знаем, что металлические трубы и кабели, проложенные в воде или во влажной почве, быстро разрушаются, если они не защищены специальными покрытиями. Даже во влажном воздухе многие металлы (медь, железо и другие) сравнительно быстро выходят из строя благодаря коррозии. Разрушение металла значительно ускоряется, если воздух загрязнен пылью, примесями углерода, серы и т. д., как это часто бывает в промышленных районах. Наконец, в химической промышленности, где металлы часто соприкасаются с растворами кислот и щелочей, особенно много приходится думать о защите от коррозии. Неправильно подобранный металл для какого-либо аппарата может послужить причиной его быстрой гибели.

Многочисленные наблюдения показали, что коррозия во всех перечисленных случаях не является простым химическим окислением, о котором говорилось выше. Она протекает другим, более сложным путем, причем существенную роль играют здесь не только химические, но и электрические явления. Поэтому ее принято называть электрохимической коррозией.

Погрузим в сосуд, наполненный соляной кислотой, два разнородных металла, например медь и цинк, и соединим эти металлы проводником. Мы получим гальванический элемент — источник электрического тока. Включенный в цепь электроизмерительный прибор немедленно покажет наличие тока.

Познакомимся с тем, как работает гальванический элемент. Во всяком растворе, проводящем электрический ток, почти все молекулы растворенного вещества распадаются. Одни части молекулы при этом теряют часть электронов и становятся, таким образом, заряженными положительно. Другие же, наоборот, приобретают электроны и получают отрицательный электрический заряд. Частицы молекул, несущие электрические заряды, принято называть ионами. Ионы водорода и металлов несут на себе положительные электрические заряды.

При погружении цинковой пластинки в раствор кислоты между кислотой и металлом возникает особое взаимодействие. Атомы цинка постепенно переходят в раствор. При этом каждый такой атом оставляет на металлической пластинке два электрона, а сам становится ионом цинка, заряженным положительно. Металлическая пластинка, обогащаясь электронами, приобретает отрицательный электрический заряд. Между нею и раствором возникает разность потенциалов¹. Ее величина зависит как от рода металла, так и того, какой состав имеет раствор и какова его концентрация. Между медной пластинкой и тем же раствором возникнет разность потенциалов, меньшая, чем между раствором и цинком.

Вернемся теперь к нашему гальваническому элементу — полоскам меди и цинка, погруженным в раствор

¹ Подробнее о гальванических элементах и понятии разности потенциалов смотри брошюру «Научно-популярной библиотеки солдата и матроса» Воениздата: Э. И. Адирович «Электрический ток и его применение».

соляной кислоты (рис. 6). Между обеими полосками возникает разность потенциалов. Атомы цинка в виде ионов будут переходить в раствор. Освободившиеся на металлическом цинке (аноде) электроны потекут по внешнему проводнику к медной пластинке (катоде). Электрическая цепь замкнется через электролит, где ток переносится ионами. Электроны медной пластинки будут переходить на положительные ионы водорода и таким образом нейтрализовать их.

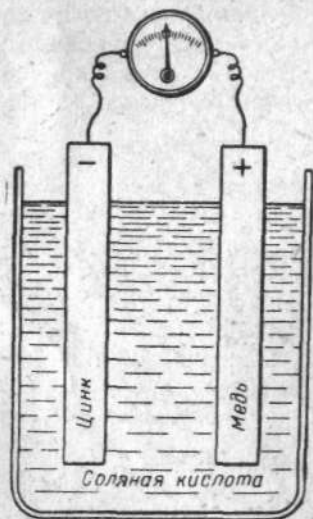


Рис. 6. Схема устройства гальванического элемента

В результате работы гальванического элемента цинковая пластинка постепенно разрушается. Пластинка меди остается нетронутой — она служит лишь местом, где нейтрализуются положительно заряженные ионы раствора.

Электрохимическая коррозия металла напоминает постепенное растворение анода гальванического элемента. В то же время коррозия металлов в электролитах отличается своими особенностями. О них мы поговорим ниже.

Микрогальванические элементы. Опустим пластинку цинка в серную кислоту. Мы

тотчас же увидим, что выделяются пузырьки газа. Это водород. В то же время пластинка цинка будет сравнительно быстро растворяться в кислоте. Уже много лет назад было замечено, что чем чище цинк, чем меньше он содержит примесей таких металлов, как медь, железо, свинец или олово, тем медленнее идет его растворение. Химически чистый цинк может довольно долго находиться даже в крепкой кислоте без заметного растворения.

Более ста лет назад, внимательно присмотревшись к поведению цинковой пластинки в кислоте, ученые заметили, что пузырьки водорода выделяются неравномерно на всей поверхности металла; в одних местах пузырьков выделяется много, а в других совсем мало. Ученые предположили: не является ли выделение водорода на отдель-

ных местах цинковой пластинки результатом работы маленьких гальванических элементов, у которых катодом являются посторонние примеси, находящиеся в металле, а анодом — сам цинк (рис. 7). Эти идеи в то время не могли быть полностью оценены. Науки о металлах еще не существовало, а электрохимия делала лишь первые, очень робкие шаги.

Лишь в наши дни, после того как усилиями многих поколений ученых и в первую очередь русских исследовате-

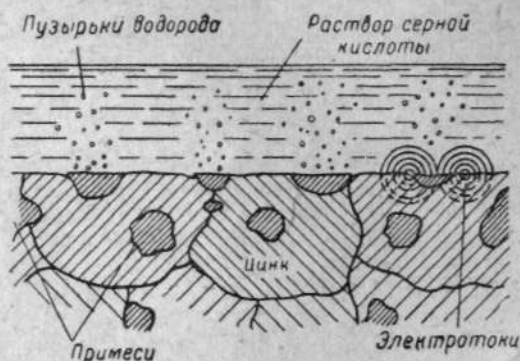


Рис. 7. Схема растворения цинка в кислоте.

лей накоплен богатейший опытный материал и создана наука о металлах и сплавах, теория электрохимической коррозии металлов получила всеобщее признание. Коррозия металлов в электролитах рассматривается сейчас как результат работы множества мельчайших, порою даже микроскопических гальванических элементов, находящихся на поверхности металла.

Теперь для нас становится понятным, почему более чистый цинк медленнее растворяется в кислоте, чем металл, загрязненный примесями. На поверхности металла, содержащего мало примесей, возникает меньше микродомов, и он оказывается более коррозионно стойким. На сильно загрязненном цинке образуется сразу большое число микроэлементов, и это быстро приводит к его разрушению.

Таким образом, загрязнение металла примесями других металлов и сплавов в значительной степени ускоряет процесс его разрушения. Замечено, что электрохими-

ческая коррозия металлического изделия, начавшись однажды, обычно быстро развивается, разрушая металл. Чтобы объяснить это явление, обратимся к рисунку 8.

В начале растворения цинковой пластинки, погруженной в кислоту, на ее поверхности образовалось еще сравнительно немного микроэлементов (рис. 8, а), поскольку примеси, заключенные в толще пластинки, еще не соприкасаются с кислотой. Однако постепенно, по мере разъедания цинка, на его поверхности оказывается все больше

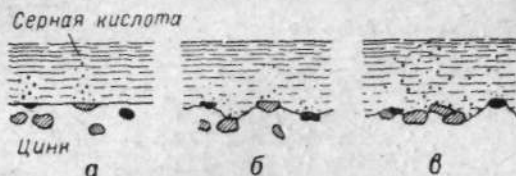


Рис. 8. Увеличение числа микрокатодов при растворении цинка.

примесей (рис. 8, б и 8, в). Количество микроэлементов возрастает, и процесс разрушения металла ускоряется. Разрушаться будет только цинк, примеси же, играющие роль микрокатодов, не растворяются.

Через некоторое время на поверхности цинковой пластинки образуется рыхлый слой примесей, обычно называемый «губкой». К этому времени скорость растворения металла достигает наибольшей величины. Если аккуратно, пользуясь стеклянной палочкой, снять с поверхности «губку», то коррозия замедлится. Мы заметим это по тому, что сократится выделение пузырьков водорода.

Если теперь отделенный нами кусок «губки» присоединить (хотя бы в одной точке) к цинковой полоске, скорость коррозии снова возрастет. На это укажет усиленное выделение водорода на «губке». Но в таком виде наша опытная установка, состоящая из кислоты, цинка и «губки» металлов — примесей, уже ничем не отличается от простейшего гальванического элемента. Тысячи микрокатодов составляют один катод — «губку».

Мы уже знаем, что любой металлический сплав всегда отличается химической неоднородностью своих отдельных частей. Даже в небольшом кристаллике стали, например, есть отдельные участки, более богатые углеродом, железом, серой, фосфором. Эта неоднородность при подходя-

щих условиях (наличие электропроводящей жидкости — электролита, хотя бы в виде тончайшего слоя) вызывает электрохимическую коррозию.

Однако не только примеси вызывают коррозию металлов. Доказано, что и поверхность самого чистого металла не может быть свободна от электрохимической коррозии. Например, известно, что даже между ребром и гранью одного и того же кристалла отмечается разность потенциалов, правда, очень незначительная. Различно обработанные поверхности металла (шлифованная или травленая) также имеют разные потенциалы. Естественно, что в таких условиях на поверхности металла всегда могут образоваться гальванические элементы, рано или поздно выводящие металлическое изделие из строя.

Конечно, электрохимическая коррозия является не только следствием работы микроэлементов. Иногда гальванические элементы, образующиеся в металлических изделиях, имеют электроды весьма заметных размеров. Часто при сборке металлических конструкций пользуются болтами или заклепками, сделанными из другого металла. Предположим, что из листового алюминия с помощью медных или латунных заклепок делается бак для воды. В этом случае медные заклепки (рис. 9) будут играть роль катодов, а алюминиевые листы станут анодами тех же элементов и будут разрушаться. Естественно, что подобное соединение металлов приведет к быстрому разрушению металлического бака.

При постройке металлических сооружений всегда учитывается возможность вредного влияния различных металлов и сплавов, тесно соприкасающихся друг с другом. Считается недопустимым, например, если алюминий находится рядом с медными сплавами или нержавеющей сталью. Нежелательно соприкосновение стальных деталей с медными и никелевыми сплавами, с благородными металлами и т. д.



Рис. 9. Сравнительно крупный „гальванический элемент“ на металлической конструкции.

Коррозия в атмосфере. Подавляющее большинство металлических изделий несет свою службу на воздухе. Каркасы зданий, фермы металлических мостов, различные станки и механизмы, металлические крыши, рельсы, провода электрических и телефонно-телеграфных линий и многие другие изделия из металла непрерывно соприкасаются с воздухом. Но в воздухе всегда находятся водяные пары. Если их достаточно много, а температура воздуха низкая, то происходит выделение мельчайших капелек воды в виде всем известного тумана.

Туман медленно осаждается на окружающих предметах, в том числе и на металлических изделиях. Капельки влаги постепенно растекаются по гладкой металлической поверхности, образуя сплошную тонкую пленку. Металл становится влажным. Этим создается важнейшее условие для возникновения электрохимической коррозии.

Если металл имеет шероховатую поверхность или покрыт твердыми частицами пыли, угля или продуктов коррозии, то слой влаги на нем образуется еще задолго до того, как в воздухе появится туман. Рыхлые гигроскопические вещества¹, находящиеся на металле, быстро поглощают влагу из воздуха и образуют на поверхности металла тонкий слой электролита.

Воздух крупных промышленных районов часто бывает загрязнен примесями углекислоты, окислов азота, сернистого газа и т. д. Эти газы растворяются в капельках влаги и, попадая на поверхность металлических изделий, сильно ускоряют процесс коррозии. Особенно вредным для большинства металлов является сернистый газ. Недаром его называют коррозионно-активным газом. Он попадает в воздух вместе с дымом при сжигании каменного угля, обычно содержащего серу. В воздухе сернистый газ окисляется и, растворяясь в воде, образует серную кислоту. Подсчитано, что, например, в воздухе над Лондоном ежедневно образуется несколько десятков тонн серной кислоты! Конечно, такая атмосфера неблагоприятна для не защищенных от нее металлических изделий.

¹ Гигроскопическими веществами называются вещества, хорошо поглощающие влагу.

Атмосферная коррозия является самым распространенным видом электрохимической коррозии. Она выводит из строя наибольшее количество металла. Борьба с атмосферной коррозией требует особенно надежной защиты металлических изделий, ибо такая коррозия не щадит металлы и тогда, когда они хранятся на складах, и в то время, когда они используются в качестве деталей станков и механизмов.

Атмосферная коррозия, прежде всего, делает гладкую, хорошо отшлифованную металлическую поверхность тусклой. В ряде случаев уже одно это приводит к необходимости замены изделия. Нельзя, например, мириться с тем, что тускнеет блестящая поверхность металлических зеркал, медицинских инструментов и т. д.

Продукты атмосферной коррозии обычно остаются на поверхности металла. На некоторых металлах, например на алюминии и алюминиевых сплавах, как мы уже говорили, продукты коррозии образуют довольно прочную защитную пленку, препятствующую дальнейшему разрушению металла.

На процесс атмосферной коррозии влияют и многие другие обстоятельства, например дождь и температура воздуха. Дождь, смачивая поверхность металла, может растворить или просто смыть защитную пленку. Резкие перемены температуры также неблагоприятно отражаются на защитной пленке. Она покрывается сетью трещин и кусочками отваливается от поверхности металла.

Наибольшую опасность для металлов представляет загрязнение атмосферного воздуха пылью и вредными газами. Поэтому в нашей стране ведется большая работа по предотвращению загрязнения атмосферы. Создаются специальные устройства, улавливающие угольную пыль и особенно вредные газы. Конечно, такая работа может быть развернута в полной мере только в нашем социалистическом государстве. В капиталистических странах отдельные капиталисты, владеющие, например, теплоцентралями или химическими предприятиями, обычно не заинтересованы в том, чтобы нести расходы по очистке дымовых газов.

Коррозия в почве. Немало изделий из металла служит человеку, находясь в земле. Различные трубопроводы, по которым текут вода, газ или нефть, делаются из металла и чаще всего прокладываются в земле. В земле разме-

шаются также кабели, по которым передается электрический ток или осуществляется телеграфно-телефонная связь.

Почва является смесью различных веществ. В ее состав входят и минералы и различные органические вещества, главным образом — продукты гниения. Почвенная вода всегда содержит растворы различных кислот и солей, а поэтому является прекрасным электролитом. Соприкосновение же с электролитом, как мы знаем, быстро вызывает электрохимическую коррозию металлов.

В настоящее время металлические изделия, предназначенные для работы в земле, предварительно покрываются довольно толстым слоем каменноугольной смолы, асфальта или другого специального материала, изолирующего (отделяющего) металл от почвенной влаги.

Серьезные разрушения подземных металлических сооружений, трубопроводов, а также свинцовых оболочек кабелей часто вызываются так называемыми блуждающими токами. Источниками таких токов могут быть любые установки, вырабатывающие или потребляющие электрическую энергию. Правда, блуждающие токи от источников переменного тока не оказывают корродирующего действия. Зато блуждающие постоянные токи от электростанций, приводящих в движение электрические железные дороги, в том числе и трамваи, представляют собой серьезную опасность для металлических сооружений, находящихся в земле.

Как же возникают блуждающие токи? Посмотрите на рисунок 10. Постоянный ток по воздушному проводу поступает в мотор трамвайного вагона, а затем через колеса направляется в рельсы, которые служат как бы вторым проводником. Трамвайные рельсы, как правило, плохо изолированы от почвы. Поэтому часть тока может отливаться от них и блуждать различными путями, особенно по находящимся в земле металлическим предметам. В других местах блуждающий в почве ток может снова вернуться на рельс. Таким образом, на рельсах и проложенных недалеко от них трубопроводах и металлических оболочках кабелей появляются участки входа и выхода постоянного электрического тока. Первые из них вызовут образование катодных зон на металле, а вторые — анод-

ных. Анодные зоны на рельсе или трубопроводе, то есть те зоны, от которых уходит электрический ток, будут подвергаться усиленному коррозионному разрушению. Подсчитано, что блуждающий ток силой в 1 ампер в течение года может разрушить до 10 килограммов железа или меди. В крупных промышленных центрах блуждающие токи иногда достигают большой силы. Измерения пока-

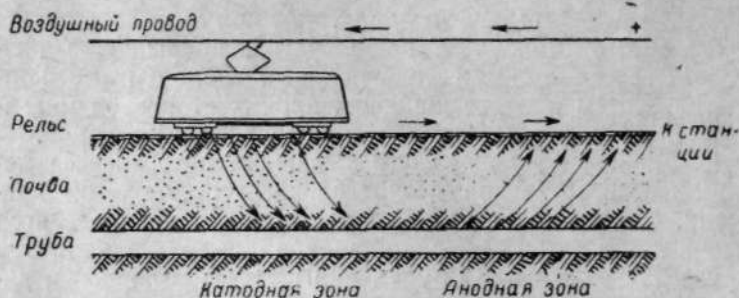


Рис. 10. Коррозия железной трубы блуждающими токами.

зали, что в одном из районов Нью-Йорка в часы наиболее интенсивной работы городского транспорта по водосточной трубе проходил ток силой в 70 ампер.

Для борьбы с коррозией, вызываемой блуждающими токами, рельсы городских железных дорог сваривают, улучшая этим их проводимость. Принимаются также меры к лучшей изоляции рельсов от почвы. Для этого обычно под них подкладывается слой щебня, материала, плохо проводящего электрический ток. В свою очередь металлические трубы, кабели и другие изделия, находящиеся в земле, покрываются, как мы уже знаем, толстым слоем изолирующих материалов. Такие покрытия не должны иметь ни пор, ни трещин. В противном случае блуждающий ток будет проходить через эти поры и трещины, и коррозия, развивающаяся на небольшой площади трубы или кабеля, будет исключительно сильной и быстро выведет металлический предмет из строя.

Для защиты подземных металлических сооружений от блуждающих токов применяют еще так называемый электродренаж: все подземные сооружения связываются между собой проводниками и присоединяются

к специальному проводу. В результате ток из трубы или свинцовой оболочки кабеля уже не выходит в почву. Разрушения металла при этом не происходит.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРОЗИИ

Итак, в результате коррозии металлическое изделие разрушается. Обычно прежде всего страдает внешний вид изделия: его гладкая, хорошо отполированная поверхность становится шероховатой, покрывается различными химическими соединениями — продуктами коррозии. Затем процесс коррозии проникает вглубь металлического изделия, вызывая его неисправимую порчу.

Величину коррозии часто выражают потерей веса металлического образца в определенный промежуток времени. Образец взвешивается до того, как он подвергся коррозии, а затем — после удаления продуктов коррозии с его поверхности. Для удаления продуктов коррозии нередко применяются специальные вещества — травители, которые растворяют продукты коррозии, но не разрушают самого металла. В различных отраслях промышленности применяются так называемые шкалы коррозионной устойчивости. В химической промышленности, например, принято считать, что если действие коррозии выражается потерей менее 0,1 грамма металла с 1 квадратного метра поверхности изделия в час, то такой металл вполне стоек. Если потеря металла составляет от 3 до 10 граммов в час с 1 квадратного метра поверхности, металл считается мало стойким. При большей величине потерь металл признается совершенно нестойким. Конечно, коррозионная устойчивость разных металлов весьма различна.

Однако определение действия коррозии по количеству разрушенного металла практически не всегда дает достаточно полное представление о процессе коррозии и ее возможных последствиях. Нужно учитывать еще, какую часть поверхности металла занимают коррозионные разрушения и насколько глубоко проникают они в толщу предмета. Совершенно очевидно, что при одном и том же количестве разрушенного металла больший вред от коррозии будет в том случае, если в отдельных местах ржавление проникло глубоко в металл. При этом металлическая деталь в значительной мере теряет свою прочность.

Наоборот, если вся поверхность изделия покрыта ровной и тонкой пленкой продуктов коррозии, его механические качества в большинстве случаев не ухудшаются.

Различают несколько видов коррозионных разрушений. Рассмотрим здесь основные из них.

Очень часто коррозия равномерно распространяется по всей поверхности металлического предмета (рис. 11).



Рис. 11. Равномерная коррозия.

Такую коррозию поэтому и принято называть равномерной. Большинство случаев разрушения металлов на открытом воздухе представляет собой равномерную коррозию. Именно так ржавеют железные трубы. Если осторожно удалить слой ржавчины, легко обнаружить, что поверхность металла стала шероховатой. При длительной



Рис. 12. Местная коррозия.

и сильной коррозии на поверхности изделия могут появиться наряду с мелкими углублениями и более значительные.

Бывает, что в результате коррозии разрушается не вся поверхность металла, а лишь отдельные более или менее значительные участки. Такая коррозия называется местной (рис. 12). Как правило, местную коррозию вызывают, прежде всего, различные повреждения поверхности металла: царапины, ссадины и т. д. В поврежденных местах защитная пленка на металле оказывается разрушенной, и эти участки, становясь в присутствии влаги анодами, интенсивно разрушаются.

Иногда разрушение металла происходит только на очень маленькой поверхности в отдельных небольших участках. При этом коррозия, как правило, проникает далеко внутрь металла, образуя нередко глубокую язву (рис. 13). Такая коррозионная язва может иногда привести к образованию в изделии сквозной дыры с резко очерченными краями.

В процессе эксплуатации металлических изделий очень часто наряду с коррозионной средой на металл воздействуют постоянные или переменные механические напряжения — следствия тех усилий, которые развивает или передает деталь машины. В этих случаях в металле могут появиться более или менее глубокие трещины, назы-



Рис. 13. Коррозионная язва.

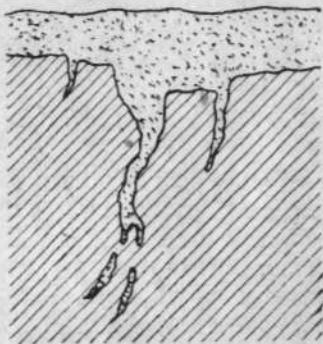


Рис. 14. Трещина коррозионной усталости.

ваемые трещинами коррозионной усталости (рис. 14). Наличие таких трещин выводит машину из строя, требует замены поврежденных деталей или заварки трещин.



Рис. 15. Интеркристаллитная коррозия.

Наконец, особым видом местной коррозии является так называемая интеркристаллитная коррозия. В этом случае разрушению подвергаются главным образом границы зерен кристаллитов, составляющих металл (рис. 15). Коррозия распространяется глубоко внутрь металла, не вызывая при этом заметных изменений поверхности изделия. Продукты коррозии оказываются в толще металла. Они нарушают связь между отдельными зернами. Металлическое изделие, пораженное интеркристаллитной коррозией, не обла-

дает большой прочностью и при ударах часто рассыпается на куски. Такой вид коррозии бесспорно является одним из самых опасных.

Часто можно наблюдать одновременное действие нескольких видов коррозии. Равномерная коррозия, например, иногда сопровождается интеркристаллитной и т. д.

Огромный вред, наносимый коррозией, заставил ученых изучить не только причины этого явления, но и разработать большое количество методов борьбы с разрушениями металлов. Об этом рассказано в следующей части нашей книги.

6. КОРРОЗИЯ ОРУЖИЯ И БОРЬБА С НЕЮ

Существует старая солдатская поговорка: «Винтовка любит ласку — чистку да смазку». В этой поговорке прекрасно выражена забота о боевой технике, которой в изобилии снабжает наша Родина своих доблестных защитников.

Оружие, боеприпасы, различные боевые машины, военно-инженерные средства, так же как многочисленные машины и орудия мирного труда, изготовлены из металла. В военной технике, как и в мирной, наиболее широкое применение также нашел самый важный и распространенный металл современности — сталь.

Выше уже говорилось, что боевая техника хранится и эксплуатируется в самых разнообразных условиях климата, погоды, температуры и т. д. Во всех случаях металл, прежде всего, соприкасается с более или менее влажным атмосферным воздухом. Один литр воздуха, принятого считать сухим, при температуре в 20 градусов, содержит около 10 миллиграммов воды. При охлаждении такого воздуха влага начинает выделяться из него и осаждаться на окружающих предметах в виде росы; металлические предметы при этом, как говорят, запотевают. На особенно холодных предметах (температура которых ниже нуля) осаждающаяся влага обычно замерзает, образуя иней.

Появление на металлических деталях оружия и боеприпасов даже самых мельчайших капелек влаги приводит к возникновению процесса коррозии металла. При этом, если поверхность металла загрязнена пылью и на ней находятся старые продукты коррозии, процесс ржавления пойдет более быстро.

Атмосферные осадки — дождь и снег — также создают благоприятные условия для возникновения коррозии металлов. Исследования показали, что дождевая вода не является химически чистой, а содержит ряд растворенных веществ, активно способствующих процессу ржавления. В одном литре дождевой воды может содержаться, например, до 3,7 миллиграммов аммиака, до 0,7 миллиграммов азотной кислоты, несколько миллиграммов морской соли и другие примеси. По мере высыхания на поверхности металла капелек влаги концентрация примесей в них резко увеличивается, а это в свою очередь повышает интенсивность процесса коррозии.

Особенно недопустимой является даже самая незначительная коррозия поверхности каналов стволов стрелкового и артиллерийского вооружения. Поверхность канала ствола должна быть чистой, ровной и гладкой, без всяких дефектов. В этом случае пуля или снаряд равномерно врезаются в нарезы, получают правильное осевое вращение и рассеивание при стрельбе будет небольшим.

Совсем другие результаты стрельбы могут иметь место в том случае, когда канал ствола поражен раковинами, сыпью и имеет другие дефекты. Пуля в таком стволе испытывает лишнее трение, неодинаковое с разных сторон, тормозится в стволе. В результате ухудшится кучность боя оружия, увеличивается рассеивание.

Из сказанного ясно, насколько важно содержать каналы стволов оружия в образцовом порядке и всячески оберегать их от порчи.

Поверхность металла в канале ствола оружия эксплуатируется в очень тяжелых условиях. При стрельбе она воспринимает давление пороховых газов и действия высокой температуры. В результате выстрела на ней образуется нагар, являющийся остатком от сгорания пороха и капсюльного состава, а также содержащий частички металла, соскобленного с пули или снаряда.

Чем больше выстрелов сделано из оружия, тем больше нагара отложилось в его стволе. Исследованиями В. Н. Поддубного установлено, что после ста выстрелов в стволе вполне исправной винтовки, канал которой не имеет никаких дефектов, откладывается 60 миллиграммов нагара. В стволе, пораженном сыпью, после такого же количества выстрелов откладывается 178,3 миллиграмма нагара. Если же поверхность канала ствола имеет

еще и раковины — количество нагара после ста выстрелов составляет уже 220,5 миллиграмма.

Химический состав нагара сложен. В него входят растворимые в воде соли: хлористый калий, сернистый и сернистоокислый калий, а также нерастворимые в воде металлы и зола. Наиболее вредной примесью является хлористый калий. Эта соль плавится при температуре 768 градусов и обращается в пар при 1415 градусах. Во время выстрела развивается значительно большая температура (до 2800 градусов), и хлористый калий в виде пара находится в пороховых газах. Соприкасаясь с холодными стенками ствола, пары хлористого калия конденсируются и в виде капелек расплавленной соли или мелких кристалликов покрывают поверхность канала ствола. При дальнейшей стрельбе стальная поверхность канала нагревается и частички хлористого калия приплавляются к ней, образуя блестящий, стекловидный слой.

Калиевые соли пропитывают все остальные частицы рыхлого нагара, как бы цементируют их, превращая из легко удаляемой массы в твердое, трудно сдираемое вещество, плотно приклеившееся к поверхности металла.

Содержащиеся в нагаре соли легко впитывают влагу из атмосферного воздуха и превращаются в насыщенные растворы солей, вызывающие усиленное ржавление металла.

Стальная оболочка пули обычно бывает покрыта тонким слоем какого-либо мягкого металла или сплава — томпака, латуни, меди или цинка. Когда пуля ввинчивается в нарезы канала ствола винтовки, часть ее покрытия соскабливается и остается в стволе. Сами по себе эти частички металла не могут вызвать коррозию, однако на поверхности канала ствола их окружают растворы солей. В таких условиях в стволе легко образуются гальванические элементы, быстро разрушающие сталь.

На рисунке 16 представлена схема развития коррозии в канале ствола винтовки, не вычищенной после стрельбы (по В. Н. Поддубному). До выстрела поверхность канала ствола со всеми ее рисками, трещинками, порами покрыта тонким слоем смазки. Уже после нескольких выстрелов смазка сгорает, поверхность канала ствола покрывается рыхлым слоем нагара, под которым к самой поверхности металла приплавляются соли, образуя плотную стекловидную корочку. На отдельных местах поверхности ка-

нала ствола отлагаются также частицы меди, сцарапанные с оболочки пули во время ее движения по каналу ствола.

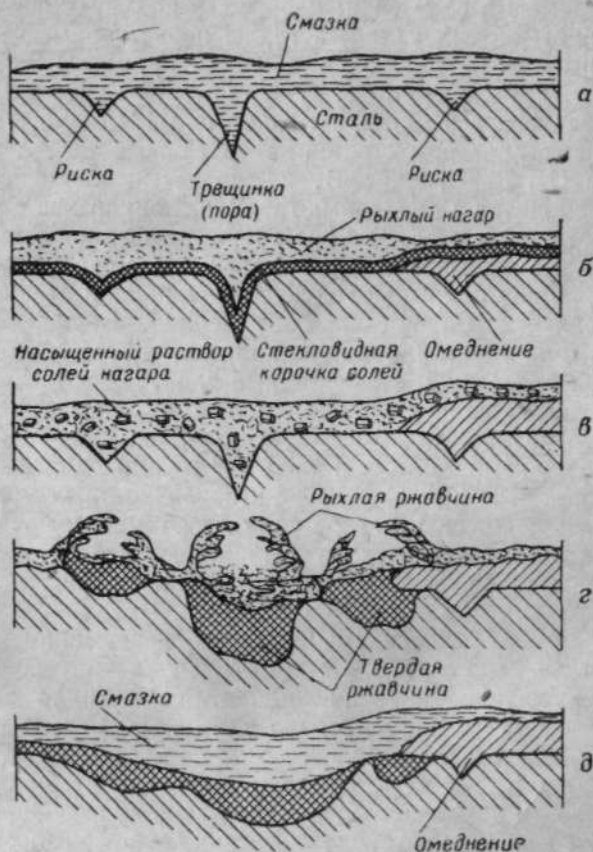


Рис. 16. Схема коррозии канала ствола винтовки, не вычищенной после стрельбы:

а — до выстрела; б — после нескольких выстрелов; в — после отпотевания; г — после ржавления; д — после чистки канала ствола.

Но вот стрельба закончена и ствол винтовки остыл. Происходит уже известное нам явление отпотевания металла. Соли, входящие в состав нагара, поглощают влагу из атмосферы, на поверхности канала ствола образуется

их насыщенный раствор. Создаются самые благоприятные условия для развития процесса коррозии. На поверхности канала ствола, особенно в местах углублений, помятостей и трещинок, образуются раковины, которые быстро увеличиваются в своих размерах. В непосредственной близости от омедненных участков поверхности также образуются и быстро развиваются раковины. Разрушение стали происходит здесь особенно быстро в результате образования гальванического элемента, у которого положительным полюсом является медь, быстро разрушающимся отрицательным полюсом — сталь, а электролитом служит образовавшийся раствор солей нагара.

Исследования процессов коррозии поверхности каналов стволов оружия показывают, что ржавление не вычищенного после стрельбы оружия начинается после того, как только нагар увлажнится. Поэтому оружие нужно чистить сразу же после стрельбы, пока ствол еще не остыл и поверхность канала не отпотела. При этом нужно обязательно счистить **весь** нагар, растворить и удалить **все** соли. В противном случае на поверхности канала ствола останутся очаги, в которых начнет развиваться процесс коррозии.

«Наставление по стрелковому делу» требует, чтобы боевое оружие солдата — винтовка — всегда содержалось в полном порядке и чистоте. Это достигается своевременной и умелой чисткой и смазкой винтовки.

Если винтовка находится без употребления, ее нужно чистить не менее одного раза в неделю. После учений, караульной службы и занятий, проводившихся без стрельбы, винтовку следует чистить немедленно по окончании учений или занятий.

После стрельбы боевыми и холостыми патронами следует немедленно, тут же на стрельбище, вычистить и смазать канал ствола винтовки и боевую личинку. Вернувшись со стрельбы, необходимо произвести полную чистку винтовки. В течение последующих трех-четырех дней необходимо протирать чистой белой тряпкой канал ствола и, если на тряпке будет обнаружен нагар, чернота или ржавчина, повторять чистку.

В боевой обстановке, на маневрах и длительных учениях в поле винтовку следует чистить ежедневно, пользуясь перерывом в занятиях или затишьем боя.

Немедленно после чистки винтовка смазывается ружейной смазкой.

В условиях казарменного или лагерного расположения подразделения чистка винтовок должна производиться в специально отведенных для этого местах, на оборудованных или приспособленных для этой цели столах. В боевой или походной обстановке чистку винтовок следует производить на специальных подстилках, досках и т. п., предварительно очищенных от грязи и пыли.

Для очистки порохового нагара и чистки частей винтовки, подвергавшихся действию пороховых газов (ствола, затвора, ствольной коробки и штыка), применяется щелочной состав.

Для смазывания частей винтовки после их чистки используется **ружейная смазка**. В холодное время года для смазывания всех частей и механизмов винтовки применяется **зимняя смазка № 21**. Это густая смазка светло-желтого цвета, похожая на вазелин. Для смазывания частей винтовки, сдаваемой на склад для хранения, применяется **пушечная смазка**.

Для чистки, обтирания и смазки винтовки применяются лишь чистые и мягкие, хорошо постиранные тряпки или хлопчатобумажные концы. Очищенная от кострики пакля используется только для чистки. Для смазки канала ствола и патронника после чистки применяются щетинные ершики. Наставление запрещает применять для чистки и смазки винтовки другие смазочные и протирочные материалы¹.

Все материалы, применяемые для смазки и протирки винтовки, должны быть чистыми и доброкачественными. Для предохранения от пыли, грязи и влаги смазочные материалы должны храниться в закрытых сосудах с соответствующими надписями на них, а протирочные материалы — в особых ящиках или завернутыми в плотную материю.

Чистка и смазка винтовок производятся солдатами под наблюдением и руководством командира отделения. Офицерский состав, от командира взвода и выше, обязан на-

¹ Для разжижения и смывания смазки с мелких и сложных деталей можно применять обезвоженный керосин. После применения керосина части винтовки должны быть тщательно протерты паклей, а затем сухой и чистой ветошью.

блюдовать и руководить разборкой, чисткой и смазкой винтов.

Для защиты металлических деталей вооружения, боеприпасов и военных машин от коррозии широко используются обычные методы, применяемые в промышленности. К ним относятся: смазывание, окраска, покрытие поверхности металла защитными пленками, использование нержавеющей сплавов. Стальные детали стрелкового оружия, например, предохраняются от коррозии чаще всего методом оксидирования, то есть искусственным образованием на поверхности металла тонкой защитной пленки окислов железа.

Каждый солдат должен бережно, любовно относиться к боевой технике, которую доверила ему Родина. Нужно точно исполнять правила хранения, чистки и смазки оружия, не жалеть для этого ни времени, ни труда. Тогда наша первоклассная боевая техника будет служить долго и в случае надобности метко разить врага.

7. ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Долговечность, надежность, дешевизна. Защита металлов от преждевременного разрушения — дело, пожалуй, столь же древнее, как и применение металлов. Еще в глубокой древности был известен способ покрытия металлических изделий тонким слоем благородных металлов — серебра и золота, надежно защищающих их от ржавления. Издавна люди научились также покрывать металлы лаком или краской. Однако только в последнее время, в связи со значительным расширением применения металлов в технике и быту, были найдены многочисленные и подлинно научные способы защиты металлов.

Создавая новую машину, инженер стремится, прежде всего, к тому, чтобы эта машина служила долго, была дешева и надежна в работе. Поэтому материал для изготовления машины он должен выбрать возможно более прочный и стойкий. Очень часто машина должна быть приспособлена для работы во влажном воздухе, а иногда в морской воде или при высоких температурах.

Конечно, почти во всех случаях можно выбрать прочную нержавеющую сталь. Однако это приведет к резкому повышению стоимости машины. Поэтому на практике часто вместо дорогой нержавеющей стали применяют чугун

или обычную сталь, принимая необходимые меры к защите их от коррозии.

Способы защиты металлических изделий от коррозии весьма разнообразны. В некоторых случаях производится обработка той среды, в которой металлам предстоит ра-

ботать. Эта обработка

заключается, прежде

всего, в удалении вред-

ных примесей, вызы-

вающих коррозию. Бы-

ло замечено, например,

что стенки паровых

котлов разрушаются

под действием кисло-

рода, растворенного в

воде. Раньше воду, по-

даваемую в котлы,

предварительно про-

пускали сквозь желе-

зную стружку. Раство-

ренный в воде кисло-

род расходовался при

этом на коррозию

стружки, содержание

его в воде уменьша-

лось, и котлы, питае-

мые такой водой, слу-

жили гораздо дольше.

В настоящее время для

удаления из воды кис-

Рис. 17. Схема деаэратора — аппарата для удаления из воды растворенного кислорода.

лорода широко используются специальные аппараты — деаэраторы (рис. 17). Прежде чем поступить в котел, вода тонкими струйками омывает горячие трубки деаэратора, по которым проходит пар. При этом вода нагревается, а растворенный в ней кислород выделяется и отсасывается специальными приспособлениями.

Для замедления коррозии металлических изделий, соприкасающихся с кислотами, в настоящее время широко применяются некоторые вещества, называемые ингибиторами (замедлителями).

Механизм действия ингибиторов в достаточной степени еще не изучен. Обычно принято действие ингибиторов, или, как их называют, присадок, объяснять тем, что они,

не вступая с металлом в химическое соединение, образуют на его поверхности защитные пленки. Так, например, достаточно к соляной и серной кислотам прибавить всего лишь десятые доли процента ингибитора, чтобы задержать (затормозить) растворение металлов в них в сотни раз.

Характерной особенностью ингибиторов является то свойство, что они делают кислоту неспособной растворять только металл, в то время как все остальные свойства кислоты не изменяются. В ингибированных кислотах также хорошо растворяются некоторые окислы металлов, ржавчина, котельная накипь и т. д.; они легко вступают в химические соединения, свойственные для данной кислоты.

В настоящее время известно большое количество различных ингибиторов; некоторые из них получают путем переработки растений, содержащих так называемые алколоидные вещества (чистотел, отходы опийного мака, тысячелистник и т. д.). Некоторым ингибирующим свойством обладают также вытяжки (экстракты) из веток и листьев березы, сосны, картофельной ботвы и других растений. Однако все эти ингибиторы оказались мало пригодными при практическом применении. Во-первых, все они получались в жидком виде и, во-вторых, были недостаточно эффективными.

Советские ученые за последние годы создали путем химического синтеза новые, более совершенные типы ингибиторов. Они вырабатываются из продуктов химической и лесохимической промышленности, надежны и просты в применении. Технология их изготовления несложна, а сырье дешево и недефицитно. Все это открывает большие возможности для использования ингибирующих веществ в самых разнообразных отраслях промышленности.

Новые ингибиторы отличаются большой химической активностью. Они нашли широкое применение в травильном деле, в химической очистке котельных установок от накипи и в кислотной обработке нефтяных скважин. Большим достижением советских ученых является применяемый в настоящее время способ перевозки соляной кислоты в стальных цистернах с помощью ингибиторов, что коренным образом изменяет транспортировку кислоты, которую до этого перевозили в стеклянных бутылках и специальных дорогостоящих резервуарах.

Самыми распространенными методами защиты металлов от коррозии являются разнообразные покрытия металлических изделий слоями предохраняющих веществ. Эти покрытия бывают металлическими и неметаллическими. Для защиты металлов используются также искусственно созданные пленки окислов, то есть продукты самой же коррозии.

На всех современных машиностроительных заводах имеются специальные цеха, в которых детали будущей машины покрываются защитным слоем краски или металла. Эти цеха оснащены сложным оборудованием, полностью автоматизирующим этот сложный производственный процесс.

Перед тем как покрывать поверхность металлического изделия слоем другого вещества, ее необходимо тщательно очистить. С поверхности металла должны быть удалены даже самые мельчайшие следы жира, окислов, пыли и других загрязнений. Только в этом случае можно получить надежное, прочное покрытие. Если на поверхности железного предмета сохранится хотя бы самый маленький участок, не очищенный от ржавчины, то и после покрытия лаком или краской процесс коррозии не прекратится, разрушение металла будет продолжаться под защитным слоем.

Вот почему предварительной очистке металлической поверхности уделяется столь много внимания.

Очистка металлической поверхности. Обработка поверхности металлического изделия перед его покрытием защитным слоем производится механическим, химическим, электрохимическим способами, а часто и их сочетанием.

Одним из самых распространенных механических способов очистки поверхности металлических изделий является так называемая *пескоструйная очистка*. Этот способ состоит в том, что струя чистого и мелкого кварцевого песка с помощью сжатого воздуха направляется на очищаемую поверхность. С силой ударяясь о поверхность металла, песок удаляет с нее все загрязнения.

Существуют различные пескоструйные установки от небольших ручных до довольно сложных автоматически действующих аппаратов, отличающихся высокой производительностью. На рисунке 18 представлена одна из пескоструйных установок в работе. В камере, изготавливаемой

обычно из листового железа, находится решетчатый металлический стол. На нем укладываются детали, предназначенные для очистки. Затем по трубопроводу подается сжатый воздух. Он засасывает песок и с силой выбрасывает его через специальное сопло. Наблюдая за очисткой через смотровое окно, рабочий направляет струю песка на нужный участок.

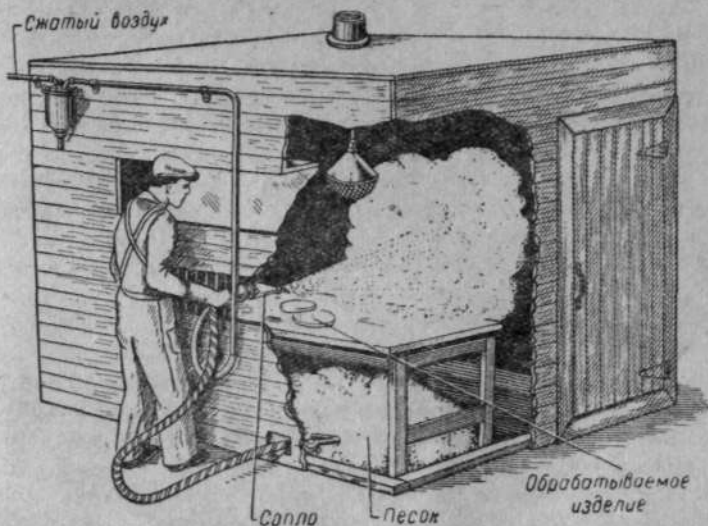


Рис. 18. Установка для пескоструйной очистки.

Песок, применяемый для очистки, должен иметь песчинки с острыми гранями. При пескоструйной очистке образуется много пыли, поэтому пескоструйные аппараты должны быть тщательно изолированы от других механизмов и аппаратов завода. Рабочие, производящие очистку струей песка, должны иметь брезентовую одежду и дышать через специальные дыхательные аппараты, предохраняющие легкие от пыли.

Пескоструйная очистка делает поверхность металла шероховатой, а это особенно необходимо для дальнейшего покрытия изделий лаками и красками, а также при их металлизации (то есть покрытии металлом). Однако этот способ очистки непригоден для изделий слишком тонких (до 1 миллиметра) или таких, которые должны обладать гладкой полированной поверхностью.

Для очистки поверхности мелких деталей применяются также **го л т о в о ч н ы е барабаны**. Это массивные цилиндрические или шестигранные коробки, снабженные плотно закрывающимися отверстиями. В эти барабаны загружаются детали вместе с сухим и чистым песком. Затем барабаны приводятся во вращение. Изделия обкатываются вместе с песком. Через несколько часов поверхность изделий оказывается прекрасно очищенной от всех загрязнений.

Голтовочные установки отличаются большой производительностью. Они незаменимы в массовом производстве, когда требуется очищать большое количество мелких деталей. Однако очень тонкие детали и изделия, обладающие наружной резьбой, не должны обрабатываться в голтовочных барабанах — они могут быть повреждены и испорчены.

Для удаления с поверхности изделия ржавчины или окислы применяются также быстро вращающиеся круглые щетки, сделанные из тонкой стальной или латунной проволоки.

Для подготовки деталей к покрытию хромом, никелем и другими металлами широко применяются также шлифование и полирование поверхности деталей. Для этого поверхность изделия подвергается обработке специальными веществами — корундом, наждаком и другими. При шлифовании с поверхности изделия снимается очень тонкая стружка, сглаживаются крупные неровности, устраняются шероховатости и царапины.

Шлифовка и полирование мелких изделий могут производиться также и во вращающихся барабанах, подобных голтовочным.

Прекрасным средством для полного удаления с поверхности металла ржавчины, окислы и вообще всех видов окислов является **т р а в л е н и е** растворами кислот. Процессу травления должна предшествовать другая важная операция — **о б е з ж и р и в а н и е**.

Поверхность металлических изделий часто оказывается покрытой более или менее толстым слоем жиров, смазочных масел, мазута, вазелина и т. д. Даже простое прикосновение рук оставляет на поверхности металла тончайшую пленку жира. Такая поверхность не смачивается травильным раствором, и на ней не удастся в дальнейшем создать прочный защитный слой.

Для обезжиривания металла применяются специальные моечные машины. В этих машинах металлические изделия оmyваются раствором щелочи (обычно раствором каустической соды).

Еще лучшие результаты дает обезжиривание в электрохимических ваннах. Такие ванны также наполняются раствором щелочи. В раствор погружаются

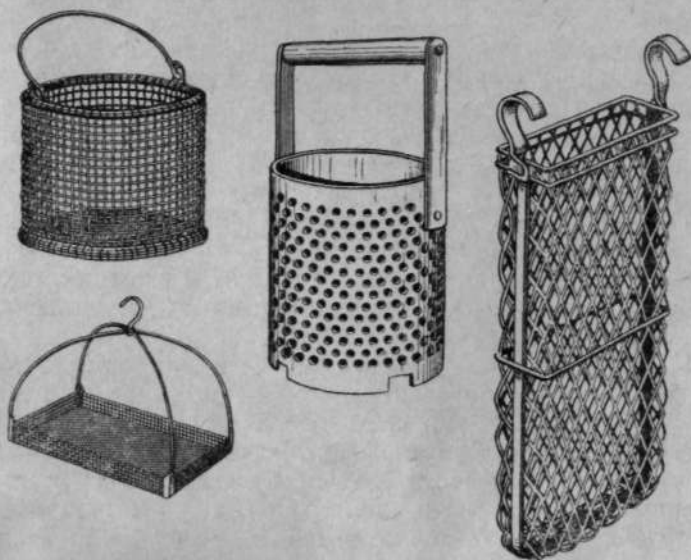


Рис. 19. Корзины для травления.

изделия, которые нужно обезжирить, и пластины из железа или никеля, служащие анодами. При пропускании электрического тока пузырьки водорода, бурно выделяющиеся на поверхности металлических изделий, срывают жировую пленку и увлекают мельчайшие капельки масла или жира на поверхность раствора. Этот процесс продолжается всего 5—6 минут. Электрохимические ванны широко применяются для очистки металлов.

После обезжиривания металлические изделия подвергаются травлению. Травление черных металлов идет в растворах серной или соляной кислот. Для травления применяют специальные ванны. Такие ванны делают из дерева, покрывая их внутренние стенки слоем смолы — би-

тума, или бетона, выложенного кислотоупорными керамическими плитками.

Мелкие изделия для удаления с них слоя ржавчины помещают в раствор в специальных корзинах, изготовленных из алюминиевой бронзы (рис. 19). В процессе травления изделия с помощью специальных кранов передвигаются в корзинах вверх и вниз — этим достигается лучшее их омывание травильным раствором.

Кислота довольно быстро удаляет ржавчину с поверхности изделия. Однако само травление таит в себе большую опасность для металлического изделия. Растворяя ржавчину, кислота может одновременно растворить и здоровый металл, а это приведет к изменению размеров изделия, разрыхлит его поверхность, ухудшит механические свойства. Добавление к раствору кислоты уже знакомых нам ингибиторов и здесь надежно предохранит от неприятных последствий. Ингибиторы не замедляют растворения ржавчины. Но, как только обнажится чистый металл, ингибитор обволакивает его тонкой пленкой, защищая от разрушительного действия кислоты.

После травления металлические изделия тщательно промываются в проточной воде и сушатся. Они готовы к следующей операции — нанесению защитного слоя.

Защита окисными пленками. Мы уже знаем, что окисные пленки, образовавшиеся в результате коррозии, часто препятствуют дальнейшему разрушению металла. Поэтому для защиты от коррозии многих металлов, особенно стали, магния, алюминия и их сплавов, широко используются искусственные окисные пленки. Получение таких пленок называется оксидированием. Многие детали точных приборов и станков, а также основные части огнестрельного оружия чаще всего предохраняются от коррозии оксидированием.

Защитная пленка, образующаяся при оксидировании стальных изделий, состоит главным образом из окиси железа. Изделия приобретают красивую синюю или черную окраску, цвет «воронова крыла». Поэтому процесс оксидирования сталей часто называют **воронением**. Воронение стальных изделий применяется не только для получения защитной пленки, но часто и в декоративных целях.

Оксидирование стальных изделий производят двумя способами: мокрым или химическим и сухим — термическим. При химическом оксидировании стальные изделия

помещаются в специальный раствор, состоящий из смеси каустической соды и азотнокислых солей щелочных металлов, чаще всего — натрия. Раствор подогревается до кипения. Процесс воронения длится от 20 минут до полутора-двух часов в зависимости от состава стали и требований, предъявляемых к защитной пленке. После оксидирования детали тщательно промываются проточной водой.

При сухом воронении стальные изделия смазываются тонким слоем асфальтового лака, растворенного в бензине, и помещаются в печь, нагретую до 300—450 градусов. Через 10—20 минут изделия получают блестящий синий или черный цвет. Они охлаждаются в минеральном масле.

Окисные пленки хорошо предохраняют изделие от коррозии в сухом воздухе. Однако во влажном воздухе или в воде их защитная способность резко уменьшается, поэтому оксидированные детали следует время от времени протирать смазочными маслами.

Особенно широко применяется оксидирование для защиты от коррозии алюминиевых и магниевых сплавов, получивших значительное распространение в авиационной промышленности. Окисную пленку на алюминии чаще всего получают воздействием серной кислоты. Эта пленка имеет красивый серебристый цвет и отличается большой твердостью. При крайне незначительной толщине, измеряемой обычно сотыми и даже тысячными долями миллиметра, она прекрасно предохраняет металл от атмосферной коррозии. А пропитывание такой пленки лаком или краской делает ее стойкой даже к воде.

Еще лучше предохраняет металл защитная пленка, состоящая из нерастворимых в воде фосфорнокислых соединений железа и марганца. Получение такой пленки называется ф о с ф а т и р о в а н и е м. Защитные свойства фосфатной пленки не уменьшаются даже при нагревании изделия до 500—600 градусов.

Коррозионную устойчивость фосфатной пленки можно резко повысить. Для этого защитная пленка пропитывается маслом или лаком. Такой способ защиты металлов от коррозии является надежным и дешевым. Поэтому он получил широкое распространение во всех отраслях промышленности.

Металлические покрытия. Наиболее старым способом защиты железных и медных изделий от коррозии является

их покрытие слоем более легкоплавкого и стойкого металла. Много столетий назад уже было известно лужение посуды, то есть покрытие ее тонким слоем олова.

Олово и его соединения безвредны для организма человека. Поэтому лужение особенно широко применяется для покрытия медных и железных кастрюль, металлической молочной посуды и других изделий, предназначенных для перевозки, варки и хранения пищевых продуктов. Луженые изделия, кроме того, хорошо спаиваются. Это во многих случаях заставляет отдавать предпочтение именно оловянным покрытиям.

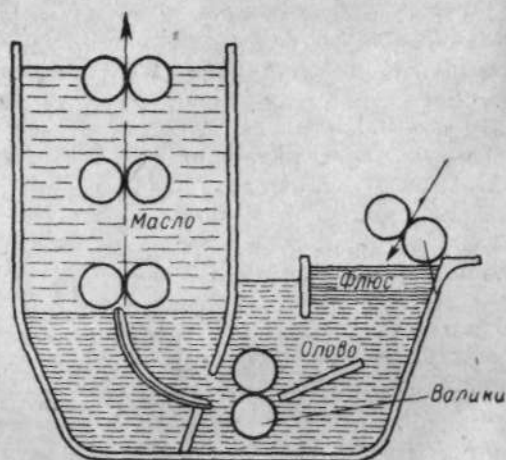


Рис. 20. Схема устройства лудильной машины.

Олово является редким и дорогим металлом, поэтому его расходуют весьма осторожно, особенно при лужении. И тем не менее половина всей мировой добычи этого ценного металла идет на производство белой жести, то есть на лужение железных листов. Жесть широко применяется в консервной, автотракторной и во многих других отраслях промышленности.

Перед лужением железные листы отжигаются и протравливаются в горячем растворе серной кислоты, а затем тщательно промываются и еще раз погружаются в раствор кислоты — теперь уже соляной. Лужение листов производится в специальной лудильной машине, схема которой показана на рисунке 20.

Вращающиеся валики подают лист в машину. Прежде всего он проходит через слой флюса — расплавленного хлористого цинка. Флюс удаляет с листа остатки влаги и окислов. Затем другая пара валиков протягивает лист через расплавленное олово. Далее лист подхватывается новыми валиками и проходит слой масла. Масло замедляет процесс затвердевания олова, позволяет ему равномерно распределиться по поверхности листа. Кроме того, масляный слой придает готовому изделию блеск. В заключение луженый лист протирается отрубями или опилками, а для лучшей очистки протягивается еще между валиками, покрытыми сукном.

Не менее широко для защиты металлов применяется покрытие цинком. Цинкование производится в больших железных ваннах, в которых цинк нагревается до 450—480 градусов. Чтобы сделать жидкий цинк менее вязким, в ванну добавляют небольшое количество (около четверти процента) алюминия.

Для цинкования железных листов, труб или металлических сеток применяют специальные машины, похожие на лудильные.

Цинковое покрытие состоит из нескольких слоев (рис. 21). Непосредственно к железу прилегает слой железоцинкового сплава, богатого железом; затем следует сплав, богатый цинком, и, наконец, слой чистого цинка. Оцинкованные изделия приобретают красивый серебристо-серый цвет. При охлаждении на воздухе жидкий цинк кристаллизуется, образуя причудливый узор. Кровельное железо и многие предметы домашнего обихода покрываются защитным слоем путем горячего цинкования.

Горячие способы получения металлопокрытий отличаются высокой производительностью. Однако расход металлов при этом оказывается довольно значительным, особенно при лужении и цинковании предметов неправильной формы. Кроме того, при горячем покрытии очень трудно получать ровный и тонкий защитный слой. По-

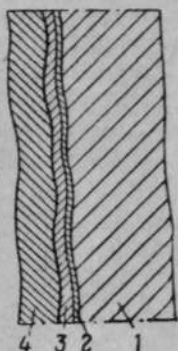


Рис. 21. Структура цинкового покрытия:

1 — железо; 2 — слой железо-цинкового сплава, богатый железом; 3 — слой железо-цинкового сплава, богатый цинком; 4 — цинк.

этому во многих отраслях промышленности горячие способы получения металлических покрытий все чаще заменяются гальваническими. Творцом их является знаменитый русский ученый академик Б. С. Якоби. Разработанные им способы электролитического осаждения металлов явились основой для новой области техники, получившей сейчас широкое применение и названной гальванотехникой.

Изделие, которое нужно покрыть защитным металлическим слоем, помещается в электролитическую ванну. Ванна должна быть наполнена водным раствором соли осаждаемого металла. В качестве анода используется пластинка того же металла. При пропускании через раствор постоянного электрического тока на поверхности изделий, служащих катодами, осаждается тонкий слой металла.

При гальваническом методе можно получить весьма прочный и ровный защитный слой любой толщины, начиная от тысячных долей миллиметра, а металлы при этом расходуются очень экономно.

Покрытия, полученные гальваническим способом, отличаются мелкозернистым строением, хорошо сцепляются с основным металлом, почти не имеют пор и обладают высокими защитными свойствами.

Гальваническим способом пользуются для покрытия изделий самыми различными металлами. Чаще всего этими методами получают тонкие защитные пленки из цинка, кадмия и олова. Еще большее распространение получили гальванические методы покрытия изделий слоями меди, хрома и никеля. Никелирование и хромирование не только защищают металлические изделия от коррозии, но и придают им красивый, зеркальный вид. Поэтому покрытия никелем и хромом часто называют декоративными покрытиями. Для декоративных покрытий используются также золочение и серебрение.

Существует еще много других способов, позволяющих быстро и экономично покрывать металлические изделия тонким слоем другого металла. Среди этих способов, прежде всего, следует отметить металлизацию.

При металлизации защитный слой наносится на поверхность изделия путем распыления расплавленного металла. Этот способ обычно используется для покрытий алюминием, цинком, медью или железом.

Тонкая проволока из металла, который должен быть нанесен на предмет, подается в специальный аппарат, по внешнему виду напоминающий пистолет (рис. 22). С помощью газового пламени или электрической дуги проволока быстро расплавляется, а мощная струя воздуха, подаваемая в пистолет, распыляет жидкий металл. Пистолет-металлизатор выбрасывает из своего сопла целый пучок мельчайших металлических частиц. Простым движением руки этот пучок направляется в нужную сторону.

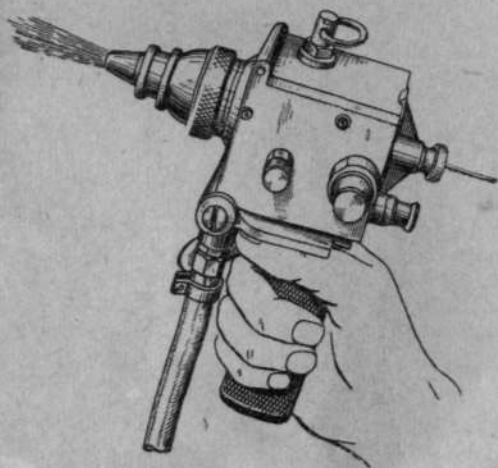


Рис. 22. Газовый металлизатор.

На рисунке 23 представлена простейшая металлизационная установка.

Распыленные металлические частицы достигают поверхности металла уже остывшими. Ударяясь о поверхность, они расплющиваются и сравнительно прочно пристаю к изделию, образуя на нем мелкочешуйчатый шероховатый слой. Этот слой особенно прочно удерживается на предмете, обладающем не гладкой, а слегка шероховатой поверхностью.

Металлизация применяется не только для защиты поверхности изделия от коррозии. Очень часто нанесением на деталь распыленного металла удается восстановить изношенную в результате трения поверхность или даже исправить брак. Металлизационный пистолет позволяет

нием сжатого воздуха распыляет лак или краску и в виде пучка мелких брызг наносит их на изделие.

В промышленности применяется еще много других неметаллических покрытий: покрытие каучуком, различными эмалями, смазками. Небольшой объем нашей книжки не позволяет остановиться на этих способах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Советский народ тесно сплочен вокруг Коммунистической партии и ее Центрального Комитета, вокруг своего Правительства. В результате самоотверженного труда советских людей неуклонно растет социалистическая экономика, перевыполняются задания пятого пятилетнего плана, развивается советская наука и культура. Наш народ с большим воодушевлением приступил к осуществлению решений, принятых Партией и Правительством по обеспечению крутого подъема производства предметов народного потребления. Осуществление этих решений повысит благосостояние рабочего класса, колхозного крестьянства и советской интеллигенции.

В то же время советский народ, учитывая опасность агрессии со стороны империалистов, проявляет постоянную заботу о всемерном укреплении оборонной мощи социалистической Родины. Вооруженные Силы нашего государства, беспредельно преданные своему народу, Коммунистической партии и Советскому правительству, надежно стоят на страже великих завоеваний нашей социалистической Родины и настойчиво совершенствуют свое боевое мастерство.

Вооруженные Силы СССР, впитав в себя богатый опыт Великой Отечественной войны и успешно овладевая новейшей военной техникой и новым оружием, полученными благодаря заботе нашего Правительства и плодотворным усилиям ученых, инженеров, конструкторов и работников промышленности, немало сделали в повышении своей боевой готовности. Проведенные на различной местности и в различной учебной обстановке, учения и маневры дали большую практику участвовавшим в них нашим сухопутным, воздушно-десантным войскам, военно-воздушным и военно-морским силам. Учения и маневры позволили проверить их боевую подготовку и умение

отлично использовать современное вооружение в обстановке, приближенной к боевой действительности¹.

В каких бы условиях советские воины ни находились, они всегда содержат боевую технику в полном порядке, чистоте и боевой готовности. Это достигается своевременной и умелой чисткой и смазкой ее.

Наша страна и ее Вооруженные Силы накопили огромный металлический фонд, который с каждым годом все более увеличивается. Сохранить этот фонд от коррозии, продлить жизнь многих миллионов металлических изделий, машин, станков, рельсов, оружия — задача большого народнохозяйственного значения. К решению этой задачи направлены усилия ученых, инженеров, практиков различных отраслей нашего народного хозяйства.

Советские ученые открывают новые сплавы металлов, отличающиеся прекрасными качествами и стойкие против коррозии. «Враг» металлического фонда страны — коррозия — уже не так страшен. Передовая советская наука позволила детально изучить его и разработать эффективные средства борьбы с ним. Однако часто наша неосмотрительность и невнимательность приводят к преждевременному выходу из строя металлических изделий, которые нас окружают, металлических орудий труда, с помощью которых мы работаем. И если эта краткая брошюра, рассказывающая об отдельных эпизодах жизни металла, заставит наших читателей более внимательно относиться к нашим «металлическим помощникам» — оружию, станкам, машинам, предметам обихода, — цель ее будет достигнута.

¹ См. речь Маршала Советского Союза Н. А. Булганина 7 ноября 1953 г. на Красной площади. (Газета «Правда» № 312 от 8 ноября 1953 г.).

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Что такое коррозия?	7
2. Металл — кристаллическое вещество	9
3. Химическая коррозия	13
Как коррозия сама себе препятствует	—
Тысячные доли миллиметра	14
В борьбе за жаростойкость	17
4. Электрохимическая коррозия	20
Как работает гальванический элемент?	—
Микрогальванические элементы	22
Коррозия в атмосфере	26
Коррозия в почве	27
5. Результаты коррозии	30
6. Коррозия оружия и борьба с ней	33
7. Защита металлов от коррозии	39
Долговечность, надежность, дешевизна	—
Очистка металлической поверхности	42
Защита окисными пленками	46
Металлические покрытия	47
Неметаллические покрытия	52
Заключение	54

А. С. Федоров — «РЖАВЧИНА И БОРЬБА С НЕЙ»

Редактор Я. М. КАДЕР

Художественный редактор А. М. ГОЛИКОВА

Обложка художника Б. С. ИВАНОВА

Технический редактор Е. К. КОНОВАЛОВА

Корректор М. А. ЗАОЗЕРСКАЯ

Сдано в набор 22.12.53.

Подписано к печати 29.1.54.

Формат бумаги 84×108²/₃₂ — 1³/₄ печ. л. = 2,87 усл. печ. л.

2,73 уч.-изд. л.

Г-05078₄

Военное Издательство Министерства Обороны СССР

Москва, Тверской бульвар, 18.

Изд. № 1,6893. Зак. 645.

1-я типография имени С. К. Тимошенко

Управления Военного Издательства Министерства Обороны Союза ССР

Цена 85 коп.