

Summary

Mechanism of liquid phase formation in metals during electrodeposition is covered. It is shown that the liquid state of a metal being electrodeposited results from very rapid, explosion-like plating-out due to a chain reaction of electrochemical formation of atoms. Kinetic equations describing the chain reaction are put forward.

В.А. Тимощенко, Е.В. Голдыш

ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗНАШИВАНИЮ

*Опытный завод ИПФ АН РМ,
ул. Миорница, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Для устойчивой работы машин и агрегатов следует обеспечить выполнение функционального назначения их частей с учетом неоднородности условий взаимодействия, то есть их равнопрочность и равное сопротивление изнашиванию. Но поскольку эти требования чаще не реализованы, то завышается сквозная материалоемкость продукции, а конструкция работает неустойчиво вследствие местных повреждений, локального преждевременного нарушения нормированных условий работы.

Для повышения работоспособности деталей машин надо установить степень соответствия детали и ее элементов функциональному назначению в системе конструкции и отклонений от нормы в процессе эксплуатации, а затем привести техническую систему в функциональное равновесие [1]. Механизмы изнашивания зависят от механической схемы нагружения, жесткости конструкции, условий взаимодействия контактирующих поверхностей и их рельефа; контактирующих материалов и сред, их реальных свойств в конкретных условиях; физико-химических процессов, проявляющихся на границе раздела. Поскольку взаимодействие неоднородно, то важно установить локальные особенности взаимодействия деталей или деталей и контактирующих материалов, сред, с учетом которых надо назначать избирательное воздействие с целью обеспечения соответствия реальным условиям.

Упрочняющие покрытия способны обеспечить существенное повышение износостойкости поверхности при учете величины и эпюры давлений, относительной скорости перемещения контактирующих поверхностей и проявляющихся при этом локальных явлений, величины локальных температур. Избирательным нанесением покрытий с определенными параметрами [3] на взаимодействующие поверхности решалась двуединая задача: формировались выступы рельефа высокой несущей способности и поверхностный слой, предотвращающий адгезионное охватывание взаимодействующих в процессе работы поверхностей, в результате чего выравнивалось сопротивление изнашиванию всей детали.

Это видно на примерах, иллюстрирующих такие подходы к обеспечению равного сопротивления изнашиванию.

Цилиндры двигателей внутреннего сгорания испытывают интенсивное местное изнашивание. Большая часть “фрикционной мощности” расходуется на преодоление сил трения между поршневыми кольцами и цилиндрами. Силы трения увеличиваются непосредственно после верхнего и нижнего крайних положений вследствие поворота верхнего компрессионного кольца около кромки кольцевой канавки в поршне и его защемления.

Это оказывает локальное давление на гильзу цилиндра (рис. 1), способное вызвать в этих зонах ее поверхностное пластическое деформирование. Очаг пластической деформации при

закругленной рабочей поверхности кольца (рис. 1,а) ограничен областью *bacde*. На линии *ac* материал гильзы получает наибольшее приращение деформации сдвига [2]

$$\Delta \varepsilon_i = \Delta v_\tau / v_n = 2/2 \sin 2\chi,$$

где Δv_τ – разрыв касательной составляющей скорости течения деформируемого металла на линии *ac*; v_n – нормальная составляющая скорости; χ – угол между касательной к линии *ac* в точке *a* и направлением перемещения кольца.

Величина угла χ связана с коэффициентом трения и для схемы на рис. 1,б равна $\chi = 1/2 \arccos 2\mu - \varphi$, где μ – коэффициент внешнего трения, $0 \leq \mu \leq 0,5$; φ – угол поворота кольца.

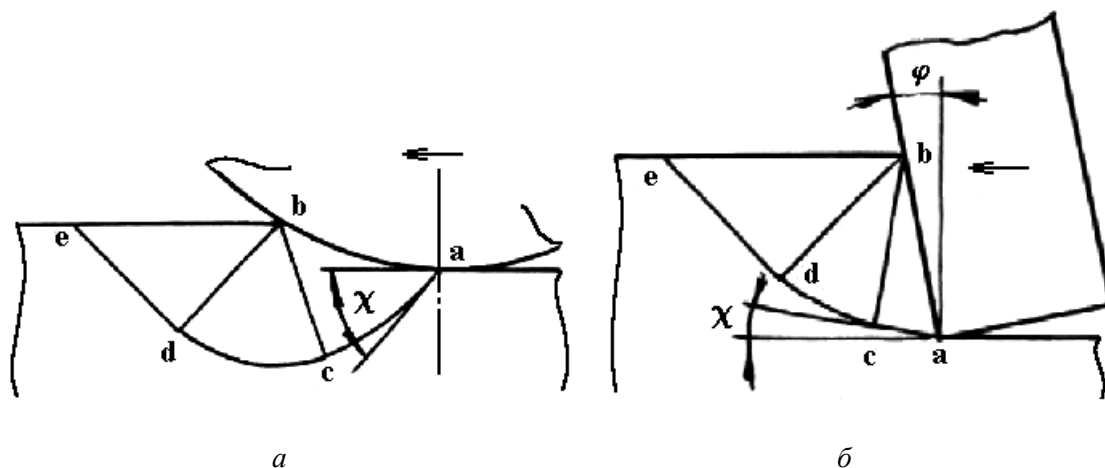


Рис. 1. Схемы деформирования стенки гильзы цилиндра при скольжении закругленной (а) и плоской (б) поверхностей верхнего компрессионного кольца.

При воздействии острой кромки кольца очаг деформации имеет вид, показанный на рис. 1,б.

Циклическое нагружение стенки гильзы цилиндра ведет к исчерпанию ресурса пластичности в поверхностном слое стенки и в результате – к отделению частиц металла, то есть к ее шелушению. Интенсивность отделения частиц и их размеры зависят от параметров рабочей поверхности верхнего компрессионного кольца, силы прижима его к стенке и пластических свойств материала гильзы. Анализ напряженного состояния в очаге деформации показывает, что для повышения несущей способности стенки необходимо снизить усилие воздействия кольца на стенку, коэффициент внешнего трения и повысить пластичность поверхностного слоя гильзы. Последнее достигается повышением сопротивления гильзы изнашиванию за счет нанесения покрытия путем гальванического хромирования с последующим местным (в зонах верхнего и нижнего крайних положений верхнего компрессионного кольца) меднением электроэрозионным легированием на мягких режимах. В качестве финишной операции лучше использовать алмазное выглаживание, так как хонингование менее эффективно.

Многие агрегаты, узлы технологического оборудования бумажного производства работают в сложных условиях. Размольные сектора, рабочие органы гидроразбивателя, вихревые очистители и другие детали подвержены интенсивному изнашиванию. Поскольку каждая деталь работает в специфических условиях, то необходимы индивидуальные анализ и выбор путей повышения устойчивости ее работы.

Так, вихревой очиститель, служащий для очистки бумажной массы от различных включений (песок, металлические частицы и др.), подвержен интенсивному изнашиванию, особенно в нижней части конического корпуса вблизи продольного сварного шва (рис. 2). Впадина наибольшего износа тянется вдоль выступа от сварного шва 1 на расстоянии *a*, определяемом зависимостью

$$a = 2f[2r(1/f - 1)]^{1/2},$$

где *f* – высота выступа; *r* – радиус рассматриваемого сечения корпуса.

Анализ условий работы, характера износа показывает, что в этой зоне изнашивание обусловлено кавитацией и истиранием. Вследствие снижения давления жидкости при переходе через порог (впадина после сварного шва-выступа) мелкие пузырьки пара схлопываются, высвобождая значительную энергию и вызывая интенсивное изнашивание поверхности. В этой же зоне усиливается и абразивный износ в силу резких ударов абразивных частиц о стенку.

Учитывая состав бумажной массы, уменьшить кавитационное и абразивное изнашивание лучше путем нанесения твердого покрытия в зоне 2 (рис. 2) электроэрозионным легированием на грубых режимах. Сформированные выступы покрытия способствуют наволакиванию на поверхность эластичной бумажной массы, защищающей стенку от вредного воздействия кавитации.

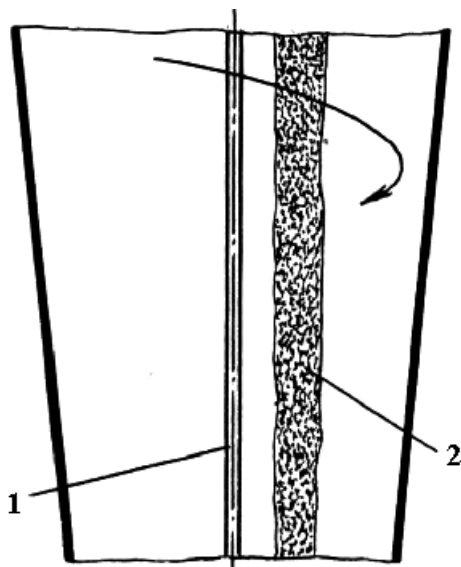


Рис. 2. Зона нанесения покрытия на стенку вихревого очистителя.

Для повышения ресурса лезвий шаберов сушильных цилиндров, верхних прессовых валов, грудного и сетководущих валов, валов каландра эффективно использование упрочняющих покрытий, наносимых электроэрозионным легированием избирательно, чтобы в процессе работы осуществлялось их самозатачивание. Покрытия наносили на мягких режимах электродами из стали, бронзы на переднюю грань клина ножа. Режимы легирования устанавливали с учетом условий работы конкретного ножа шабера [1, 3].

Поиск эффективных путей повышения устойчивости работы железнодорожного транспорта, поддержания комфортных условий при его эксплуатации требует системного подхода.

На колесную пару действуют силы, как показано на рис. 3. Здесь P_0 – статическая нагрузка от массы вагона (локомотива). Под действием сил P_1 и P_2 , смещенных относительно поверхностей опоры колес на рельсы, ось колесной пары упруго изгибается. Одновременно изгибаются шпалы, вызывая поворот рельсов. Но в силу несогласованности подсистем (колесная пара и шпалы с жесткозакрепленными рельсами) углы поворота колеса β_1 и рельса β_2 в общем случае будут неодинаковыми, то есть $\beta_1 \neq \beta_2$ (рис. 3,а). Поэтому колеса изнашиваются, как показано на рис. 4. Износ I дан в функции пути пробега колеса S . Различие и переменность углов β_i усиливаются из-за сложной пространственной деформации рельса в силу наличия стыков, поочередного прохождения по путям нагруженных товарных и пассажирских вагонов. Вследствие этих причин реализуется точечный упругопластический контакт (зоны контакта показаны стрелками на рис. 3,б, в). Причем чем меньше пятно контакта, тем больше будет степень пластической деформации. Поверхностное пластическое деформирование вызывает неуправляемое локальное пластическое течение металла колеса и рельса, образование волнистости, исчерпание ресурса пластичности и в результате микро- и макротрещины, сколы. Особенности динамического взаимодействия подвижного состава и пути усиливаются в процессе прохождения по одной колее грузовых и пассажирских составов, локомотивов и пустых вагонов, при движении на поворотах, стрелках, стыках рельсов.

Так как условия взаимодействия колеса и рельса переменны, то со временем их поверхностные слои получают значительную пластическую деформацию. Вследствие фазовых превращений, вызванных нагревом локальных слоев металла за счет тепла, выделяющегося в процессе пластической деформации, и интенсивным отводом тепла смежными холодными зонами, деформированный поверхностный слой толщиной около 10 мм приобретает высокую твердость. Под действием сжимающих напряжений он теряет продольную устойчивость, приобретая волнообразный характер с длиной волны 45–50 мм. Волнообразность рельсов и колес изменяет характер взаимодействия пары и создает постоянный источник шума при движении подвижного состава.

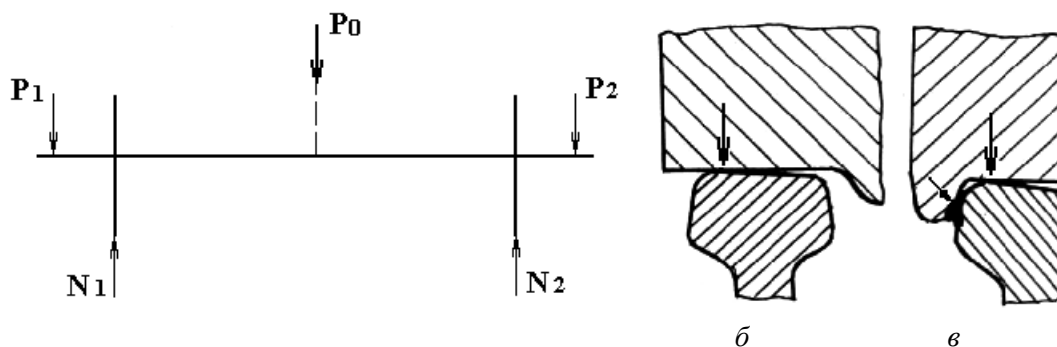
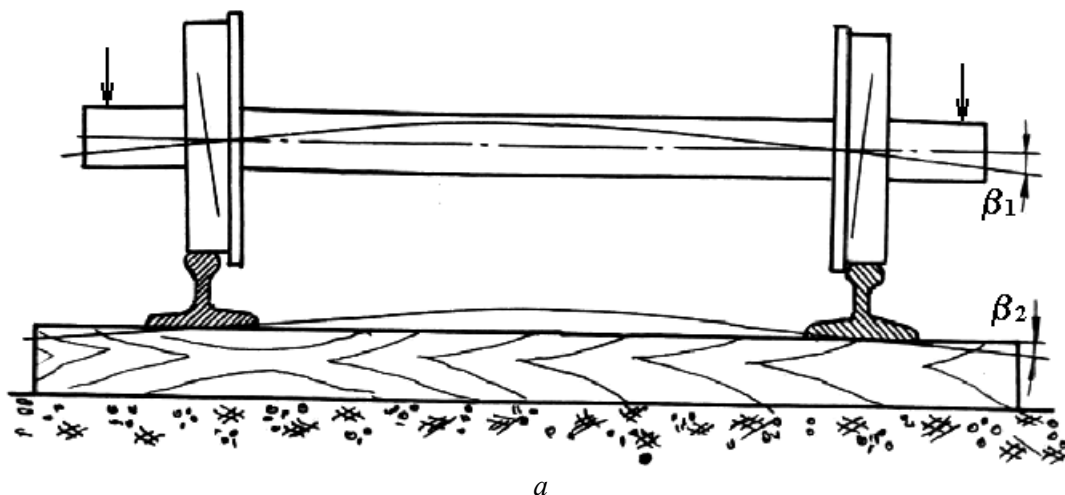


Рис. 3. Схема сил, действующих на колесную пару, повороты колеса и рельса (а), возможные зоны силового взаимодействия колеса и головки рельса (б, в).

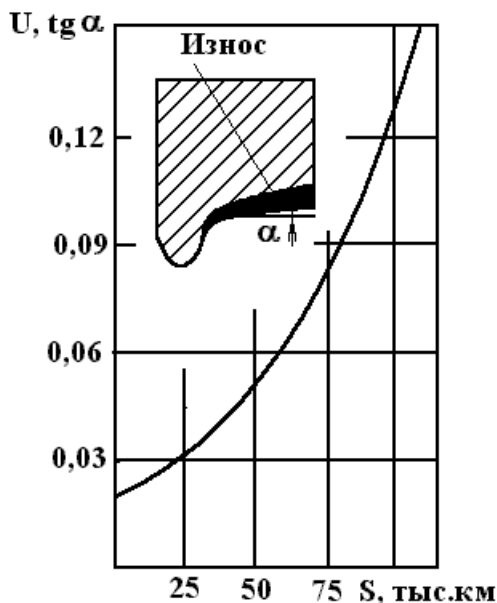


Рис. 4. Характер износа колеса в зависимости от пути пробега.

Поверхностный слой интенсивно упрочняется в местах выступов, ниже которых наблюдается зона разрыхления с микротвердостью ниже микротвердости исходного металла. В этих местах интенсивно исчерпывается ресурс пластичности металла, вследствие чего появляются трещины разрушения, перерастающие в распространенные дефекты. В числе дефектов шелушение поверхностей, выкрашивание, отслаивание и др. Локальное направленное течение металла приводит к другой группе дефектов, в числе которых ползун, навар, наплывы на фаску и гребень, волнообразование на контактных поверхностях.

Таким образом, в основу подхода к повышению ресурса пары колесо-рельс положен принцип универсальности и рациональности силового взаимодействия пары в различных реальных условиях, что ведет к увеличению опорной поверхности и глубины проникновения локальной упругопластической деформации и исключает волнообразование и “разрыхление” металла рельса. Это достигается, наряду с другими мерами, формированием на поверхности катания колеса и головки рельса определенной сетки повышенной твердости и износостойкости. Наряду с электроэрозионным легированием используются и другие методы, в том числе метод избирательного поверхностного пластического деформирования силами движущегося вагона. Параметры и характер сетки устанавливаются с учетом характера пути (климатическая зона, состояние путевого хозяйства, криволинейность пути, наличие спусков, зон торможения и т.п.), преобладающих видов перевозок. Методы и технология формирования износостойких слоев рассчитаны применительно к новым парам, а также эксплуатирующимся после капитального ремонта.

Комплексные исследования применительно к разнообразным деталям конструкций, машин, приборов и освоение результатов в производстве показали, что успех может быть достигнут при системном подходе к объекту, когда после уяснения степени соответствия детали функциональному назначению в системе конструкции и отклонений от нормы в процессе эксплуатации принимаются меры по приведению системы в функциональное равновесие. При этом особенно важным является вычленение локальных условий взаимодействия, существенно отличающихся в процессе эксплуатации от исходных. Тогда, избирательно нанося покрытия, а для этой цели лучше подходит электроэрозионное легирование, на поверхности, испытывающие неблагоприятные воздействия и изменения, обеспечивается равное сопротивление детали изнашиванию.

Важной особенностью электроэрозионного легирования является возможность формирования требуемых слоев в ограниченных зонах поверхности детали с учетом эпюры давлений, температурного поля, физико-химических явлений и трибологических условий взаимодействия. При выборе материалов электродов, режимов легирования учитывается то, что формируемый слой должен обладать расчетной несущей способностью, хорошо отводить тепло от локальных тепловых вспышек или надежно теплоизолировать контактные поверхности, снижать вредное влияние других физико-химических явлений.

Опыт использования такого подхода к повышению ресурса разнообразных деталей технологического оборудования для заготовки и переработки древесины, мебельной промышленности, стекольного и бумажного производства, а также двигателей внутреннего сгорания, сельскохозяйственных машин и технологической оснастки показал, что их ресурс можно повысить в несколько, а в отдельных случаях в десятки раз при наименьших затратах ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимощенко В.А. Повышение ресурса деталей машин и технологической оснастки. Кишинев, 1995.
2. Тимощенко В.А. Элементы теории и технологии разделительных процессов. Кишинев, 1979.
3. Тимощенко В.А., Голдыш Е.В. Износостойкие покрытия на металлических поверхностях. Кишинев, 1997.

Поступила 22.02.2000

Summary

The approaches to maintenance of equal wear resistance of metal surfaces of metal working parts are considered. It is shown, that the equal resistance to wear process and as a result sharp increase of service life of parts is provided by selective drawing of coatings by means of electroerosion alloying in zones of unfavorable conditions of parts interaction or interaction of parts and environment during construction service. The deviation of conditions of surfaces interaction from normal state is defined on the basis of the analysis of the mechanical interaction, temperature field and physico-chemical processes on interface boundary.