

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ
ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В статье представлены анализ и результаты проведенных исследований по повышению эксплуатационных свойств деталей транспортного назначения.

Ключевые слова: эксплуатационные свойства, триботехнические параметры, пароксидирование, задиристость, многослойное покрытие.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике известно большое количество методов и способов их реализации повышения эксплуатационных свойств деталей транспортного назначения. Каждый из них дает, как правило, только один определенный эффект, приводящий к улучшению какого либо из свойств основного материала.

Несмотря на это проблема повышения эксплуатационных свойств, а именно износостойкости, задиристости, прирабатываемости для деталей работающих в условиях трение износа, является актуальной.

При анализе известных методов поверхностного упрочнения можно видеть, что они имеют общие признаки, которые состоят в изменении химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя. Чтобы ответить на вопрос – удовлетворяют ли такие поверхностные слои основным требованиям, к ним предъявляемым, необходимо классифицировать все эти методы и дать им характеристику. Из этих соображений можно выделить три следующих класса обработки:

- обработка без изменения химического состава поверхности и без структурных превращений в поверхностном слое;
- обработка с изменением химического состава поверхностного слоя, без фазовых превращений в нем;
- обработка, вызывающая одновременно изменение химического состава поверхностного слоя, его фазового состава и микроструктуры.

По этим признакам, к первому классу следует отнести методы, которые обеспечивают повышение твердости поверхностного слоя за счет холодного пластического деформирования рабочих поверхностей (дробеструйная, пескоструйная обработка, обкатывание роликами, центробежно-шариковый наклеп и др.). В последние годы с целью расширения функциональных возможностей методов поверхностного упрочнения, принадлежащих к первому классу, используют комплексную обработку, состоящую из сочетания различных видов упрочняющей обработки. Так, дробеструйная обработка в некоторых случаях применяется в сочетании с химико-термической обработкой или поверхностной закалкой с нагревом ТВЧ [1].

Хотя для методов первого класса характерно небольшое увеличение твердости поверхностного слоя, это способствует в некоторых случаях повышению эксплуатационных свойств исходного материала. Однако, следует заметить, что такие поверхностные слои не обладают комплексом необходимых свойств, в частности, они плохо прирабатываются. В связи с этим применение их ограничено.

Методы, относящиеся ко второму классу: напыление в вакууме, аргоне и азоте, нанесение на поверхность гальваническим способом металлических и неметаллических материалов (хромирование, никелирование, борирование, оксидирование и др.), а также химические способы (хромирование, никелирование, фосфатирование) приводят к изменению химического состава поверхностного слоя без фазовых превращений в нем. Гальванические, химические и электроискровые способы нанесения на рабочие

поверхности деталей металлических и неметаллических покрытий повышают износостойкость, коррозионную стойкость и эрозионную стойкость [1- 3].

Из этого класса наиболее широкое применение в машиностроении приобрело электрохимическое хромирование как средство защиты изделий от коррозии в агрессивной среде и одновременно – повышение износостойкости. Хром отличается высокой твердостью, значительной прочностью сцепления с металлом и высокой химической стойкостью. Но, несмотря на это, для деталей, работающих в условиях трения и изнашивания, применение таких покрытий ограничено, т.к. детали с хромовым покрытием трудно прирабатываются, что связано с высокой твердостью поверхностного слоя и плохим смачиванием его маслом. Устранение этого недостатка технологически затруднено, потому что хромовые покрытия обладают весьма прочной и тонкой окисной пленкой на поверхности, что препятствует осаждению на хром каких-либо других более мягких покрытий, которые улучшили бы прирабатываемость хромовых покрытий. Проводились работы по нанесению на хромовые покрытия тонких слоев мягких прирабочных покрытий путем механического внедрения мягких металлов в неровности поверхностного слоя хрома. Но такое мероприятие не нашло широкого применения в практике, т.к. связано с удлинением технологического цикла [4].

Следует отметить, что хотя методы, относящиеся ко второму классу, и способствуют повышению коррозионной стойкости и износостойкости, однако в условиях трения без смазки такие поверхностные слои не гарантируют повышение эксплуатационных свойств узлов трения. В основном методы второго класса не дают комплекса заданных свойств.

К третьему классу следует отнести практически все методы химико-термической обработки (ХТО). Для них характерно формирование различных по составу и свойствам металлических и металлоподобных одно- или многофазных диффузионных покрытий. Для большинства способов ХТО характерна необходимость применения термической обработки до или после нее. Анализ этих методов, структуры и свойств защитных слоев, полученных при использовании химико-термической обработки, показывает, что применяются они для обеспечения априори выбранного одного из свойств материала. Для повышения износостойкости используются цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация. Для улучшения прирабатываемости и повышения противозадирных свойств – сульфидирование, сульфоцианирование, нитросульфозаотирование и др. [4].

Способы химико-термической обработки с использованием твердой насыщающей среды находят применение в малосерийном производстве. В этом случае трудоемкая операция, требующая большого расхода энергии для нагрева контейнера, заполненного сыпучим материалом, длительной выдержки при повышенной температуре, большой затраты рабочей силы при использовании малоэффективного оборудования, является непроизводительной [5].

Диффузионное насыщение поверхности металла с применением расплавов металла или их соединений, содержащих диффундирующий элемент, позволяет в определенной степени устранить некоторые недостатки применения жидкой насыщающей среды. Несмотря на это, применение жидкой насыщающей среды не всегда обеспечивает высокое качество поверхности и стабильности толщины диффузионного слоя. В то же время основной недостаток – это использование большого количества химикатов, которые либо сами являются токсичными, либо в процессе обработки выделяют токсичные соединения. Появились работы, где разработаны методы химико-термической обработки с применением жидкостных насыщающих сред, таких как бензин, высокомолекулярные соединения и др. Обработка деталей основана на том, что в рабочее пространство вводится расчетное количество жидкости, которая при высокой температуре переходит в газообразное состояние и взаимодействует с поверхностью обрабатываемого материала. Для этих методов характерна длительность технологического процесса и также достижение какого-либо одного из эксплуатационных свойств.

Многие из перечисленных недостатков обработки с применением твердой и жидкой насыщающих сред устраняются использованием газовой среды с прямоточной и циркуляционной подачей, что позволяет регулировать активность насыщения. Газовая среда обеспечивает более высокое качество диффузионного слоя, благодаря чему такие способы обработки находят более широкое применение в промышленности.

Однако и применение газовой среды способствует образованию поверхностного слоя лишь с одним каким-то заранее заданным свойством.

В зависимости от состава насыщающей среды, разработаны различные способы, которые обеспечивают повышение износостойкости деталей за счет формирования диффузионного слоя, состоящего из твердых фаз в виде карбидов, нитридов, карбонитридов, нитрооксикарбидов и др. Безусловно эти поверхностные слои имеют повышенную износостойкость, однако из-за высокой твердости, они плохо прирабатываются. В результате, при эксплуатации в условиях работы деталей при повышенных скоростях и давлениях, имеет место выкрашивание слоя, что способствует ускоренному износу и выходу деталей из строя [5].

Для улучшения прирабатываемости и повышения задиростойкости для узлов трения, с ограниченным количеством смазочного материала, подбирается такой состав газовой насыщающей атмосферы, который способствует формированию поверхностного слоя, содержащего мягкие составляющие. Эти фазы при высоких температурах в зоне трения образуют смазку, благодаря чему металл становится самосмазывающимся. Это обеспечивает низкие значения коэффициента трения, что способствует улучшению прирабатываемости и задиростойкости. Однако такие поверхностные слои обладают низкой износостойкостью, поэтому их чаще всего применяют в комплексе с твердыми поверхностными слоями.

Следует отметить, что во всех известных методах химико-термической обработки, упрочненные поверхностные слои являются однослойными и поэтому могут выполнять одну определенную заданную функцию.

Комплексом триботехнических свойств могут обладать лишь многослойные поверхностные слои, когда каждый из слоев имеет определенный состав, структуру и свойства. Многослойные поверхностные покрытия образуются при параметрическом оксидировании сплавов, однако, несмотря на технологические преимущества этого способа и сложность структуры, слой обладает недостатками, которые в основном заключаются в нестабильных триботехнических свойствах. Да это и объяснимо, так как слой состоит в основном из окислов железа (юстита, магнетита и гематита). Хотя ряд авторов указывают на высокую износостойкость слоя, но с этим следует не согласиться, т.к. коэффициент трения пареоксидных покрытий значительно выше, чем у необработанного материала, а это приводит к ухудшению прирабатываемости пары трения.

Учитывая положительные качества поверхностного слоя, полученного при паротермическом оксидировании, а именно, его строение, появились работы по комплексной обработке, т.е. сочетание паротермического оксидирования с другими методами химико-термической обработки, а именно азотирование, сульфидирование и др. В результате чего на поверхности металла образуется многослойное покрытие, состоящее из нескольких слоев. Однако, следует отметить трудность в осуществлении таких мероприятий, которые связаны как с технологической точки зрения (многостадийность операций), так и с научной, необходимость подбора насыщающей среды, которая обеспечила бы необходимую адгезию между образующими слоями. Анализ рассмотренных методов поверхностного упрочнения и их классификация дают возможность сделать некоторые обобщения:

- методы, относящиеся к каждому классу, имея свои индивидуальные особенности, как по технологическому характеру, так и по достижению заданной цели, находят применение в машиностроении при работе деталей машин и механизмов в определенных условиях эксплуатации;

- рассмотренные методы поверхностного упрочнения позволяют получать монослой с одно- или многофазной структурой, отвечающей в основном одной, заранее заданной характеристике;

-необходим поиск новых технологических процессов, которые обеспечивали бы формирование многослойного покрытия в одном термовременном технологическом цикле, обладающего комплексом заданных эксплуатационных свойств.

Среди многочисленных методов поверхностного упрочнения освоенными и широко распространенными в практике транспортного машиностроения являются следующие виды обработки: химико-термическая; электроискровая; плазменная бездиффузионная; детонационная; лазерная; ионно-плазменная; метод химического осаждения из газовой фазы при термическом испарении; гальваническая.

Каждый, из перечисленных видов, имеет свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать в зависимости от размеров конструкции детали, условий ее работы, материалы и других факторов.

Особое внимание на Украине и за рубежом уделяется тем методам и способам, которые обеспечивают не только заданные свойства, но и гарантируют экологическую чистоту технологического процесса.

Среди современных методов термохимического воздействия на железоуглеродистые сплавы, наиболее экологически чистыми, финишными процессами, являются пароокисление и окислегирование, так как в качестве насыщающей среды используется перегретый водяной пар. Несмотря эти методы не находят должного применения в промышленности из-за ограничения температурных параметров. До настоящего времени не разработаны технологические параметры процесса в диапазоне температур, ниже, чем 600°C , обеспечивающие повышение триботехнических свойств.

При пароокислении для получения оксидных пленок толщиной примерно 6 мкм, изделия из сплавов железа в течение одного часа обрабатывают в атмосфере перегретого пара при температуре 600°C . Образовавшаяся на поверхности изделия оксидная пленка имеет сложное строение: состоит из слоя вюститита, прилегающего к металлу, магнетита внешнего слоя гематита. Такие оксидные пленки повышают износостойкость изделий, снижают коэффициент трения и время прирабатываемости. Важным фактором при получении оксидной пленки является температурный режим обработки изделия, при температуре ниже 575°C в обычных условиях образуется оксидная пленка с другим фазовым составом и морфологией. При температуре 450°C процесс пароокисления протекает очень слабо и при 400°C прекращается. Так как пароокисление является финишной операцией, то этот метод позволяет получить оксидные пленки с хорошими триботехническими параметрами на изделиях, которые подвергаются термической обработке закалке и высокому отпуску. Многие изделия, применяемые в машиностроении, подвергаются другой термической обработке: закалке и среднему отпуску.

Чтобы получить оксидную пленку необходимой морфологии и триботехнических свойств в атмосфере перегретого пара при температуре более низкой, чем 600°C , в течение одного часа, процесс пароокисления необходимо интенсифицировать.

Поэтому процесс интенсификации проводили с применением электрического поля. Как показали проведенные исследования влияния электрического поля на насыщающую среду и выявлено, что электрическое поле повышает концентрацию ионов кислорода в перегретом паре, увеличивает их энергию направленного движения. В результате этого увеличивается количество ионов кислорода, которые достигают поверхности металла, это дает возможность управления процессом изменения фазового и элементного составов оксидной пленки. Толщина оксидной пленки линейно увеличивается с ростом напряженности электрического поля.

Проведенные исследования дали возможность установить количественные закономерности кинетики формирования покрытий в среде перегретого пара с наложением электрического поля. Электрическое поле с напряженностью $2 \times 10^6 \text{ В/м}$ в четыре увели-

чивает скорость формирования покрытия при температуре 450⁰С, формирование покрытия прекращается при температуре 330⁰С.

Применение электрического поля дало возможность снизить температуру формирования оксидных покрытий в среде перегретого пара до 450⁰С. В результате расширяется температурный диапазон нанесения покрытий, который позволяет применять усовершенствованный метод пароокисления не только для деталей, которые подвергаются термической обработке: закалке и высокому отпуску, но и для деталей после закалки и среднего отпуска.

Выводы. Повышение эксплуатационных свойств деталей транспортного назначения можно осуществить интенсификацией процессов формирования защитных покрытий, обладающих заданными эксплуатационными свойствами. Применение электрического поля при пароокислении дает возможность совмещать технологию термической и химико-термической обработки в одном технологическом цикле изготовления деталей на одном оборудовании с незначительной его модернизацией.

Литература

1. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.
2. Андрейкив А.В., Чернец М.В. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин. – К.: Наук. Думка, 1991. – 160 с.
3. Белый А.Б., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких слоёв. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
4. Белый В.А., Свириденюк А.И. Актуальные направления развития исследований в области трения и изнашивания // Трение и износ. – 1987. – Т.8. - №1. – С. 5-24.
5. Лазарев В.Б., Соболев В.В., шаплыгин И.С. Химические и физические свойства простых оксидов металлов.-М.: Наука,1983,239с.
6. Кузнецов Г.Д. Сравнительная оценка эффективности процессов обработки покрытий// Изв.вузов.Черная металлургия.-1974.-№5-146с.

У статті представлені аналіз і результати проведених досліджень по підвищенню експлуатаційних властивостей деталей транспортного призначення.

Ключові слова: експлуатаційні властивості, триботехнічні параметри, пароокислення, задіроустійкість, багатослоєве покриття.

In the article an analysis and results of the conducted researches is presented on the increase of operating properties of details of a transport setting.

Keywords: performance characteristics, tribological parameters parooksidirovanie, zadirostoykost, multi-layer coating.

Тимофеева Л. А. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, д.т.н., профессор

Федченко И. И. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, к.т.н., доцент

Тимофеев С. С., Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, к.т.н., доцент.