

Отмеченные принципы организации лабораторного практикума позволяют достаточно эффективно решить поставленные перед ним задачи. Вместе с тем следует отметить некоторую ограниченность имитационного моделирования систем, как метода проведения практического проектирования. Имитационное моделирование позволяет с минимальными затратами на аппаратное обеспечение смоделировать практически любой лабораторный эксперимент. Более того, компьютерная реализация исследуемого на лабораторном стенде процесса в методическом смысле будет наиболее удачной и полной. Однако, при всем богатстве возможностей имитационного моделирования, кроме психологического ощущения нереальности происходящего, остаются эксперименты, которые невозможно заменить моделями просто потому, что их результаты принципиально не просчитываются заранее. Таким образом настоящей является необходимость дополнения метода отладки системы в симуляторах проверкой ее работы на реальной аппаратуре, а это, в свою очередь, требует приобретения соответствующих технических средств и лабораторных стендов.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ И ПОДВИЖНЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Суслов А.Г. Прокофьев А.А. Цуканов И.Ю. (МГИУ, Москва, Россия)
Тел.: 89038697063; E-mail: mootechmash@mail.ru

***Abstract:** Methods of durability increase of screw joints and sliding screw pairs are stated. Features and types of zinc coating as one of effective means of pump-compressor pipes corrosion resistance are considered. The classification of sliding screw pairs with its service properties in dependence of functional area is resulted. The methods of thread forming, which increase durability of concrete sliding screw pair in accordance with function properties are offered.*

***Key words:** thread; durability increase; pump-compressor pipes; sliding screw pairs; coating; functional area.*

Долговечность **неподвижных резьбовых соединений** определяется эксплуатационными свойствами, такими как прочность резьбы, коррозионная стойкость и др. и условиями эксплуатации. Одними из самых ответственных неподвижных резьбовых соединений являются соединения насосно-компрессорных труб (НКТ). Учитывая недостаточную изученность вопроса технологического обеспечения их долговечности, данная проблема является актуальной.

По данным Американского нефтяного института (API), по причине разрушения резьбовых соединений количество аварий НКТ составляет порядка 55 %. Насосно-компрессорные трубы, в процессе эксплуатации, интенсивно подвергаются коррозионно-эрозионному воздействию агрессивных сред и различным механическим нагрузкам. Обрыв труб и отсутствие их герметичности вызваны коррозией: точечной коррозией внутренней и наружной поверхности, коррозионным и сульфидным растрескиванием под напряжением и т.д. [2]

Для обеспечения коррозионной стойкости и повышения долговечности резьбовых соединений НКТ применяют различные покрытия, в том числе и цинковые. Выбор цинка не случаен и объясняется высоким отрицательным значением окислительно-восстановительного потенциала пары Zn^{2+}/Zn . Таким образом, цинковые покрытия защищают сталь как механически, экранируя от доступа окружающей среды, так и электрохимически в местах повреждения и в порах, в которых цинк со сталью

образует гальванопару. Поэтому цинк, как более электроотрицательный металл выполняет функцию анодного («жертвенного») покрытия. Железо при этом находится под катодной защитой и не корродирует до тех пор, пока в коррозионном процессе участвует цинковое покрытие. [1, 3]

К методам нанесения цинковых покрытий относят:

- гальванические (электролитические) покрытия. Покрытия на поверхность изделий наносят в растворах электролитов под действием электрического тока.
- металлизационные покрытия. Покрытия наносят путем распыления струей воздуха или горячего газа расплавленного цинка.
- цинконаполненные покрытия. Покрытия представляют собой композиции, состоящие из связующего и цинкового порошка.
- горячецинковые покрытия. Покрытия наносят методом горячего цинкования (погружением в ванну с расплавленным цинком).
- термодиффузионные цинковые покрытия. Сущность метода заключается в насыщении поверхности железа цинком и осуществляется при повышенных температурах 290...450 °С в цинкосодержащих смесях порошков.
- комбинированные покрытия. Они представляют собой комбинацию цинкового покрытия, лакокрасочного или полимерного. [1]

Исходя из ряда факторов, таких как адгезионные свойства покрытия, коррозионная стойкость, ровность и сплошность нанесения покрытия, отсутствие водородного охрупчивания, оптимальным и предпочтительным способом нанесения покрытий на НКТ является термодиффузионное цинковое покрытие.

Термодиффузионное цинковое покрытие является анодным к черным металлам и электрохимически защищает сталь. Оно в точности повторяет контуры изделий и однородно по толщине на всей поверхности. Такая технология позволяет получить любую толщину покрытия в диапазоне от 6 до 100 микрон по требованию заказчика без изменения технологического процесса. Процесс происходит в закрытом контейнере с добавлением к обрабатываемым деталям специальной насыщающей смеси.

Пассивация (финишная обработка деталей) является обязательной частью процесса термодиффузионного цинкования. Пассивация предназначена для предотвращения образования белых продуктов коррозии на поверхностях, подвергаемых воздействию сред с высокой влажностью, соленой воды и т.п.

Немаловажным фактором обеспечения долговечности резьбовых соединений НКТ, является предварительная обработка поверхности перед нанесением термодиффузионного цинкования. Качество и адгезионные свойства покрытия, напрямую зависят от качества поверхностного слоя подложки.

Таким образом, применяя технологию термодиффузионного цинкования, можно добиться существенного повышения долговечности резьбового соединения НКТ.

К **подвижным резьбовым соединениям** относят достаточно большое число винтовых механизмов скольжения, которые можно разделить на 3 группы: кинематические, силовые и комбинированные. Несмотря на тот факт, что основным эксплуатационным свойством подвижных резьбовых соединений является износостойкость, функциональный тип механизма вносит дополнительные требования к долговечности, связанные со специфическими условиями его работы и различной конструкцией. Поэтому методы повышения долговечности подвижных резьбовых соединений, относящихся к разным функциональным группам, также будут различны.

Кинематические механизмы, применяющиеся для передачи движения с высокой точностью положения или направления исполнительного органа, работают в условиях невысоких нагрузок и больших скоростей скольжения, что определяет их небольшие размеры и повышенные требования к стабильности коэффициента трения. Для таких

механизмов оптимальным с точки зрения долговечности будет являться получение резьбы на ходовом винте с помощью шлифования, а резьбы ходовой гайки – раскатыванием бесстружечным метчиком после предварительной обработки режущим метчиком [4]. Следует отметить, что по данным исследований износостойкости кинематических механизмов, оптимальная величина припуска под раскатывание внутренней резьбы составляет 0,15...0,2 мм.

Силовые механизмы работают в условиях высоких односторонних нагрузок постоянного или переменного характера; для них характерно отсутствие особых требований по точности перемещения и особо крупная резьба. Крупную наружную резьбу целесообразно получать резцом, используя двухстороннюю схему резания. Упрочнение наружной резьбы в данном случае можно производить электромеханической обработкой, условия которой достаточно описаны в работах различных авторов. Если механизм работает в условиях постоянных нагрузок, то повысить его долговечность можно за счет применения гайки с резьбой переменного шага. Рассчитанная по математической модели [5] величина приращения шага обеспечивает для каждого механизма выравнивание нагрузки по виткам, а, следовательно, большую их прочность и износостойкость. При наличии переменных нагрузок важно обеспечить усталостную прочность витков ходовой гайки. Для этого можно применять комбинированную режуще-деформирующую обработку по возвратной схеме [6]. По предварительно нарезанной резцом канавке, более высокой и узкой чем профиль, резьба раскатывается роликовым инструментом. При такой обработке упрочняется как боковая сторона резьбы, так и ее впадина. Размеры предварительно нарезаемой канавки удобно выражать через величину припуска, при выполнении условия равенства объемов материала. Расчет напряженно-деформированного состояния ролик-заготовка при различном припуске, показал, что область оптимальных значений из расчета максимальной степени упрочнения при минимальных силах деформирования лежит в пределах 0,15...0,2 мм.

Наиболее ответственными механизмами являются комбинированные, сочетающие условия работы кинематических и силовых. Высокие требования по износостойкости при повышенных нагрузках, КПД, стабильности коэффициента трения, контактной жесткости обуславливают дифференцированный подход к их технологическому обеспечению. Комбинированные механизмы имеют среднюю резьбу, ее получение возможно с использованием методов пластического деформирования. Для придания высокой точности профиля наружной резьбы следует применять окончательное шлифование. Гайки комбинированных механизмов изнашиваются значительно быстрее, при этом они изготавливаются из дорогостоящих оловянных бронз. Поэтому технологическое обеспечение эксплуатационных свойств и параметров назначения в первую очередь необходимо применять к ходовым гайкам.

Комбинированные механизмы работают в условиях двухсторонних нагрузок постоянного или переменного характера с различными значениями для прямого и обратного хода. При наличии только постоянной нагрузки и невысоких скоростей скольжения ($v \leq 0,05$ м/с) для повышения долговечности ходовых гаек путем изменения распределения нагрузки по виткам можно использовать разработанное технологичное резьбовое соединение с переменным средним диаметром резьбы ходовой гайки, приращение которого по высоте гайки обеспечивает оптимальное с точки зрения износа распределение нагрузки, как при прямом, так и при обратном ходе (заявка на получение патента на изобретение № 2011125607).

Наиболее сложный с точки зрения обеспечения требуемой долговечности случай – комбинированный механизм с сочетанием высоких скоростей перемещения гайки и высоких циклических нагрузок с различными значениями при прямом и

обратном ходе. Ходовые гайки таких механизмов наиболее ответственные и дорогостоящие, что определяет четкий подход к необходимости управления режимами обработки резьбы для обеспечения требуемых численных значений эксплуатационных свойств и параметров назначения. Связь между режимами обработки резьбы и эксплуатационными свойствами проводится через математические модели, описывающие процессы трения и контактного взаимодействия винтовых пар [5] с использованием диаграмм нагружения и итерационных методов. Полученным усредненным параметрам эксплуатационных свойств соответствуют несколько сочетаний параметров точности и качества поверхности резьбы. Эти сочетания и есть исходные данные для технологического управления. Наиболее просто оно реализуется методом поверхностного пластического деформирования варьированием силы [7]. Поэтому для технологического обеспечения долговечности наиболее ответственных ходовых гаек предлагается использовать комбинированную обработку: точение резьбовым резцом – ППД однороликовым инструментом, осуществляемую на токарных станках с ЧПУ. При этом значение силы, действующей на ролик, для противоположных боковых сторон профиля различно и рассчитывается в соответствии с полученными теоретическими моделями зависимостей параметров качества поверхности резьбы (параметра шероховатости Ra и степени упрочнения Uh) от режимов обработки, условий взаимодействия ролика и заготовки и технологической наследственности (предварительная обработка точением). Определение значений силы осуществляется итерационным методом до достижения одного или нескольких сочетаний параметров качества поверхности резьбы. Если число осуществимых сочетаний больше одного, то выбирается сочетание, обеспечивающее наименьшую силу деформирования.

Перечисленные методы позволяют повысить долговечность подвижной внутренней резьбы с наименьшей себестоимостью, так как они обеспечивают необходимый комплекс эксплуатационных свойств конкретного механизма в соответствии с его функциональной группой.

Список литературы: 1. В.В. Окулов. Цинкование. Техника и технология. /Под редакцией проф. В.Н.Кудрявцева. –М.:Глобус, 2008. 252 с. 2. О.Никтин. «Продление жизни насосно-компрессорных труб». ТехСовет № 3 (45) от 15 марта 2007. 3. Качество машин: Справочник: В 2 т. Т.2/А.Г.Суслов, Ю.В.Гуляев, А.М. Дальский и др. М.: Машиностроение, 1995. 430 с. 4. Рыжов Э.В. и др. Раскатывание резьб. М: Машиностроение, 1974г. 122 с. 5. Суслов А.Г., Цуканов И.Ю. Конструкторско-технологическое обеспечение износостойкости винтовой пары трения скольжения // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 6, С. 16–23. 6. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание: библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2009. 312с. 7. Инженерия поверхности деталей / колл. авт. под. ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение. 2008. 320 с.