

УДК 673.6.0

Р. Ф. Гаффанов, кандидат технических наук, начальник отдела инженерных расчетов ЗАО «ЗЭО «Энергопоток»
А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ И ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

В статье рассмотрены проблемы изделий с коррозионно-стойкими и защитными покрытиями. Определены виды внешних воздействий и дефектов, которые возникают при эксплуатации, выдвинуты основные принципы теории расчета исследуемых изделий с покрытиями с учетом всех внешних факторов.

Ключевые слова: защитные покрытия, запорная арматура, шаровый кран, прочность, теория расчета.

Новые технологии выдвигают новые требования к конструкции, материалам изделий для обеспечения необходимого ресурса и технической безопасности. В современном горнорудном деле была разработана и опробована технология выщелачивания редкоземельных металлов и элементов (золото, никель, уран и другие редкоземельные металлы). Данная технология подразумевает применение агрессивных сред, катализаторов процесса (соляная кислота, пульпа, кислород), высоких давлений и температур. Для защиты рабочих поверхностей деталей, в частности запорной арматуры, трубопроводов, котлов, применяют коррозионно-стойкие и абразивно-стойкие покрытия. Как показала практика, данные покрытия не

всегда выдерживают установленный ресурс вследствие механических разрушений (рис. 1).

Анализ статистических данных работы регулирующей арматуры Амурского гидрометаллургического комбината (АГМК) показал, что ее элементы и узлы испытывают следующие виды воздействий в процессе эксплуатации (рис. 2).

Физико-механические свойства защитных покрытий сильно отличаются от механических свойств основного металла, существующие методики расчета подобного оборудования (ASME Section VIII Pressure Vessels – в США, ПНАЭГ-7-002 – в России, EN 13455 Unfired pressure vessels – в Германии) не учитывают наличие защитных покрытий на данном оборудовании и влияние внешних факторов на него.

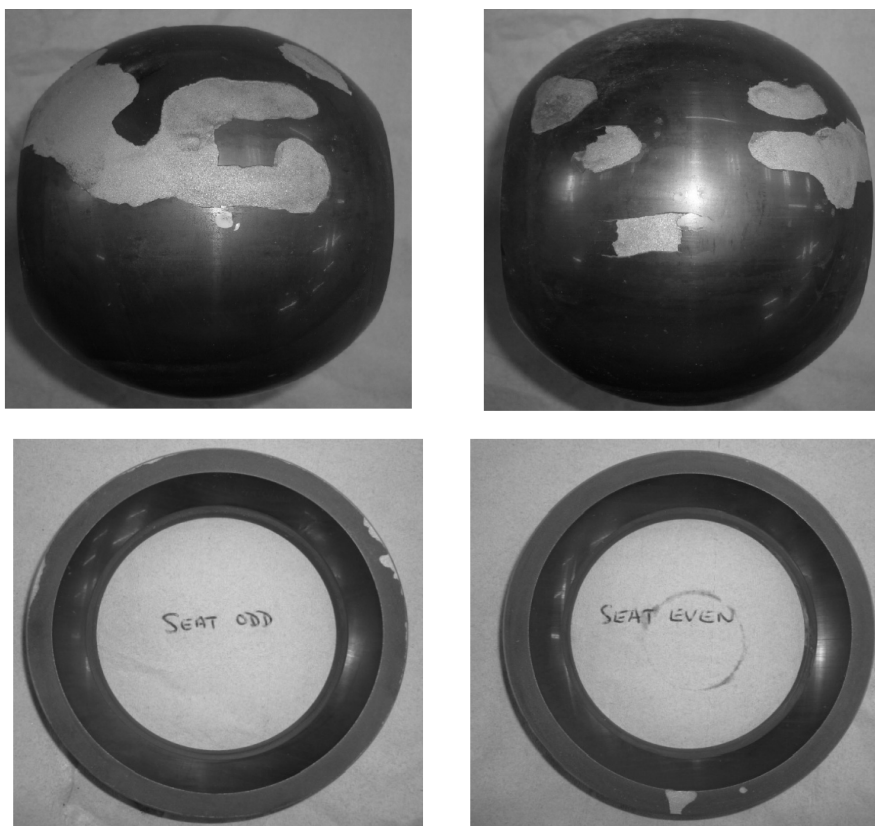


Рис. 1. Потеря покрытия на седле и шаре шарового крана

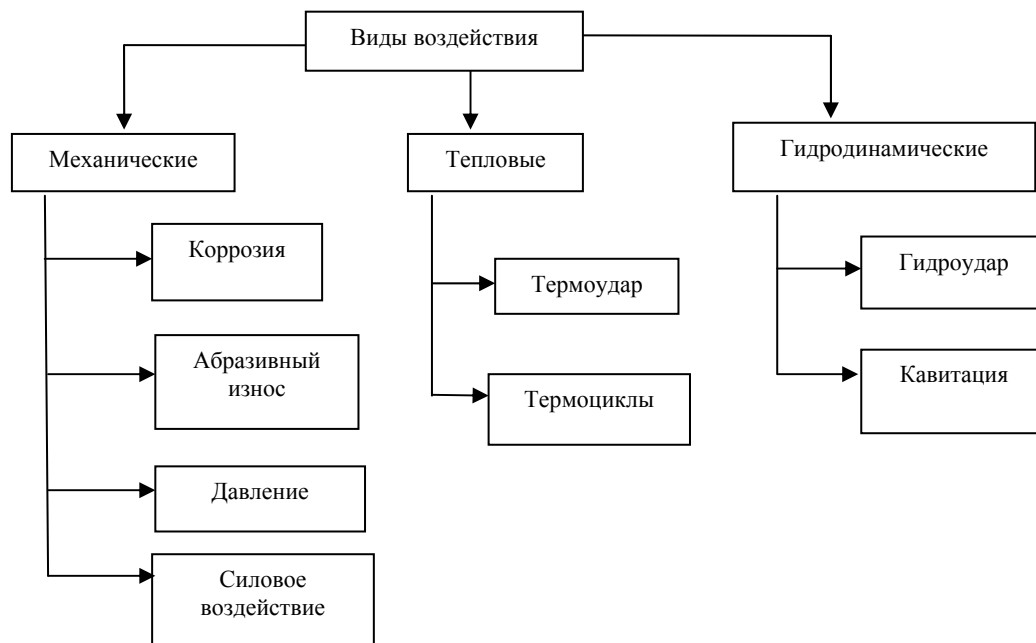


Рис. 2. Виды воздействий на оборудование в процессе эксплуатации на АГМК

Недостаток данных методик заключается в том, что при проведении проектного и проверочного расчетов не учитываются динамические нагрузки как со стороны технической системы, например гидроудар, кавитация, так и внешней среды – низкочастотные колебания. Эти явления вызывают значительное изменение напряженно-деформированного состояния и, как следствие, прочности и долговечности конструкции. Особую роль играет агрессивная среда, в которой работают составные части изделия. В проведенных ранее исследованиях [1–7] установлено, что, проникая в микротрещину керамического слоя, среда взрывается на границе керамики и металла, создавая значительные разрывные напряжения в керамическом слое, который плохо работает на растяжение.

На основе проведенного анализа и полученных данных с АГМК – Петропавловский в организациях ИжГТУ, Энергопоток и АО НИЦ АЭС начаты работы по развитию теории расчета, совершенствованию методики проектирования узлов запорной арматуры, работающей в сложных условиях.

Анализ конструкции арматуры показал, что ее можно разделить на несколько частей, взаимодействующих между собой и с внешней средой. Так, металлический шар с покрытием и отверстием (рис. 3) представляет многослойную неравножесткую деталь. Условия контактного взаимодействия для этой детали можно представить в виде:

- температурное взаимодействие с рабочей и окружающей средой, которое может быть как плавно изменяющимся во времени, так и скачкообразным (термоудар);

- силовое воздействие седел на покрытие шара;
- фрикционное воздействие седел на покрытие шара;
- силовое воздействие среды на покрытие шара, как статическое, так и скачкообразное (гидроудар, пульсации давления);
- динамическое воздействие от вибраций;
- Механику разрушения от малоциклового усталости и процесса развития трещин от химического взаимодействия (закон Гесса).

Шар получают катанием, следовательно, в нем существуют остаточные напряжения, которые релаксируют при изготовлении отверстия, нанесении и термообработке покрытия. После выравнивания температуры с внешней средой в поверхностном слое возникают остаточные напряжения. Полученная деталь является неравножесткой. В собранном виде в конструкции возникают контактные давления между керамическим уплотнением и шаром. Давления достигают значительных величин. Трение, обусловленное неравномерным давлением в зоне контакта, оказывает существенное влияние на неравномерный износ сопрягаемых поверхностей и зарождение микротрещин в материале покрытия шара. Напряженно-деформированное состояние в деталях снова изменяется. В дальнейшем, при воздействии на узел эксплуатационных факторов в составных частях изделия напряжения снова перераспределяются, вызывая при этом искажение геометрии контактирующих поверхностей и давления между ними.

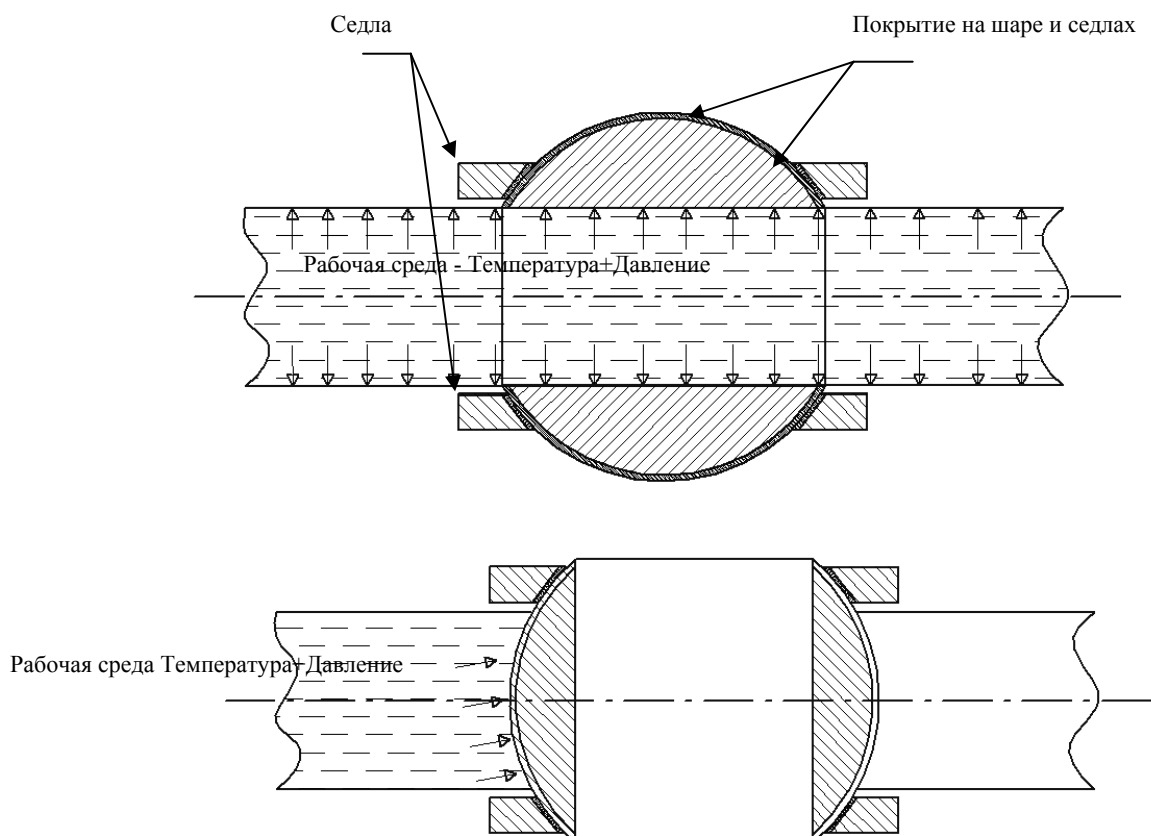


Рис. 3. Влияние среды и внешних факторов, контактные взаимодействия в шаровом кране с покрытием

Проведенный анализ показал, что теория расчета покрытий и соединений с нанесенным на них коррозионно-стойким и износостойким покрытием должна обобщать положения, применяемые при проектировании оборудования для тяжелых условий эксплуатации, работающего в условиях вибрации, агрессивных сред, высоких давлений и температур и объединять следующие взаимозависимые задачи:

1. Упругопластическую, для деформируемого твердого тела (ДТТ) в условиях статики и динамики [8, 9].

2. Гидродинамическую, для определения поведения покрытий при гидроударе, и турбулентного многофазного течения [10].

3. Контактную, для сопрягаемых и трущихся поверхностей [11].

4. Тепловую, для оценки термонапряжений в разнородных материалах покрытия и базового материала [12].

5. Усталостную, для оценки накопленных повреждений при малоцикловой и многоцикловой усталости [13].

6. Механику разрушения, для оценки процессов возникновения трещин и их развития с учетом теплового эффекта химической реакции в зоне возникновения трещин при взаимодействии среды с основным материалом шара и седел [14, 15].

Из проведенного анализа следует вывод о необходимости и возможности совместного рассмотрения задач и развития теории расчета изделий с защитным покрытием и создания непосредственно защитного покрытия на качественно новом уровне, что создает предпосылки для разработки обобщенной математической модели рассматриваемых изделий на различных стадиях жизненного цикла.

Библиографические ссылки

1. Тимофеева М. Ю., Долгоматов М. Ю., Горбунов В. Ю. Закономерность адгезии нефтеполимерных систем к металлам // Нефтепереработка и нефтехимия проблемы и перспективы. III Конгресса нефтепромышленников России : материалы к конференции, Уфа, 2001.

2. Li Y. et al. Improvement of corrosion resistance of nitrided low alloy steel by plasma post-oxidation // Applied Surface Science. – 2010. – Т. 256. – № 13. – Pp. 4149–4152.

3. Mirjanian M., Mazrooei J., Karimzadeh N., Ashrafi-zadeh F. Investigation of the effects of time and temperature of oxidation on corrosion behavior of plasma nitrided AISI 4140 steel Surface & Coatings Technology 206 (2012) 4389–4393.

4. Yasavol N., Mahboubi F. The effect of duplex plasma nitriding-oxidizing treatment on the corrosion resistance of AISI 4130 steel Materials and Design 38 (2012) 59–63.

5. Панин В. Е. Физические основы мезомеханики среды со структурой // Изв. вузов. Физика. – 1992. – Т. 35; № 4. – С. 5–18.

6. Панин В. Е. Физическая мезомеханика поверхностных слоев твердых тел // Физическая мезомеханика. – 1999. – Т. 2, № 6. – С. 5–3.
7. Панин В. Е. Поверхностные слои нагруженных твердых тел как мезоскопический структурный уровень деформации // Физическая мезомеханика. – 2001. – Т. 4, № 3. – С. 5–22.
8. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / пер. с англ. под ред. Б. Е. Победри. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
9. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / под ред. Б. Е. Победри. – М. : Мир, 1979. – 392 с.
10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с. : ил.
11. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / пер. с англ. под ред. Б. Е. Победри. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
12. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / под ред. Б. Е. Победри. – М. : Мир, 1979. – 392 с.
13. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ-Г-002-86. – М. : Энергоиздат, 1989. – 528 с.
14. Морозов Е. М., Муйземнек А. Ю., Шадский А. С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. – 3-е изд., стереотип. – М. : ЛЕНАНД, 2014. – 456 с.
15. Левеченков С. И. Физическая и коллоидная химия. Конспект лекций для студентов биофака ЮФУ (РГУ).

* * *

Gaffanov R. F., PhD in Engineering, «ZEO Energopotok» JSC
Shenyatsky A. V., DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

Modern problems of corrosion resistant and protective coatings of stop valves

The problems with Inox products having corrosion resistant and protective coatings are considered in the paper. Types of external influences and defects that occur during operation are determined, basic principles of the theory of calculation for coated products under study are put forward taking into account all external factors.

Keywords: protective coatings, stop valves, ball valves, strength, calculation theory.

Получено: 24.08.15