



УДК 62-1/-9

Испытания на коррозионно-эрозионный износ попастей турбинных мешалок в условиях воздействия пульпы экстракционной фосфорной кислоты

Е.В. ФЕДОСЕЕВ¹, М.Г. ЛАГУТКИН², д-р техн. наук, проф., Ю.А. РЮМИН², канд. техн. наук,

А.А. КОРОЛЕВ², аспирант

¹ОАО «Невинномысский Азот»

²Московский государственный машиностроительный университет

E-mail: yu-gyumin@mail.ru

Статья содержит результаты опытно-промышленных испытаний на коррозионно-эрозионный износ в условиях воздействия пульпы экстракционной фосфорной кислоты на лопасти турбинных мешалок, при изготовлении которых из сталей СтЗпс и ЭИ-94 реализованы различные виды поверхностной защиты.

Ключевые слова: коррозионно-эрозионный износ, экстракционная фосфорная кислота, технологии защиты конструкционных материалов, финишное плазменное упрочнение, диффузионное хромирование.

Решение проблемы интенсивного изнашивания лопастей турбинных мешалок экстракторов и других деталей и узлов оборудования, эксплуатируемых в аналогичных условиях производства экстракционной фосфорной кислоты или сложных удобрений на ее основе, испытывающих комплексное механическое (твердая фаза) и электрохимическое (жидкая фаза) воздействие рабочей среды, является крайне актуальным на сегодняшний день, поскольку отказы данных элементов оборудования характеризуются критичной тяжестью последствий*.

Для испытания современных методов повышения износостойкости конструкционных материалов лопастей в ОАО «Невинномысский Азот» на основе принципов геометрического и гидродинамического подобия была разработана установка (расположение основных узлов на рис. 1), подключенная непосредственно

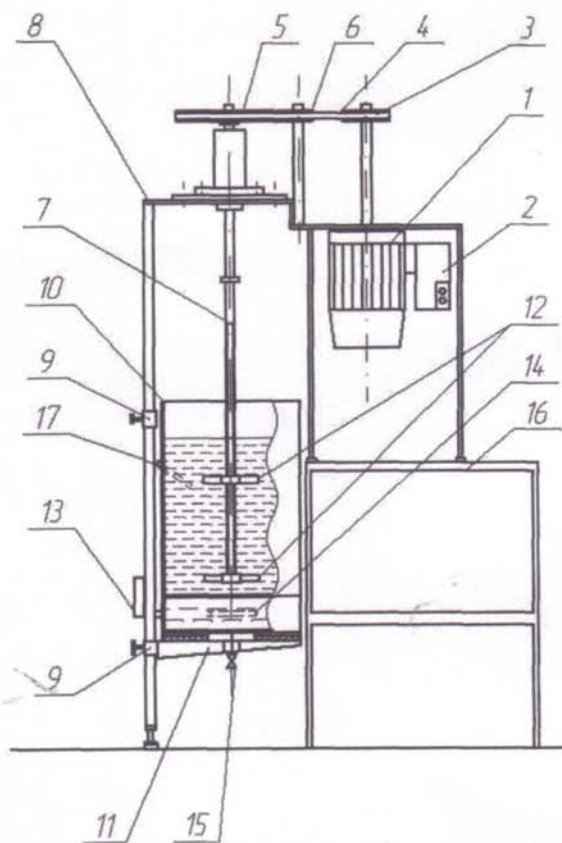


Рис. 1. Установка для испытаний на коррозионно-эрозионный износ рабочих колес мешалок:

1 — электродвигатель; 2 — выключатель; 3 — клиновый ремень; 4 — ведущий шкив; 5 — ведомый шкив; 6 — натяжной ролик; 7 — рабочий вал; 8 — каркас; 9 — регулировочные крепления; 10 — бак; 11 — регулируемая опора бака; 12 — сменные рабочие колеса; 13 — штуцер для заливки масла; 14 — электроподогреватель масла; 15 — дренажный вентиль; 16 — верстак; 17 — термокарман с термопарой

* Федосеев Е.В., Рюмин Ю.А. Анализ коррозионно-абразивного изнашивания элементов мешалок в среде экстракционной фосфорной кислоты / Экологические проблемы промышленных мегаполисов: Сб. труд. Междунар. науч.-практ. конф. Донецк. 26–28 мая 2010. Донецк: ДонНТУ Министерства образования и науки Украины. 2010. С. 243–245.

к производственным технологическим линиям, характеристики которых приведены ниже:

- максимальная емкость бака мешалки, л (м^3) — 45 (0,045);
- габаритные размеры, длина × ширина × высота, мм — 700×500×1500;
- электродвигатель — асинхронный, трехфазный, тип 4АМХС80А4У3;
- номинальная мощность эл. двигателя, кВт — 1,3;
- оптимальная частота вращения рабочего вала, мин^{-1} (м/с) — 450 (3,5);
- тип передачи — ременная;
- количество ступиц (рабочих колес) на валу — 3 (нижняя ступица устанавливается по нижнему торцу вала);
- рабочие колеса — лопастные, турбинные;
- угол атаки лопастей — 45°;
- расстояние между ступицами — 100 мм;

- количество лопастей в ступице — 3;
 - конструкционный материал лопастей — стали Ст3пс или ЭИ-943 (без защитного покрытия / с защитным покрытием);
 - оптимальный уровень среды в баке мешалки — 450 мм;
 - номинальная температура — 90 °С.
- Рабочая среда в установке создается путем добавления следующих компонентов с контролем количества веществ по шупу:
- вода (42,4% объема) из линии пожароопасной воды;
 - раствор экстракционной фосфорной кислоты (концентрацией 52% по P_2O_5), получаемый из соответствующей линии (39,3% объема);
 - раствор серной кислоты (концентрацией 80% по массе) в количестве 0,5 л;
 - апатит (18,3% объема, при насыпной плотности 1850 кг/м^3) до достижения уровня

Варианты конструктивного исполнения образцов при испытаниях на износ

Материал образца	Вид защиты	Дополнительные данные
Ст3пс	Без защиты	
-//-	Детонационная металлизация	Материал напыления: Höganäs 1260
-//-	Детонационная металлизация	Материал напыления: ПГН-ДСК-60
-//-	Титанирование (титановое покрытие из среды легкоплавких жидкометаллических растворов)	Без предварительной цементации
-//-	Титанирование (титановое покрытие из среды легкоплавких жидкометаллических растворов)	С предварительной цементацией
-//-	Финишное плазменное упрочнение оксикаридом кремния	
-//-	Диффузионное хромирование	
-//-	Карбонитрация	
-//-	Диффузионное хромирование с последующей карбонитрацией	
-//-	Цементация	
-//-	Азотирование	
-//-	Термообработка (нормализация)	
06ХН28МДТ (ЭИ-943)	Детонационная металлизация	Материал напыления: Höganäs 1260
06ХН28МДТ	Детонационная металлизация	Материал напыления: ПГН-ДСК-60
-//-	Титанирование (титановое покрытие из среды легкоплавких жидкометаллических растворов)	Без предварительной цементации
-//-	Финишное плазменное упрочнение оксикаридом кремния	
-//-	Карбонитрация	
-//-	Хромонитридизация	
-//-	Цементация	
-//-	Азотирование	
-//-	Термообработка (закалка)	

в 450 мм и соотношения жидкой фазы к твердой, равной 3:1.

Бак установки представляет собой емкость квадратного сечения. Данная форма выбрана в связи с тем, что она в меньшей степени позволяет образовываться воронке при вращении вала с лопастями (тем самым способствуя равномерной нагрузке на рабочие колеса), а также дает возможность отказаться от перегородок между лопастями мешалки, которые препятствуют круговому движению жидкости. Бак содержит электрический автоматический подогреватель в масляной ванне, необходимый для поддержания заданного температурного режима в установке. Кроме того, бак мешалки дополнительно оборудован съемными емкостями, предназначенными для оценки влияния коррозионной среды на испытуемые образцы без воздействия потока жидкости с твердой фазой. Емкости сообщаются с баком для обеспечения однородности коррозионного воздействия по всему объему жидкости.

Варианты конструкционных материалов, имеющих состояние поставки, и различных видов обработки, реализованные при изготовлении образцов лопастей для испытаний, представлены в таблице.

Длительность испытаний устанавливали согласно состоянию образцов и наличия заметного износа. Так, для углеродистых сталей, вне зависимости от покрытия, она составила от 2 до 3 ч, для высоколегированных сталей — 280 ч.

По окончании испытаний проводили замеры линейных размеров, изменения массы, твердости, анализ микроструктуры, механические испытания и цветную дефектоскопию образцов.

Диаграмма, иллюстрирующая коррозионный износ образцов из стали Ст3пс на подвеске без воздействия абразива, приведена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, все виды покрытий, кроме азотирования, показали рост коррозионной стойкости

образцов по сравнению с незащищенным материалом, при этом наибольшей эффективностью характеризовались диффузионное хромирование, титанирование с предварительной цементацией и детонационная металлизация.

При дополнительном абразивном воздействии твердой фазы наблюдали значительную вариацию скорости износа по высоте слоя жидкости (на верхней ступице меньше, чем на нижней), связанную с распределением концентрации массы апатита, частично оголяющей верхний ряд лопастей, и образованием воронки при вращении вала с образцами.

Это подтверждает, что на верхней ступице преобладает коррозионный износ, на нижней — абразивный. Аналогичные наблюдения подтверждаются при анализе данных о характере и скорости изнашивания оборудования, эксплуатируемого в условиях коррозионного (емкости без перемешивающих устройств) и коррозионно-эрозионного (мешалки, насосы, трубопроводы).

Диаграмма, иллюстрирующая коррозионно-эрозионный износ образцов на нижней ступице, приведена на рис. 3.

Высокую комплексную износостойкость показало покрытие, полученное методом диффузионного хромирования, которое обусловлено образованием карбидов на поверхности деталей, что приводит к росту и твердости, и сопротивляемости воздействию агрессивной среды. Аналогичным образом, но в меньшей степени,

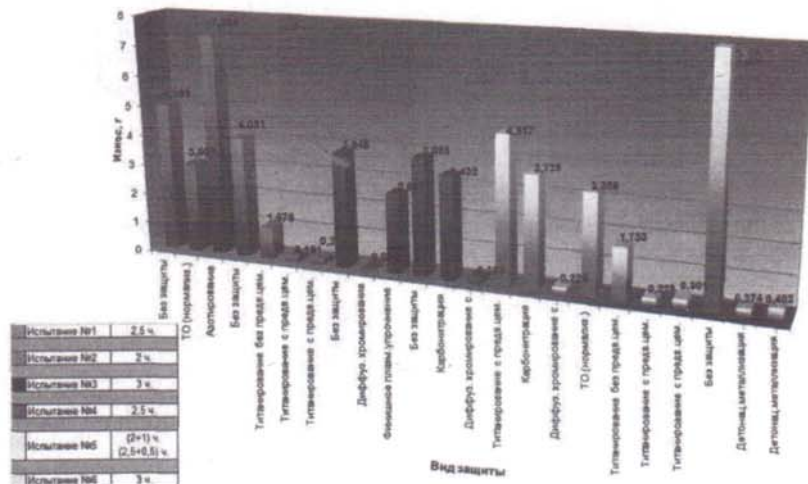


Рис. 2. Диаграмма износа образцов из стали Ст3пс на подвеске по результатам шести испытаний

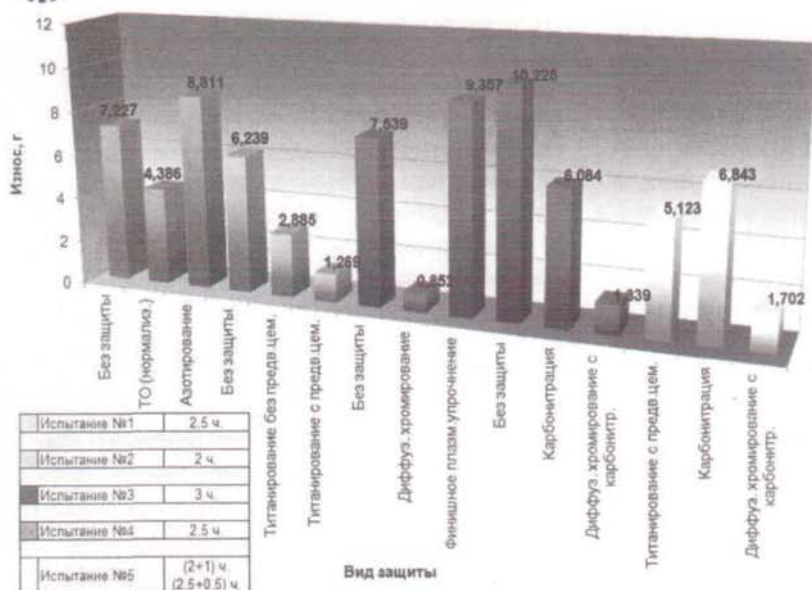


Рис. 3. Диаграмма износа образцов из стали Ст3пс на нижней ступице по результатам пяти испытаний

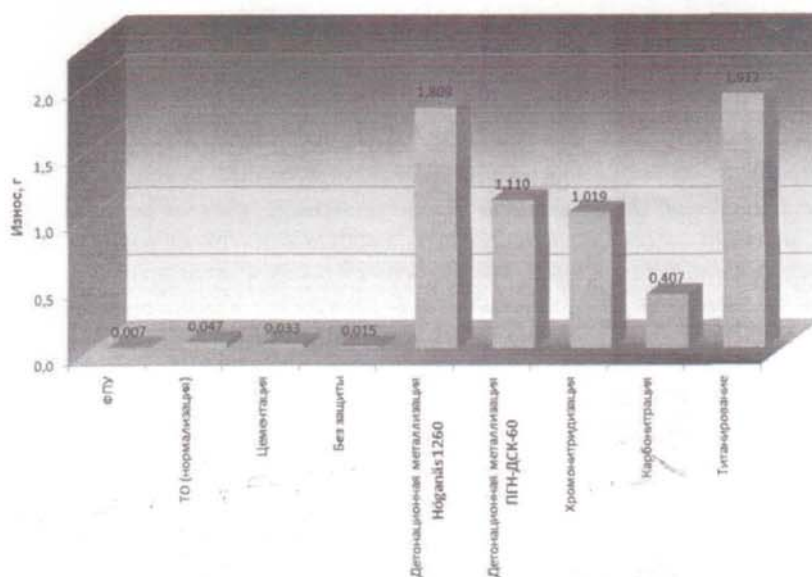


Рис. 4. Диаграмма износа образцов из стали ЭИ-943 на подвеске по результатам шести испытаний

повышена износостойкость лопаток, имеющих покрытие, полученное методом титанирования с предварительной цементацией. При этом основная потеря массы приходится на пленку покрытия. В результате проведенных испытаний на стойкость лопаток в средах производства ЭФК покрытия, полученные методами диффузионного хромирования и титанирования

с предварительной цементацией, повысили износостойкость лопаток, изготовленных из Ст3пс в 9 и 5 раз соответственно. В то же время покрытия, полученные классическими методами термообработки (нормализация, азотация), не дали ожидаемых результатов по причине низкой коррозионной стойкости металла—основы (Ст3пс).

Испытания, проведенные с применением углеродистой стали, не несут практической ценности для повышения износостойкости элементов оборудования (конструкционный материал/износостойкое покрытие), однако наглядно позволили оценить механизм и скорость разрушения покрытий. На основании гипотезы о механизме гидроабразивного изнашивания лопастей перемешивающих устройств производства ЭФК, выбранных способов повышения износостойкости применяемых сплавов с аустенитной структурой и описанных выше результатах, проведены испытания основной конструкционной стали (для агрессивных условий), применяемой в рассматриваемом производстве.

Диаграммы, характеризующие износ образцов из стали 06ХН28МДТ

(ЭИ-943) по результатам испытаний на подвеске и нижней ступице, представлены на рис. 4 и рис. 5.

Коррозионные испытания стали ЭИ-943 и покрытий на ее основе показали наибольшую стойкость финишного плазменного упрочнения (ФПУ). Потеря массы лопатки с ФПУ составила

0,007 г, что в 2 раза меньше износа лопатки из ЭИ-943 в состоянии поставки.

Данный эффект от применения ФПУ достигается за счет изменения физико-механических свойств поверхностного слоя: увеличения микротвердости, уменьшения коэффициента трения, создания сжимающих напряжений, залечивания микродефектов, образования на поверхности диэлектрического и коррозионностойкого пленочного покрытия с низким коэффициентом теплопроводности, химической инертностью и специфической топографией поверхности.

Таким образом, несмотря на то что исключать все методы упрочнения, показавшие положительные результаты при проведении опытно-промышленных испытаний, пока преждевременно, предпочтительным в среде экстракционной фосфорной кислоты выглядит применение лопаток из коррозионностойкой стали ЭИ-943 с алмазоподобным нанопокрывтием методом ФПУ, отличительными особенностями которого являются минимальный нагрев изделий при обработке, составляющий порядка 100 °С (не приводит к температурным деформациям узлов и деталей), а также использование малогабаритного и маневренного

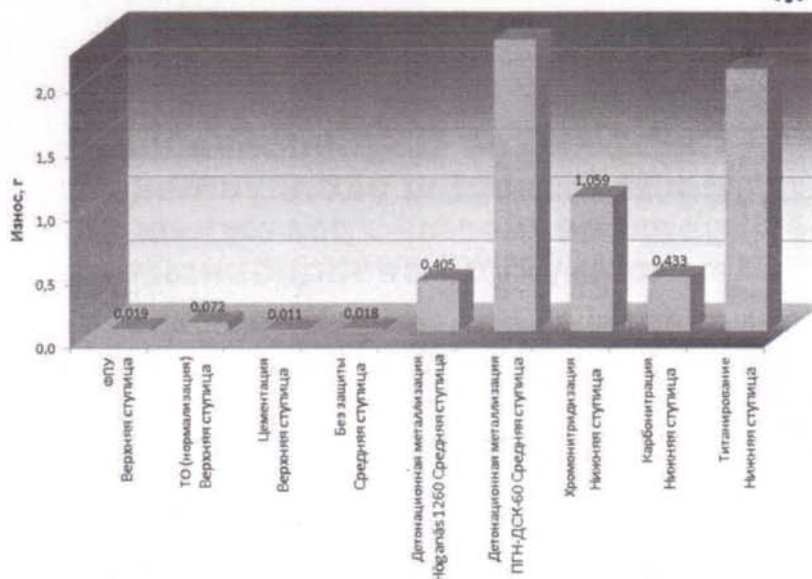


Рис. 5. Диаграмма износа образцов из стали ЭИ-943 на нижней ступице по результатам шести испытаний

оборудования, не требующего вакуума. Данный вид защиты может быть успешно применен в промышленных условиях, характеризующихся отсутствием высококвалифицированного персонала и прецизионных лабораторных установок.

В то же время, учитывая технологические особенности производства экстракционной фосфорной кислоты и удобрений на ее основе, существующие подходы к резервированию оборудования и график его ремонтов в ОАО «Невинномысский Азот», выглядит целесообразным дальнейшее проведение промышленных испытания в более жестких условиях и нагрузках по абразиву.