

УДК 59.13

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
ПО НАНЕСЕНИЮ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

М. М. Абачаров, И. М. Абачаров

Дагестанский научный центр РАН
Институт физики, Дагестан, Россия

Дан обзор по нанесению защитных покрытий.

В работе излагаются теоретические аспекты выбора путей повышения надежности, долговечности машин, аппаратов и оборудования, эксплуатируемых

в экстремальных условиях действия кавитации, гидроабразивного износа, электрохимической и газовой коррозии, износа от трения и др.

Так, втулки цилиндров быстроходных дизелей Ч 8,5/11 и 9,5/11 (поставщик АО "Завод Дагдизель") интенсивно разрушаются с водоохлаждаемой стороны под действием кавитации; такому же виду эрозии подвержены лопасти гидротурбин (особенно Чиркейской ГЭС в Дагестане); из-за интенсивного гидроабразивного износа основных элементов насосные агрегаты, применяемые в нефтяной промышленности, на шахтах и судах, выходят из строя в 2—2,5 раза раньше гарантированного срока; автопредприятия и предприятия АПК несут значительные потери (особенно в страдные периоды) из-за преждевременного выхода машин из строя по причине износа трущихся пар и т. д.

Из рассматриваемых проблем по защите изделий нефтегазовой промышленности, судо-, гидро-, энергомашиностроения, авто- и сельхозмашин, проблема защиты от кавитационной эрозии является наиболее сложной и всеобъемлющей, поэтому идеи, предлагаемые относительно технологических решений по разработке защитных покрытий для борьбы с кавитационными разрушениями, несомненно окажутся полезными для защиты изделий от других рассматриваемых видов разрушений.

Преждевременный выход основных деталей машин и агрегатов различного функционального назначения происходит по причинам, порой, не обнаруживающим общих признаков проявления. Но при пристальном изучении явлений, вызывающих, например, коррозионные, кавитационные, гидроабразивные, фретинговые разрушения, становится понятным, что в общем они подчиняются неопознанной еще общей закономерности.

Отсутствие единого подхода к решению проблемы защиты изделий от названных и других видов разрушений привело к многообразию систем и методов борьбы с преждевременными выходами из строя машин и агрегатов.

Известные разработки в рассматриваемой области можно свести к трем группам: конструктивные [1—6], технологические [10—19] и физико-химические методы обработки жидкой среды и защищаемых изделий [7—9].

В частности, из конструктивных мер известны приемы снижения интенсивности кавитации созданием специальных барьеров (например антикавитационных отверстий на гребнях винтов); из физико-химических — широко используются катодная и протекторная защиты, обработка жидкости ультразвуком; технологические приемы сводятся к созданию кавитационно-стойких материалов и покрытий. На практике используется одно из них или все три мероприятия одновременно.

Возможность решения сложных технических задач при правильном подходе на основе анализа и теоретического обобщения обширных экспериментальных исследований можно продемонстрировать на примере создания кавитационно-стойких покрытий на базе разработанного нами параметра кавитационной стойкости. Созданию такого параметра исследователями ранее было уделено много внимания, но работы предшественников не привели к созданию критерия, позволяющего прогнозировать относительно приближенно ожидаемые свойства материалов и покрытий.

Кавитационную стойкость металлических материалов пытались связать с твердостью [4, 11], температурой плавления [9], энергией деформации [13], пределом текучести [7], а также сочетанием прочностных и пластических свойств [11]. Однако ни одному из исследователей не удалось установить определенной взаимосвязи кавитационной стойкости материалов или покрытий с механическими, физико-химическими свойствами или их сочетанием.

На наш взгляд, ошибки многих исследователей состоят в том, что они рассматривают явление кавитационной эрозии как результат однофакторного влияния жидкой среды: механического, коррозионного, баллоэлектрического или акустического. Такой подход, естественно, не мог увенчаться успехом, так

как кавитация — явление чрезвычайно сложное и ее влияние на разрушаемую поверхность состоит в совокупном воздействии названных и других факторов.

Выявляя влияние отдельных факторов кавитационного воздействия, нами ранее было установлено [15], что ведущими в кавитационной эрозии являются механическое и электрохимическое воздействие среды. Исходя из этого разработан параметр кавитационной стойкости Z , пользуясь которым можно решать технологические задачи получения кавитационно-стойких материалов и покрытий.

В модели разработанного нами параметра кавитационной стойкости (1) впервые в полной мере учтены основные критерии качества материалов и покрытий (структурные, физико-механические, электрохимические), определяющие их поведение в экстремальных условиях; введены поправки, характеризующие изменение первоначальных свойств материалов в зависимости от активности и времени кавитационного воздействия с учетом изменения свойств материалов и покрытий под воздействием эффекта Ребиндера.

Предложенный параметр имеет вид

$$Z = (1 - q)(H_0 \cdot \Delta H^b) \frac{1}{\Delta \Phi}, \quad (1)$$

где $\Delta H = H_{\max} - H_0$;

H_0 — первоначальная микротвердость;

H_{\max} — микротвердость "насыщения" [установлено, что в зависимости от состава и строения металла (покрытия) $b = 1,0 \div 1,8$];

q — коэффициент, зависящий от свойств жидкой среды, времени и активности кавитационного воздействия; установлено $q = 0,01 \div 0,5$;

$\Delta \Phi$ — величина поляризационного сопротивления.

Выражение (1) получено для компактных металлов, вводом соответствующих поправок его можно применить для разработки кавитационно-стойких плазменных и детонационных покрытий (назовем их дискретными):

$$Z_{\pi} = \eta Z, \quad (2)$$

где η — плотность покрытия.

Ценность разработанного параметра Z состоит в том, что он позволяет прогнозировать стойкость известных материалов и разрабатывать новые технологии получения этих материалов и покрытий. В частности, в соответствии с требованиями параметра Z кавитационно-стойкие материалы и покрытия должны обладать высокой исходной микротвердостью, быть в значительной степени деформационно-упрочняемыми, электроположительными в рабочей среде.

Лабораторными исследованиями установлено [15, 20], что, например, коррозионно-стойкие деформационно-упрочняемые никель-титановые плазменные покрытия имеют в 10—12 раз большую кавитационную стойкость по сравнению с подложкой (сталь 45), а хромомарганцевые диффузионные слои с подобным сочетанием физико-химических и механических свойств превосходят подложку по кавитационной стойкости в 17—20 раз.

Разработанному нами параметру кавитационной стойкости Z присущи те же недостатки, что и параметрам других исследователей: он не позволяет прогнозировать поведение материала или покрытия в условиях длительной эксплуатации.

При краткосрочных лабораторных испытаниях доминирует роль одного из факторов кавитации, а роль других явлений (не менее важных при длительной эксплуатации) оказывается подавленной. Например, по данным Л. А. Гликмана [11], при распространенных магнитострикционных испытаниях интенсивность механического воздействия кавитации увеличивается в 10^2 — 10^3 раз. В натуральных условиях в зависимости от интенсивности кавитации и свойств жидкой среды

ведущая роль в кавитационных процессах может перейти к электрохимическим явлениям.

Эту особенность должен учитывать параметр кавитационной стойкости. Аналитические расчеты и статистическая обработка результатов обширных исследований позволили предложить модель параметра кавитационной стойкости, учитывающего временной фактор кавитационного воздействия (3):

$$Z_{\tau} = Z - \frac{1}{\lg \tau} \Delta \varphi, \quad (3)$$

где τ — время испытания, ч.

Уточнение, введенное в уравнение (3), имеет важное практическое значение и позволяет объяснить наблюдаемые несоответствия натуральных и лабораторных исследований. Например, Я. Ш. Турецким [16] было установлено, что при лабораторных испытаниях сталь 30X10Г10 превосходит нержавеющую сталь 12X18Н10Т в 178 раз, а при натуральных испытаниях на гидротурбинах они оказались равнозначными. Причину этих расхождений автор не смог объяснить.

Расчеты по предлагаемым уравнениям (2) и (3) показывают, что для краткосрочных испытаний сталь 30X10Г10 действительно более кавитационно-стойкая по сравнению со сталью 12X18Н10Т (величина Z составляет 8,97 и 7,98 соответственно), а при эксплуатации в течение 10 000 ч картина меняется на противоположную — значение Z составляет 6,97 и 7,18 соответственно. Подобные факты часто наблюдались на практике, но аналитически авторами объяснены впервые.

Авторами [19] ранее показано, что для кавитационно-напряженных элементов судов, гидро- и энергоагрегатов в качестве кавитационно-стойких широко могут быть использованы диффузионные, плазменные и детонационные покрытия, отвечающие требованиям разработанного параметра кавитационной стойкости Z .

Следует оговорить, что технологию газотермического напыления целесообразнее применять для защиты изделий с большой площадью соприкосновения с жидкостью (винторулевой комплекс судов, крыльевой аппарат СПК и др.), а относительно мелкие изделия нефтегазовой промышленности, общего и энергетического машиностроения практичнее обрабатывать термодиффузионным способом.

Внедрение разработок по новым технологиям получения кавитационно-стойких покрытий позволяет:

получить материальную выгоду за счет сокращения расхода высокодефицитных и дорогих сложнелегированных сталей и замены их на экономнелегированные или простые углеродистые с соответствующими заметными покрытиями;

повысить срок работы нефтегазового оборудования;

повысить пропульсивные качества судов (в том числе и нефтегрузов) и сократить на 30 % время их доковых простоев на вынужденный преждевременный ремонт;

уменьшить парк запасных частей на автопредприятиях и предприятиях АПК;

снизить простой авто- и сельхозмашин за счет замены изношенных узлов.

Литература

1. Зиганченко П. П. и др. Суда на подводных крыльях. — Л.: Судостроение, 1981. — 312 с.
2. Георгиевская Е. П. Кавитационная эрозия гребных винтов и методы борьбы с ней. — Л.: Судостроение, 1970. — 120 с.
3. Воскресенский И. Н. Коррозия и эрозия гребных винтов. — Л.: Судостроение, 1955. — 240 с.
4. Перник А. Д. Проблемы кавитации. — Л.: Судостроение, 1958. — 439 с.
5. Фомин В. В. Гидроабразивный износ при кавитации. — М.: Машиностроение, 1976. — 182 с.

6. Виганд Г., Пилтц Г.-Г. Мотортехник цайтунг, 1964. № 6.
7. Кнепп Р., Дейли Дж., Хеммит Ф. Кавитация. — М.: Мир, 1974. — 687 с.
8. Ёст Т., Уэда К. Катодная защита гребных винтов из мартенситостареющих сталей // Босеку гидзюцу, 1973. Т. 22. № 6. С. 228—235.
9. Новатный Г. Кавитационные разрушения материалов. — Берлин, 1942.
10. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы. — М.: Metallurgia, 1972. — 232 с.
11. Гликман Л. А. Коррозионно-механическая прочность металлов. — М.: Машиностроение, 1955. — 230 с.
12. Шулман З. П. Сравнительные испытания эрозионной стойкости некоторых марок сталей и чугуна // Энергомашиностроение, 1958. № 4.
13. Тирувенгадам А. // Специальное техническое задание. 1964, № 408. С. 22—35.
14. Минц Р. И., Горбач В. Г. Влияние никеля на сопротивление аустенитных сплавов кавитационному воздействию // ФМиМ, 1962. XII, № 6. С. 814—819.
15. Абачараев М. М. Кавитация и защита металлов от кавитационных разрушений. — г. Махачкала.: Даг. кн. изд-во, 1990. — 176 с.
16. Турецкий Я. Ш. Кавитационная стойкость деталей машин из метастабильных сталей. — М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. — 49 с.
17. Абачараев М. М., Гайдарбеков М. И., Дорошенко П. А. А. с. 1169373 СССР.
18. Абарачаев М. М., Хаппалаев А. Ю. Защитные покрытия в промышленности. — Махачкала.: Даг. кн. изд-во, 1987. — 108 с.
19. Ворошнин Л. Г., Абачараев М. М., Хусид Б. М. Кавитационно-стойкие защитные покрытия на железоуглеродистых сплавах. — Минск.: Наука и техника, 1986. — 246 с.
20. Абачараев М. М. Влияние микротвердости диффузионных слоев на кавитационную стойкость покрытий // В сб.: ХТО. — Минск, 1974. С. 175—177.

THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT ON DRAWING COATINGS OF MULTIFUNCTIONAL PURPOSES

M. M. Abacharaev, I. M. Abacharaev

Daghestan research centre — Physics institute of RAS, Daghestan, Russia

Paper presents theoretical and experimental results on deposition of protective coatings.