

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАСОСОВ РЫБОКОНСЕРВНЫХ ЗАВОДОВ**

**Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко, доктора технических наук  
М. М. Муштрук, З. А. Бурова, кандидаты технических наук  
В. В. Дудченко, аспирант  
Национальный университет биоресурсов и  
природопользования Украины  
e-mail: suhenko@ukr.net, mixej.1984@ukr.net**

**Аннотация.** Исследован процесс кавитационно-эрозионного изнашивания деталей проточной части насосов рыбоконсервных производств, перекачивающих агрессивные растворы хлорида натрия различной концентрации. Предложены конструкционные материалы для изготовления деталей, соприкасающихся с этими растворами и подверженных интенсивному изнашиванию.

В рыбоперерабатывающих производствах используют соленую морскую воду во время промысла в водах Мирового океана (3,5 % NaCl), Черного (1,8 % NaCl), Азовского (1,3 % NaCl) и других морей. Она перекачивается насосами, рабочие колеса которых изготовлены из серого чугуна, наработка на отказ которых не превышает 3000 часов. Еще в худших условиях работают насосы, перекачивающие томатный соус, в состав которого входит поваренная соль и уксус, делая эту среду чрезвычайно агрессивной даже по отношению к нержавеющей сталью. Нарботка на отказ этих насосов находится в пределах 1800 – 2000 часов.

Показано, что первопричиной кавитационно-эрозионного изнашивания проточной части насосов является микроударное циклическое действие жидкости и ее коррозионная активность. Это предопределяет усталостный характер разрушения сплавов.

Для исследования процесса кавитационно-эрозионного изнашивания и выбора материалов для изготовления рабочих колес насосов разработана экспериментальная установка. На ней с использованием магнитно-стрикционного вибратора осуществляется механическое нагружение поверхностей рабочих колес насосов и коррозионное воздействие сред.

Методом ферромагнитного резонанса показано, что среда изменяет поверхностную энергию деталей, влияет на разрядку

*дислокаций в тонком поверхностном слое деталей. При наличии в воде хлоридов коррозионная стойкость даже нержавеющей аустенитных сталей резко уменьшается вследствие наводораживания и охрупчевания поверхности металла.*

*Показано что при длительном воздействии кавитации дислокации образуют скопление во главе которых возникают напряжения, превышающие прочность на сдвиг, что приводит к разрушению поверхностей. Этот процесс повторяется циклически. Интенсивность упрочнения и разупрочнение зависит от концентрации хлорида натрия.*

*Интенсивность кавитационно-эрозионного изнашивания может быть определена с использованием структурно-энергетической теории, правомерность использование которой подтверждена в данной работе. Поэтому ее следует внедрить в практику конструирования насосов для рыбоперерабатывающей промышленности.*

*Детали насосов, соприкасающиеся с раствором хлорида натрия целесообразно изготавливать из титановых и высокохромистых сталей.*

**Ключевые слова:** *морская вода, солевой раствор, рабочие колеса, усталостное разрушение, кавитация, эрозия, охрупчивание, износостойкие материалы*

**Постановка проблемы.** В рыбоперерабатывающей промышленности используют соленую морскую воду во время переработки рыбы в условиях промысла в водах Мирового океана (3,5% NaCl), Черного (1,8% NaCl), Азовского (1,3% NaCl) и других морей, водородные показатели которой колеблются в пределах pH 7,5-8,4, которая перекачивается насосами типа ЗК-6, рабочие колеса которых, выполненные из серого чугуна СЧ18, работают в условиях кавитационно-эрозионного изнашивания под воздействием морской воды и рыбьего жира с большим количеством поверхностно-активных веществ. Нарботка на отказ таких колес не превышает 3000 часов (рис. 1,а). Не в лучших условиях работают рабочие колеса насосных агрегатов КМ-50-32-154. И хотя проточная часть таких насосов выполнена из нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н9Т, однако срок службы рабочих колес, которые контактируют с томатным соусом, заливаемым в консервы и в состав которого входит поваренная соль и уксус, не превышает 1800-2000 часов (рис. 1,б).

При производстве многих пищевых продуктов применяются растворы уксусной кислоты и поваренной соли различных концентраций. Коррозии и изнашиванию в средах, содержащих

уксусную кислоту, подвергаются детали мясо- и рыбоконсервных цехов. Поваренная соль, входящая в состав многих сред пищевой промышленности, часто применяется в сочетании с уксусной кислотой. В этом случае значительно усиливается коррозионная активность растворов. Например, добавка всего 1% хлорида натрия к концентрированной уксусной кислоте почти в 50 раз увеличивает скорость коррозии хромоникелевых аустенитных сталей [1]. Поэтому исследование кавитационно-эрозийного изнашивания материалов в растворах поваренной соли является актуальной задачей.

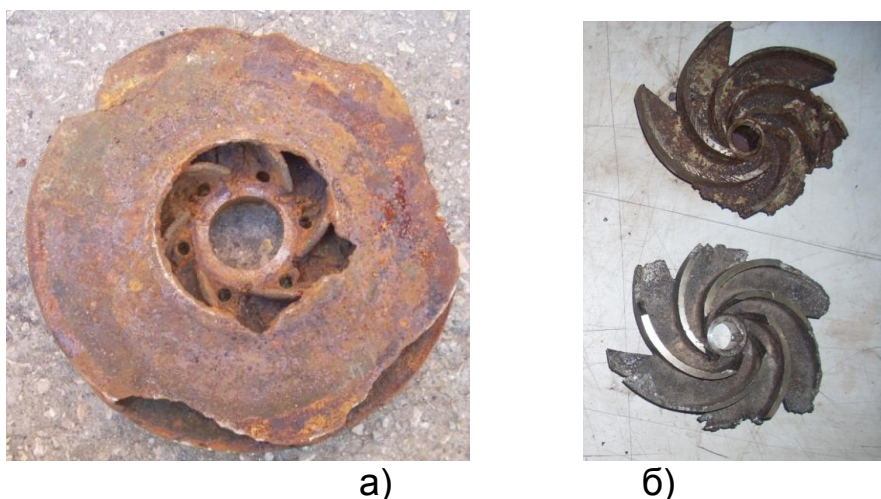


Рис. 1. Кавитационно-эрозийный износ рабочих колес насосов: а) изношенное колесо насоса 3К-6; б) изношенное колесо насоса КМ-50-32-154.

**Цель исследования** – проанализировать причины изнашивания проточной части названных насосов, выполнить лабораторные исследования и на этой основе предложить износостойкие конструкционные материалы для изготовления их деталей.

**Методика исследований.** Хотя, первопричиной кавитационно-эрозийного изнашивания проточной части насосов является микроударное воздействие жидкости, в зависимости от интенсивности этого воздействия и коррозионной активности перекачиваемых сред характер изнашивания может существенно изменяться [2]. Интенсивность микроударного нагружения определяется плотностью потока внешней энергии, которую условно можно разделить на следующие уровни: низкая ( $<0,01 \text{ Вт/м}^2$ ), средняя ( $1 \text{ Вт/м}^2$ ), высокая ( $>10 \text{ Вт/м}^2$ ) [3].

В зависимости от плотности потока энергии микроударного воздействия и коррозионной активности сред можно выделить такие разновидности кавитационно-эрозийного изнашивания как процесса коррозионно-механического разрушения:

- эрозийное и коррозионно-эрозийное при трении потока жидкости о поверхность деталей в условиях низкой плотности энергии, которое наблюдается в центробежных насосах работающих в бескавитационном режиме;

- эрозийное изнашивание при вихреобразовании, кавитации низкой интенсивности и щелевой эрозии, которое наблюдается при изнашивании деталей водокольцевых и центробежных насосов при средней плотности энергии и коррозионной активности перекачиваемых сред;

- кавитационно-эрозийное изнашивание при высокой плотности потока энергии ударных волн, которое наблюдается в быстроходных центробежных и вихревых насосах.

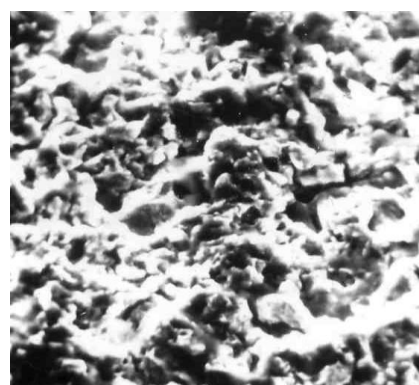
Циклический характер воздействия ударных нагрузок при кавитации предопределяет усталостный характер разрушения материалов при кавитационно-эрозийном изнашивании. Электронно-микроскопическим анализом нами на фрагментах, вырезанными из колес насосов ЗК-6, перекачивающих морскую воду в дефростере для рыбы, изготовленных из чугуна СЧ18, и колес насосов КМ-50-32-154, перекачивающих томатный соус с добавками поваренной соли и уксуса, изготовленных из стали 12Х18Н9Т были выделены многочисленные бороздки (рис. 2,а,б), которые являются характерными признаками усталостного разрушения от воздействия кавитации.

Таким образом, поиск износостойких материалов для изготовления рабочих колес названных насосов можно провести на основе экспериментальных исследований, одновременно имитирующих механическое нагружение рабочих колес благодаря схлопыванию кавитационных пузырьков и коррозионное воздействие основных компонентов перекачиваемых сред.



×12900

а)



×1250

б)

Рис. 2. Фрактография поверхностей разрушения рабочих колес насосов из чугуна СЧ18 (а) и стали 12Х18Н9Т (б).

Для изучения этих процессов воспользовались разработанной в НУПТ (г. Киев) экспериментальной установкой с магнито-стрикционным вибратором (МСВ) и методикой, которые позволяли реализовать потенциостатический метод исследования кавитационно-эрозийного изнашивания как процесса коррозионно-механического разрушения конструкционных материалов [4, 5].

Для автоматизации снятия потенциодинамических кривых установку несколько модернизировали, соединив потенциостат с электронным адаптером, системным компьютерным блоком, плоттером и монитором (рис. 3).

Использованная методика обеспечивает возможность исследования электрохимических процессов при кавитационно-эрозийном изнашивании конструкционных материалов в технических электропроводных средах рыбоперерабатывающих производств.

На основании снятых при микроударном нагружении поляризационных кривых можно получить количественное определение коррозионных потерь массы образцов при испытаниях на установке с СМВ.

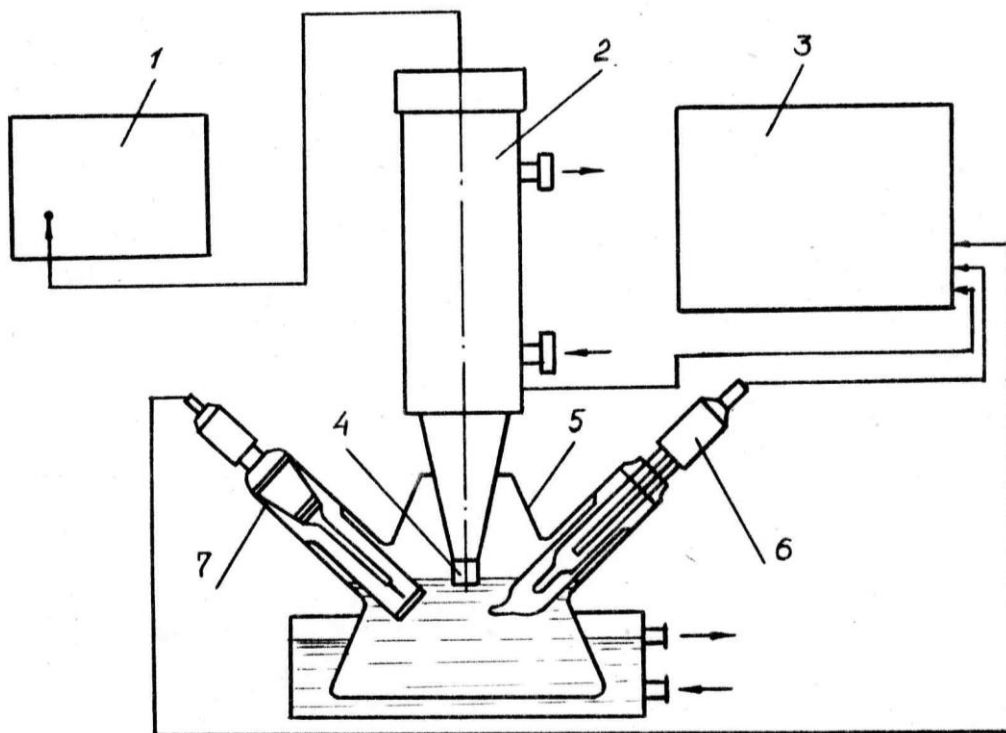


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – генератор УЗДН-1; 2 – МСВ; 3 – потенциостат П-5827М; 4 – образец (рабочий электрод); 5 – электрохимическая ячейка ЯСЭ-2; 6 – электрод сравнения ЭВЛ-1М1; 7 – вспомогательный платиновый электрод; 8 – электронный адаптер; 9 – системный блок; 10 – плоттер; 11 – монитор.

При больших плотностях тока на анодной и катодной поляризационных кривых, построенных в координатах «потенциал  $\varphi$  - логарифм плотности тока  $\lg i$ » имеются прямолинейные участки, для которых применимы уравнения Тафеля для определения тока на аноде  $i_a$  и катоде  $i_k$  [6, 7]:

$$i_a = i_{кор} \exp\left(\frac{2,3}{b_a} \Delta\varphi\right), \quad (1)$$

$$i_a = -i_{кор} \exp\left(-\frac{2,3}{b_a} \Delta\varphi\right), \quad (2)$$

где:  $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_{кор}$  – изменение электродного потенциала;  $\varphi$  – текущее значение потенциала;  $\varphi_{кор}$  – потенциал коррозии;  $b_a, b_i$  – тафеловские коэффициенты наклона анодной и катодной поляризационных кривых.

Экстраполяция этих участков в область малых перенапряжений позволяет в точке их пересечения определить величину коррозионного тока, по которому с использованием закона Фарадея, вычисляются потери массы образцов от электрохимической коррозии [8, 9]. Потери массы от чисто кавитационно-эрозийного взаимодействия с образцово движущейся технологической средой определяется как разность между суммарными потерями от механического воздействия и коррозии и чисто коррозионными потерями. Для сопоставления интенсивности разрушения образцов из материалов, которые имеют различный удельный вес, потерю массы обычно пересчитывают на объемные потери.

Разрушение материалов при кавитационно-эрозийном изнашивании сопровождается интенсивной пластической деформацией поверхностных слоев металлов. Среда при этом влияет на изменение поверхностной энергии металла, что затрудняет или облегчает разрядку дислокаций в тонком поверхностном слое. Часть энергии микроударного воздействия жидкости остается в металле в виде скрытой энергии наклепа. Для изучения изменения этих свойств поверхностных слоев в процессе изнашивания обычно применяют метод измерения микротвердости и рентгеноструктурный анализ. Первый из них непригоден при развитом рельефе поверхности, а использование второго затруднено ввиду того, что рентгеновское излучение, проникающее глубоко в металл, не позволяет выделить изменение структуры тонких поверхностных слоев на фоне информации от глубинных слоев. Кроме того, оно рассеивается на образующихся в ходе

испытаний образцов шероховатостей и не всегда позволяет оценить изменение дислокационной структуры в тонких поверхностных слоях и влияние на нее рабочей среды при кавитационно-эрозийном изнашивании. Большими возможностями в этом направлении обладает метод ферромагнитного резонанса (ФМР), погрешность измерения при котором не превышает 1%. Методика исследований с использованием метода ФМР достаточно подробно описана в работе [10].

В силу скин-эффекта электромагнитное поле СВЧ проникает вглубь металла и уширение линии ФМР  $\Delta H$  в этом случае отражает изменение дислокационной структуры в тонком поверхностном слое и величина  $\Delta H$  линейно зависит от плотности дислокаций:  $\Delta H = 10^{-8} \rho$  (для никеля), где  $\rho$  – плотность дислокаций [11].

**Результаты исследований.** Исследовали кавитационно-эрозийное изнашивание конструкционных материалов, взятых из различных групп на установке с МСВ в растворах поваренной соли и уксусной кислоты различных концентраций.

Растворы поваренной соли являются сильными электролитами и вызывают интенсивное кавитационно-эрозийное изнашивание деталей оборудования, сопровождающегося протеканием коррозионных процессов, межкристаллитной коррозии, питтингообразования, коррозионного растрескивания под напряжением. В пищевой промышленности вообще и рыбоперерабатывающей промышленности в частности, применяются растворы поваренной соли различной концентрации, вплоть до насыщения.

Результаты проведенных потенциостатических исследований на установке с МСВ показали, что при наличии в воде хлоридов коррозионная стойкость металлов резко уменьшается (для углеродистых сталей на порядок). Интенсивность коррозии некоррозионностойких сплавов максимальна при содержании в растворе 3-5% поваренной соли (рис. 4), что обусловлено уменьшением растворимости кислорода.

Найденные по поляризационным кривым коррозионные токи исследованных металлов позволили определить коррозионные потери массы образцов и оценить роль коррозионного фактора при кавитационно-эрозийном изнашивании. В процессе проведения экспериментов как для некоррозионностойких, так и для коррозионностойких сплавов наблюдалось лишь возрастание коррозионных токов с увеличением концентрации поваренной соли, что связано с увеличением электропроводности растворов. Зависимость же растворимости кислорода от концентрации раствора при интенсивной турбулизации потока в процессе

кавитации не играет столь заметной роли как при коррозии в статических условиях, поэтому интенсивность кавитационно-эрозийного изнашивания линейно возрастает с увеличением концентрации хлорида натрия в растворе (рис. 5).

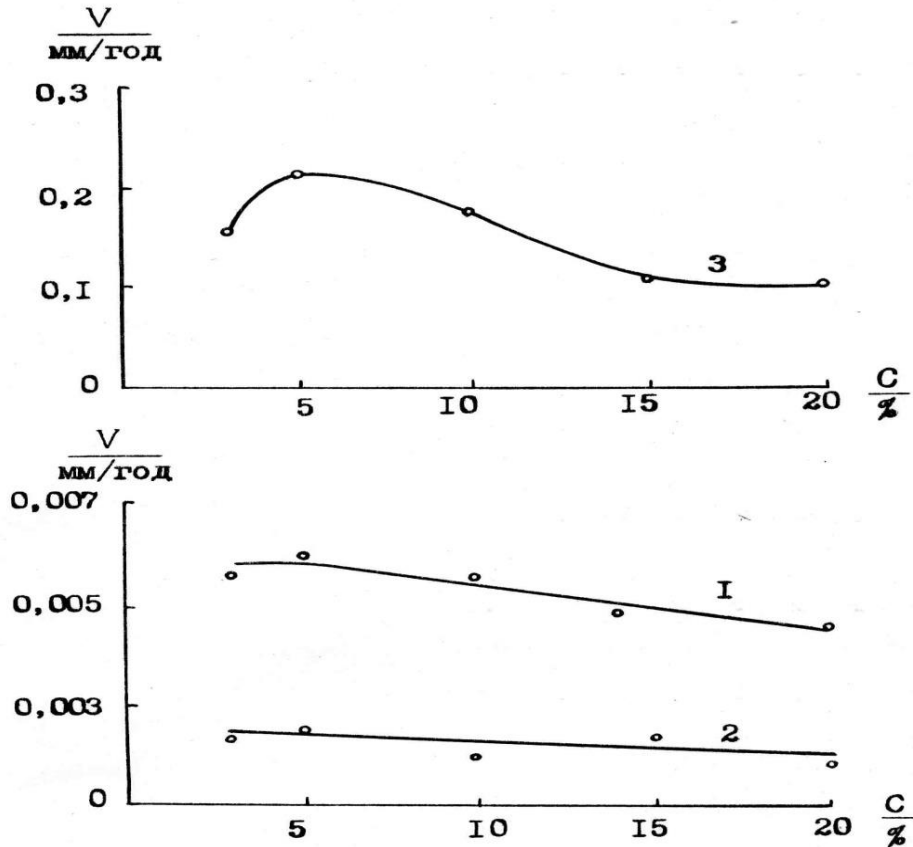


Рис. 4. Влияние концентрации хлорида натрия  $C$  на скорость коррозии металлов: 1 – титановый сплав BT-14; 2 – сталь 12X18H9T; 3 – сталь 45.

Известно, что легирование хромом позволяет существенно повысить коррозионную стойкость железоуглеродистых сплавов. Поэтому сталь 12X18H9T обладает более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с титаном и его сплавами. Однако кавитационно-эрозийная стойкость этой стали ниже, чем у титановых сплавов. В стали 12X18H9T в течение инкубационного периода коррозии под напряжением происходит накопление ионов хлора за счет адсорбции массивной поверхностной пленкой, а затем следует пробой пленки в местах выхода плоскостей скольжения [12]. В микрообъемах пластически деформированного металла ускоряется диффузия атомов вдоль дислокаций, а на стадии развития трещин в их вершинах, активно растворяется никель, что инициирует превращение  $\gamma$ -фазы в  $\alpha$ -фазу в зоне объединения матрицы с никелем. Причем коррозионное растрескивание сталей



в растворах поваренной соли сопровождается подкислением среды, что делает возможным выделение водорода, водородное охрупчивание [13, 14] и разрушение поверхности металла.

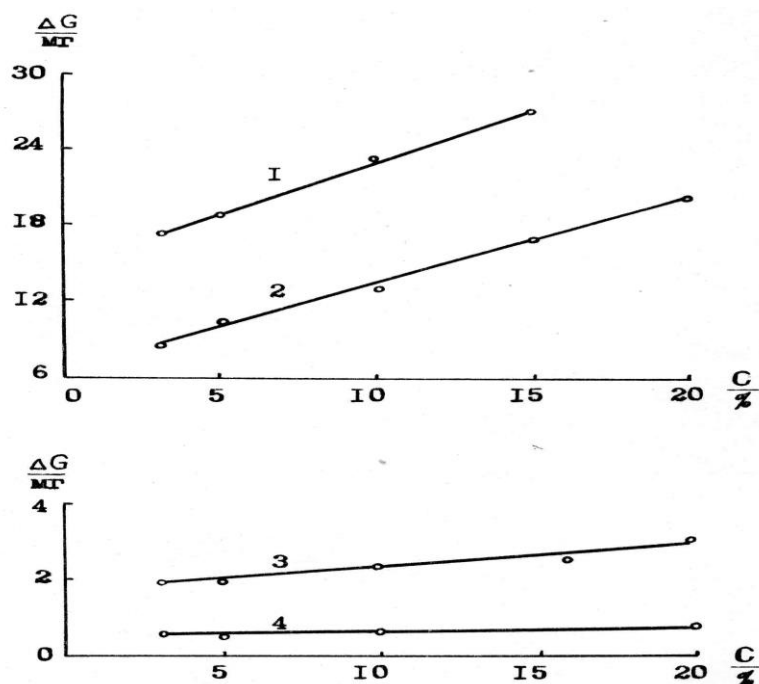


Рис. 5. Влияние концентрации поваренной соли  $C$  на потери массы  $\Delta G$  металлов: 1 – стали 45; 2 – никеля; 3 – стали 12X18H9T; 4 – титановый сплав BT-14.

Высокая коррозионная стойкость в сочетании с высокими прочностными свойствами обеспечивают малую интенсивность изнашивания титановых сплавов в растворах поваренной соли, особенно тех, которые имеют  $(\alpha+\beta)$  структуру, например BT14, BT-3-1 и др.

Износостойкость материалов при микроударном воздействии внешней среды пропорциональна энергоёмкости их поверхностных слоев, определяемой энергией, затраченной на деформирование и трещинообразование материала до момента образования продуктов износа [15, 16].

Влияние среды на энергоёмкость поверхностных слоев металлов и ее взаимосвязь с кавитационно-эрозийной стойкостью исследовалось с использованием метода ФМР. С этой целью испытывали на установке с МСВ предварительно полированных и отожженных в вакууме никелевых образцов в растворах хлорида натрия различной концентрации.

Результаты измерения ширины линии ФМР  $\Delta H$  в зависимости от времени испытаний показали (рис. 6), что изменение  $\Delta H$ , а следовательно, плотности дислокаций и прочностных свойств

поверхностного слоя происходит циклически. В начальный период  $\Delta H$  возрастает и, достигнув максимального значения, уменьшается, что коррелирует с теоретическими представлениями об усталостной природе кавитационно-эрозийного изнашивания.

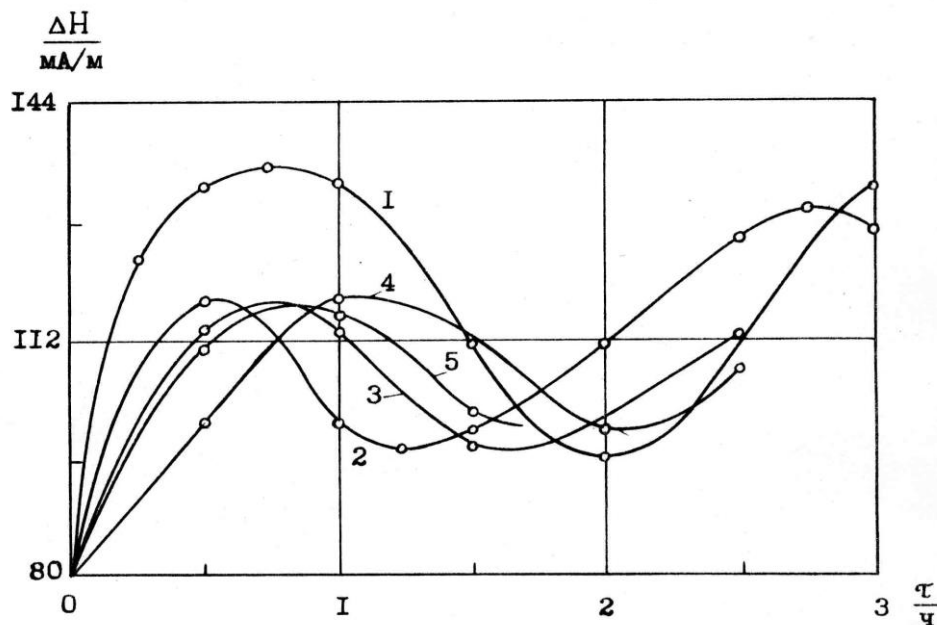


Рис. 6. Изменение ширины линий ФМР  $\Delta H$  с течением времени испытаний образцов из никеля в средах: 1 – вода; 2, 3, 4, 5 – соответственно 5, 10, 15, 20-ти процентные растворы хлорида натрия.

Возрастание  $\Delta H$  в начальный период обусловлено упрочнением вследствие искажения кристаллической решетки из-за увеличения плотности дислокаций и их упругого взаимодействия. Сначала процесс упрочнения поверхностного слоя происходит интенсивно, а затем замедляется, что может быть связано со снижением интенсивности работы дислокационных источников из-за упругих искажений дислокационных скоплений и стоком дислокаций к образующимся микротрещинам.

При длительном воздействии ультразвуковой кавитации дислокации образуют скопления. На головную дислокацию скопления действует не только внешнее напряжение, но и сила взаимодействия с другими дислокациями скопления, которая пропорциональна приложенному напряжению и количеству дислокаций в скоплении. При большом количестве линейных дефектов в скоплении и под действием внешнего напряжения в голове скопления возникают напряжения, превышающие теоретическую прочность на сдвиг и, в результате, происходит нарушение сплошности металла и возникают микротрещины [12].

Образование микротрещин способствует стоку к ним дислокаций, вызывая разупрочнение. С течением времени количество микротрещин возрастает, что приводит к интенсивному сокращению длины пробега дислокаций. Вместе с тем, рассасывание дислокационных скоплений при разупрочнении может возобновить деятельность ранее прекративших работу дислокационных источников, что вызывает некоторое возрастание плотности линейных дефектов и уменьшение скорости разупрочнения. После изнашивания деформированного и разупрочненного слоя металла процесс повторяется.

Рассмотренная схема изменения дислокационной структуры при воздействии кавитации согласуется с результатами износных испытаний в которых интенсивность изнашивания, как правило, на стадии упрочнения в 2-3 раза меньше, чем в период разупрочнения. Полученные результаты также находятся в полном соответствии со структурно-энергетической теорией изнашивания [2].

Увеличение и уменьшение величины  $\Delta H$  свидетельствует о чередовании процессов упрочнения, разупрочнения и разрушения тонких слоев металла в данных условиях изнашивания. При испытании образцов в растворах хлорида натрия различной концентрации наблюдается уменьшение, по сравнению с испытаниями в воде уширения линий ФМР, а также изменение кинетики упрочнения и разупрочнения.

Значительное снижение максимально достижимой степени упрочнения в растворах хлорида натрия связано с облегчением выхода дислокаций при адсорбции на поверхности металла хлор-ионов. Наблюдаемое замедление скорости упрочнения и разупрочнения с повышением концентрации хлорида натрия в растворе (более пологие кривые) по всей вероятности вызвано интенсификацией коррозионных процессов. Микроударное воздействие растворов хлорида натрия благоприятствует развитию коррозии под напряжением. Образующиеся коррозионные повреждения поверхности металла, являясь стоками дислокаций, облегчают их выход на поверхность.

В соответствии со структурно-энергетической теорией кавитационно-эрозийного изнашивания потери массы образца  $\Delta G$  за время испытаний  $t$  на стендах различных типов могут быть определены по формуле [16]:

$$\Delta G = kq\rho t \frac{\tau_H}{E_{y\delta} \cdot \tau} \quad (3)$$

где:  $k$  – коэффициент, учитывающий долю энергии внешнего воздействия, которая расходуется на изнашивание металла;

$q$  – удельная энергия внешнего воздействия;  $\rho$  – плотность;  $\tau_H, \tau$  – периоды, соответственно, упрочнения и всего цикла упрочнение-разупрочнение (определяется по кривым  $\Delta H(t)$ , подобным представленным на рис. 6);  $E_{уд}$  – удельная энергоёмкость (энергия затрачиваемая на деформирование материала в течение одного цикла изнашивания).

Удельная энергоёмкость определяется энергией дислокаций, участвующих в процессах деформирования и разрушения. Согласно теории дислокаций [17, 18] энергия искажений, запасенная в процессе деформирования, пропорциональна плотности дислокаций. Следовательно, справедливо следующее равенство:

$$E_{уд} = K(\Delta H_{max} - \Delta H_{min}) \quad (4)$$

где:  $K$  – коэффициент пропорциональности;  $\Delta H_{max} - \Delta H_{min}$  – соответственно, максимальное и минимальное уширение линий ФМР на кривых  $\Delta H(t)$  за один цикл.

При постоянной энергии внешнего воздействия и времени испытания потеря массы металла образца может быть определена из выражения:

$$\Delta G = const \left( \frac{\Delta H_{max} - \Delta H_{min}}{\frac{\tau_H}{\tau}} \right), \quad (5)$$

где:  $const = kqpt/K$ .

Результаты испытаний на изнашивание, представленные в табл. 1, удовлетворительно описываются зависимостью:

$$\Delta G = 600 \left( \frac{\frac{\tau_H}{\tau}}{\Delta H_{max} - \Delta H_{min}} \right). \quad (6)$$

### **1. Потери массы образцов за 2 часа испытаний на установке с МСВ и данные анализа кривых ФМР.**

Процентное содержание хлористого натрия в воде, вес.	$\Delta G$ , мг	$\tau_H$ , ч	$\tau$ , ч	$\Delta H_{max} - \Delta H_{min}$ МА/М
Дистиллированная вода	8,9	1,10	1,90	41,6
5	11,4	0,50	1,25	22,4
10	12,9	0,70	1,60	20,1
15	16,8	1,05	2,05	19,2
20	20,0	0,85	1,65	15,0

Полученные результаты подтвердили возможность использования положения структурно-энергетической теории

кавитационно-эрозийного изнашивания в коррозионных средах, которые способствуя выходу дислокаций на поверхность, вызывают уменьшение энергоемкости поверхностных слоев металлов и их износостойкости при кавитационном нагружении.

Таким образом, для изготовления деталей оборудования, подверженных кавитационно-эрозийному изнашиванию в растворах поваренной соли могут быть рекомендованы титановые сплавы, а также высокохромистые сплавы типа 130X16M, обладающие хорошими литейными свойствами и пригодные для изготовления рабочих колес центробежных насосов вместо серого чугуна СЧ18.

### **Выводы**

1. Насосы, перекачивающие растворы хлорида натрия на рыбоконсервных заводах подвержены кавитационно-эрозийному изнашиванию.

2. Исследование износостойкости материалов для проточной части насосов необходимо проводить с учетом коррозионного и механического факторов.

3. Метод ферромагнитного резонанса позволяет объяснить физическую сущность процесса изнашивания материалов в растворах поваренной соли.

4. Структурно-энергетическая теория изнашивания позволяет внедрить расчетные методы определения износостойкости в практику конструирования насосов для рыбоперерабатывающей промышленности.

5. Детали проточной части насосов, перекачивающих растворы хлорида натрия целесообразно изготавливать из титановых и высокохромистых сплавов.

### **Список литературы**

1. Сухенко Ю. Г., Муштрук М. М., Сарана В. В. Забезпечення довговічності обладнання харчових і переробних підприємств: монографія. Київ. ЦП "Компринт". 2017. 463 с.
2. Сухенко Ю. Г., Литвиненко О. А., Сухенко В. Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник. Київ. НУХТ. 2010. 547 с.
3. Погодаев Л. И. Износостойкость материалов и деталей машин при гидроабразивном и кавитационном изнашивании: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.04. Санкт-Петербургский ГУВП. 1979. 46 с.
4. Белый В. И., Некоз А. И. Применение потенциостатического метода при эрозийном изнашивании металлов. Проблемы трения и изнашивания. 1977. Вып. 11. С. 44–45.
5. Белый В. И., Некоз А. И., Прейс Г. А. Потенциостатический метод исследования кавитационно-эрозийного изнашивания. Проблемы трения и изнашивания. 1979. Вып. 15. С. 46–48.

6. Дзюб А. Б., Сухенко В. Ю., Манилов В. В., Сухенко Ю. Г. Методика исследования процессов коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевых и перерабатывающих производств. MOTROL. 2014. Vol. 16. № 3.
7. Фрумкин А. Н., Багоцкий В. С., Иофа З. А. Кинетика электродных процессов. Москва. МГУ. 1952. 319 с.
8. Определение скорости коррозии электрохимическими методами. Экспресс – информация. Коррозия и защита металлов. 1982. № 18. С. 11–18.
9. Сухенко Ю. Г., Дзюб А. Б., Сухенко В. Ю., Манилов В. В. Природа коррозионно-механического изнашивания оборудования пищевой и перерабатывающей промышленности. MOTROL. 2014. Vol. 16. № 3. Р. 74–81.
10. Пинчук В. Г., Шелудяков Е. А., Суглоб Ф. Г., Бортник Г. И. Исследование дислокаций структуры металлов при избирательном переносе методом ферромагнитного резонанса. Проблемы трения и изнашивания. 1975. Вып. 8. С. 44–46.
11. Morkowski J. Broadening of the ferromagnetic resonance line by dislocation dipoles. Acta Phisica Polon. 1969. 36. Fasc. 4(10). P. 503–516.
12. Назаров А. А. Механизм коррозии под напряжением стали типа 12X18H10T в растворах хлоридов. Защита металлов. 1982. Т. 18. № 2. С. 212–215.
13. Caonen R. F., Stark J. R. Masstransport along individual dislocation. J. Appl. Phys. 1979. Vol. 40. № 12. P.4361–4366.
14. О роли водорода в процессе коррозионного растрескивания стали в растворах хлоридов. Защита металлов. 1983. Т. 19. №2. С. 267–270.
15. Погодаев А. И., Некоз А. И., Овчаренко Б. К., Рудник С. И. Кинетическая плотность потока мощности ударных волн как критерий стойкости многофазных материалов при ударном изнашивании. Проблемы трения и изнашивания. 1975. Вып. 8. С. 14–18.
16. Погодаев А. И., Некоз А. И., Слынько А. И. Относительная износостойкость металлов в условиях гидроабразивного изнашивания при кавитации. Проблемы трения и изнашивания. 1974. Вып. 5. С. 95–102.
17. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. Москва. Атомиздат. 1972. 600 с.
18. Паламарчук І. П. Математичне моделювання процесу тепломасообміну за умов пароконтактної стерилізації продукції у циліндричній тарі. Техніка енергетика, транспорт АПК. 2017. №2 (97). С. 64–70.

## References

1. Sukhenko, Yu. G., Mushtruk, M. M., Sarana, V. V. (2017). Ensuring the durability of equipment for food processing and processing enterprises: monograph. Kyiv. CP "Komprint". 463.
2. Sukhenko, Yu. G., Litvinenko, O. A., Sukhenko, V. Yu. (2010). Reliability and durability of the equipment of food and processing industries. Kyiv. NUKHT. 2010. 547.
3. Pogodaev, L. I. (1976). Wear resistance of materials and parts of machines at hydroabrasive and cavitation wear: author's abstract. dis ... Dr. Tech. Sciences: 05.08.04. St. Petersburg State Defense Department. 46.
4. Belyi, V. I., Nekoz, A. I. (1977). Application of the potentiostatic method for erosion wear of metals. Problems of Friction and Wear. Vol. 11. 44–45.
5. Belyi, V. I., Nekoz, A. I., Preys, G. A. (1979). Potentiostatic method for investigating cavitation and erosion wear. Problems of Friction and Wear. Vol. 15. 46–48.

6. Dzub, A. B., Sukhenko, Yu. G., Sukhenko, V. Yu., Manilov, V. V. (2014). Methods of studying processes of corrosion-mechanical wear of equipment for food processing and processing industries. MOTROL. Vol. 16. No. 3. 74–81.
7. Frumkin, A. N., Bagotsky, V. S. (1952). Kinetics of electrode processes. Moscow. MSU. 319.
8. *Determination of corrosion rate by electrochemical methods* (1982). Express information. Corrosion and metal protection. №18. 11–18.
9. Sukhenko, Y. G., Dzhub, A. G., Sukhenko, V. Yu., Manilov, V. V. (2017). The nature of the corrosion-mechanical wear of equipment for the food and processing industry. MOTROL. Vol. 16. No. 3. 64–73.
10. Pinchuk, V. G., Sheludyakov, E. A., Soglob, F. G., Bortnik, G. I. (1975). Investigation of Metal Metal Dislocations in Electoral Transfer by the Method of Ferromagnetic Resonance. Problems of Friction and Wear. Vol. 8. 44–46.
11. Morkowski, J. (1969). Broadening of the ferromagnetic resonance line by dislocation dipoles. Acta Phisica Polon. 36. Fasc. 4 (10). 503–516.
12. Nazarov, A. A. (1982). Mechanism of corrosion under the voltage of steel of type 12X18H10T in solutions of chlorides. Protection of Metals. T. 18. No. 2. 212–215.
13. Caonen, R. F. Stark, J. R. (1979). Masstransport along individual dislocation. J. Appl. Phys. Vol. 40. № 12. 4361–4366.
14. *On role of hydrogen in the process of corrosive cracking of steel in chloride solutions.* (1983). Protection of Metals. T. 19. № 2. 267–270.
15. Pogodaev, A. I., Nekoz, A. I., Ovcharenko, B. K., Mine, S. I. (1975). Kinetic power density of shock waves as a criterion for the durability of multiphase materials in shock wear. Problems of Friction and Wear. Vol. 8. 14–18.
16. Pogodaev, A. I., Nekoz, A. I., Slynko, A. I. (1974). Relative wear resistance of metals in conditions of hydroabrasive wear at cavitation. Problems of Friction and Wear. Vol. 5. 95–102.
17. Hirth, J., Lot, I. (1972). Theory of dislocations. Per. with Eng. Moscow. Atomizdat. 600.
18. Palamarchuk, I. P. (2017). Mathematical modeling of the heat-mass transfer process in the conditions of steam-contact sterilization of products in a cylindrical container. Engineering Energetics, Transport AIC. № 2 (97). 64–70.

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НАСОСІВ РИБОКОНСЕРВНИХ ЗАВОДІВ**

**Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко, М. М. Муштрук, З. А. Бурова,  
В. В. Дудченко**

**Анотація.** Досліджено процес кавітаційно-ерозійного зношування деталей проточної частини насосів рибоконсервних виробництв, що перекачують агресивні розчини хлориду натрію різної концентрації. Запропоновані конструкційні матеріали для виготовлення деталей, що стикаються з цими розчинами і схильні до інтенсивного зношування.

У рибопереробних виробництвах використовують солону морську воду під час промислу в водах Світового океану (3,5% NaCl), Чорного (1,8% NaCl), Азовського (1,3% NaCl) та інших морів. Вона перекачується насосами, робочі колеса яких виготовлені з сірого чавуна, напрацювання на відмову яких не перевищує

3000 годин. Ще в гірших умовах працюють насоси, що перекачують томатний соус, до складу якого входить кухонна сіль і оцет, роблячи цю середу надзвичайно агресивною навіть по відношенню до неіржавіючих сталей. Напрацювання на відмову цих насосів знаходиться в межах 1800-2000 годин.

Показано, що першопричиною кавітаційно-ерозійного зношування проточної частини насосів є мікроударна циклічна дія рідини і її корозійна активність. Це зумовлює втомний характер руйнування сплавів.

Для дослідження процесу кавітаційно-ерозійного зношування і вибору матеріалів для виготовлення робочих коліс насосів розроблена експериментальна установка. На ній з використанням магніто-стрикційного вібратора здійснюється механічне навантаження поверхонь робочих коліс насосів і корозійний вплив середовищ.

Методом феромагнітного резонансу показано, що навколишнє середовище змінює поверхневу енергію деталей, впливає на розрядку дислокацій в тонкому поверхневому шарі деталей. За наявності у воді хлоридів корозійна стійкість навіть нержавіючих аустенітних сталей різко зменшується внаслідок оджування і окрихчування поверхні металу.

Показано що при тривалому впливі кавітації дислокації утворюють скупчення на чолі яких виникають напруги, що перевищують міцність на хсув що призводить до руйнування поверхонь. Цей процес повторюється циклічно. Інтенсивність зміцнення і знеміцнення залежить від концентрації хлориду натрію.

Інтенсивність кавітаційно-ерозійного зношування може бути визначена з використанням структурно-енергетичний теорії, правомірність використання якої підтверджена в даній роботі. Тому її слід впровадити в практику конструювання насосів для рибопереробної промисловості.

Деталі насосів, що контактують з розчином хлориду натрію доцільно виготовляти з титанових і високохромистих сталей.

**Ключові слова:** морська вода, сольовий розчин, робочі колеса, втомне руйнування, кавітація, ерозія, окрихчування, зносостійкі матеріали

## **PROVIDING THE LONG-TERM POTENTIAL OF FISHERY FACTORIES**

***Yu. G. Sukhenko, V. Yu. Sukhenko, M. M. Mushtruk, Z. A. Burova,  
V. V. Dudchenko***

**Abstract.** *The process of cavitation and erosion wear of parts of flow part of pumps of fish canning plants, which pumps aggressive*



solutions of sodium chloride of various concentrations, is studied. Structural materials are offered for the manufacture of parts in contact with these solutions and subject to intense wear.

In fish processing industries salty sea water is used during fishing in the waters of the World Ocean (3.5% NaCl), Black (1.8% NaCl), Azov (1.3% NaCl) and other seas. It is pumped by pumps, whose impellers are made of gray chagnon, the failure time of which does not exceed 3000 hours. Even under worst conditions, pumps that pump tomato sauce, which include cooking salt and vinegar, work, making this environment extremely aggressive even in relation to stainless steel. The failure rate for these pumps is between 1800 and 2000 hours.

It is shown that the primary cause of the cavitation and erosion wear of the flow part of the pumps is the microscopic cyclic action of the liquid and its corrosion activity. This predetermines the fatigue nature of the destruction of alloys.

An experimental installation was developed to study the process of cavitation and erosion wear and the choice of materials for the manufacture of impeller wheels. On it, using a magnetic-vibrating vibrator, the mechanical loading of the surfaces of the impeller impellers and the corrosive effects of the media are carried out.

The ferromagnetic resonance method has shown that the medium changes the surface energy of the parts, which affects the discharge of dislocations in the thin surface layer of the parts. In the presence of chlorides in water, the corrosion resistance even of stainless austenitic steels sharply decreases due to the draining and embrittlement of the metal surface.

It is shown that with prolonged exposure to cavitation, dislocations form a cluster, at the head of which there are stresses exceeding the shear strength, which leads to the destruction of surfaces. This process is repeated cyclically. The intensity of hardening and hardening depend on the concentration of sodium chloride.

The intensity of cavitation and erosion wear can be determined using the structural-energy theory, the validity of which is confirmed in this paper. Therefore, it should be introduced into the practice of designing pumps for the fish processing industry.

Details of pumps, in contact with a solution of sodium chloride is advisable to be made of titanium and high-chromium steels.

**Key words: sea water, saline solution, working wheels, fatigue failure, cavitation, erosion, embrittlement, wear-resistant materials**