

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ КАВИТАЦИОННОГО ИЗНАШИВАНИЯ

CRITERIA FOR THE SELECTION OF COATINGS IN THE CAVITATION WEAR

С. Чернега

НТУУ "КПИ", Украина

М. Красовский

НТУУ "КПИ", Украина

Й. Атанасова

ТУ-Габрово, България

Abstract

In this work brand new conceptual approach is offered for creation of the cavitationstable coverages, which bases on the development of the criteria of choice coverages and technology of the r receipt. Physical ctiterial choice of protective materials is based on the analysis of waves processes that take place at distribution of shock waves duting the cavitation. The materials criteria of optimization the structure and composition are based on principles of theory of wear and allow to estimate firmness of coverages in the conditions of the cavitation, taking into account their mechanical descriptions is hardness and cracking.

Keywords: cavitation, corrosion, protective coating, carbides, borides.

ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствование конструкций машин и механизмов, работающих в потоке жидкости приводит к ускорению скорости их движения и, как следствие, к усилению разрушения в результате кавитации. Кавитационная долговечность деталей может быть существенно повышена за счет применения материалов, устойчивых к кавитации [1]. Поскольку кавитационное разрушение развивается на поверхности детали, альтернативой объемному легированию может быть создание кавитационно-коррозионно стойких покрытий на дешевых углеродистых сталях.

Несмотря на успехи в мировой и отечественной науке по разработке кавитационно-стойких легированных сплавов, практически отсутствует комплексная система выбора материала покрытий, оптимизации их структуры и целенаправленного управления свойствами покрытий.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В работе предложены физические и материаловедческие критерии выбора состава

и структуры покрытий. На основе анализа высокоскоростных ударных явлений обоснован выбор материала кавитационно-стойких однослойных и многослойных покрытий путем учета его физических характеристик, влияющих на акустическое сопротивление материала: модуль Юнга (E), скорость звука (c), плотность (ρ).

Показано, что критерием кавитационной стойкости защитных покрытий является выполнение соотношения между величинами акустического сопротивления покрытия ($\rho_c \cdot c_c$), матрицы ($\rho_m \cdot c_m$) и кавитирующей жидкости ($\rho_l \cdot c_l$): $\rho_l \cdot c_l < \rho_c \cdot c_c > \rho_m \cdot c_m$. Это в случае однослойных покрытий. В случае многослойных покрытий следующая зависимость: $\rho_l \cdot c_l < \rho_{c1} \cdot c_{c1} > \rho_{c2} \cdot c_{c2} < \rho_{c3} \cdot c_{c3} > \rho_{c4} \cdot c_{c4} \dots < \rho_{cn} \cdot c_{cn} > \rho_m \cdot c_m$. По результатам экспериментальных исследований установлено, что диффузионные покрытия на основе карбидов переходных металлов хрома, ванадия и титана и легированных соответственно хромом или ванадием боридов железа обеспечивают высокую степень защиты металлической матрицы в условиях кавитации.

Теоретически обоснованы требования к минимальной толщине защитного слоя покрытия h_c , которая обеспечивает затухание ударных волн в покрытии. Это способствует предотвращению возникновения отражения ударной волны от границы раздела фаз и, как следствие, устраняет возможность инициирования зарождения поперечных подповерхностных трещин, которые отвечают за износ. Минимальная толщина защитного слоя (h_c) рассчитывается из неравенства:

$$h_c > 2d \frac{C_c}{C_l} \quad (1)$$

Где d – диаметр кумулятивной струи жидкости, который возникает в результате схлопывания пузырька (по данным испытаниям $d = 1, 2 \text{ } \mu\text{m}$). Неравенство базируется на законе сохранения количества движения при переходе через границу раздела фаз. Таким образом h_c – минимальная толщина слоя материала, которая позволяет не учитывать отражения ударных волн в защитном слое.

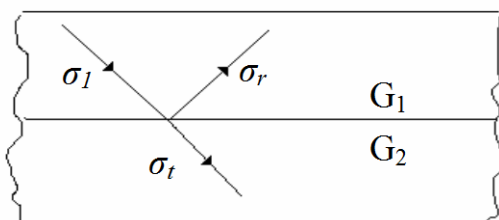


Рис. 1. Распространение волн напряжения в покрытии и подкладке

Теоретические оценки толщины защитного покрытия, выполненные по уравнению (1), подтверждено результатом эксперимента по кавитационному износу диффузионных карбидных, боридных и газотермических плазменных и детонационных покрытий систем: Ni – Cr – Al – J, 12X18H9T – TiB₂ – VC, 12X18H9T – TiB₂ – CrB₂. Результаты экспериментов показали, что толщина диффузионных карбидных покрытий, обеспечивающая высокую кавитационную стойкость находится на уровне 20 – 25 μm .

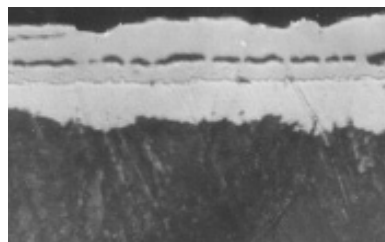
Если неравенство (1) не выполняется,

необходимо учитывать явление отражения ударных волн от межфазных границ (рис.1, рис. 2).

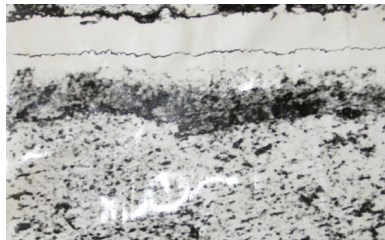
Ослабление напряжений при переходе через межфазную границу в нижний слой можно выразить через соотношения акустических сопротивлений ($\rho \cdot c$) слоев покрытия:

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_r} = \frac{2G_2}{(G_2 - G_1)} \quad (2)$$

Где σ_r – напряжение отраженной волны, а σ_t – напряжение волны, прошедшей в нижний слой. $G_1 = \rho_1 \cdot c_1$ – акустическое сопротивление верхнего слоя, $G_2 = \rho_2 \cdot c_2$ – акустическое сопротивление нижнего слоя.



а)



б)

Рис. 2. Структура карбидного покрытия на основе Nb-V (а) и Cr (б)

Если $G_2 \ll G_1$, то наблюдается почти полное отражение импульса, если же $G_2 \approx G_1$, то напряжение почти полностью передается через границу следующему слою. Таким образом в покрытиях со слоистым строением импульс напряжения может быть разделен и более ослаблен по сравнению с однородным слоем. Однако это возможно только при достаточной адгезии слоев.

Выполнение предложенных критериев, основанных на физике ударных явлений, является необходимым условием для выбора кавитационностойких защитных покрытий.

Оценка структуры и напряженного состояния покрытий определяет материаловед-

ческие критерии проектирования кавитационно-стойких защитных покрытий.

В работе предложено оценивать работоспособность материалов покрытий в микроударных условиях в кавитации, используя общие принципы теории изнашивания [2-4]. Исходя из этих соображений, оценка кавитационного износа материалов проводилась по характеристикам твердости, как мере пластичности материала, и трещиностойкости, которая является мерой вязкости разрушения материала.

На основе проведенных экспериментов (рис.3) получена эмпирическая зависимость износа от трещиностойкости (K_{lc}) и микротвердости (H_μ) исследованных материалов:

$$\frac{d\left(\frac{G}{\rho}\right)}{dt} K_{lc}^m H_\mu^n = const = A \quad (3)$$

где G – потеря массы ; $d(G/\rho)/dt$ - потеря объема V в единицу времени; m, n - показатели степени, A – постоянная величина, связывающая указанные механические характеристики со значением износа при кавитации.

Определение показателей степени m, n и параметра A проводили по результатам исследований кавитационного износа покрытий: $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , VC , ZrC , Nb , Ti , $(Zr - Cr)C$, $(Si - Cr)C$. Поскольку в теории износа зависимость скорости износа dV/dt от энергии гидравлического удара (E) и механических характеристик материала (трещиностойкости K_{lc} и микротвердости H_μ) записывается в виде:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dE/dt}{K_{lc}^m H_\mu^n} \quad (4)$$

из сравнения выражений (3) и (4) следует, что параметр A характеризует энергетические затраты на процесс кавитационного износа.

Для определения показателей m и n при построении зависимости (3), использовали минимизацию функционала:

$$f(m,n) = \sum_{i=1}^k [\Delta G_i - (K_{lc})_i^m \cdot (H_\mu)_i^n]^2 \quad (5)$$

Параметры m и n , определяющих минимум $f(m,n)$, вычисляли при помощи комбинации методов общего и случайного поиска и метода наименьших квадратов [7, 8]. После линеаризации уравнения (5) получили зависимость:

$$\Delta G = A(K_{lc})^m \cdot (H_\mu)^n, \quad (6)$$

и с помощью метода наименьших квадратов определяли как значение m и n , так и величину A . В результате получили следующие значения коэффициентов:

$$A = 1,953; m = -0,733; n = -0,384.$$

Как указано выше, коэффициент A отображает мощность удара и является константой, определенной для конкретной экспериментальной установки или условий испытаний.

Таким образом, уравнение, связывающее кавитационный износ покрытий с характеристиками их трещиностойкости и микротвердости имеет вид:

$$\Delta G = 1,953 K_{lc}^{-0,733} \cdot H_\mu^{-0,384}. \quad (7)$$

Зависимость износа покрытий при кавитации (ΔG) от обратной величины произведения параметров трещиностойкости и микротвердости ($K_{lc}^{-0,733} \cdot H_\mu^{-0,384}$) представлена на Рис. 3. Видно, что с увеличением величины произведения ($K_{lc}^{-0,733} \cdot H_\mu^{-0,384}$) износостойкость покрытий уменьшается по линейному закону.

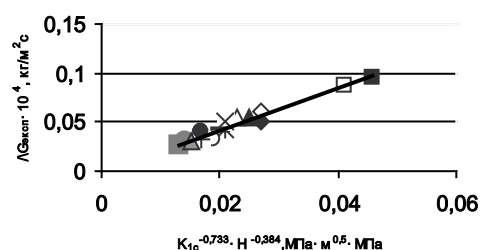


Рис 3. Зависимость кавитационного изнашивания покрытий на стали 45 (продолжительность испытания 3 часа в водопроводной воде) от величины произведения характеристик микротвердости и трещиностойкости: ($K_{lc}^{-0,733} \cdot H_\mu^{-0,384}$): Ti (+); Zr (-); Nb (♦); $(V - Cr)C$ (○); $SiCr(-)$; FEB (◇); Fe_2B (Δ); $(Fe, Cr)B$ (x); $(Fe, Cr)_2B$ (●); $12X18H9T-Ti_2-VC$ (■); $12X18H9T-Ti_2-Cr_2$ (□); $12X18H9T-Ti_2-Cr_2+Л.О.$ (ж); $12X18H9T-Ti_2-VC+Л.ППО$ (▲); $Cr_{23}C_6$ (■); VC (●); $(Zr - Cr)C$ (▲). M^2

Карбидные покрытия по мере уменьшения износа при кавитации располагаются в ряд:

$(V-Nb)C \rightarrow NbC \rightarrow ZrC \rightarrow (V-Cr)C \rightarrow TiC \rightarrow (Nb-Cr)C \rightarrow (Zr-Cr)C \rightarrow VC \rightarrow Cr_xC_y$.

Следует отметить, что этот ряд полностью согласуется с рядом, построенным за произведением ($K_{IC}^{-0,733} \bullet H_{\mu}^{-0,384}$), (рис.3). Оценка износа материала при кавитации только по параметру микротвердости не коррелирует с измеренными величинами кавитационного износа боридных, карбидных, а так же газотермических покрытий, что установлено нашими исследованиями и данными, описанными в литературе. Математическая зависимость позволяет оценивать кавитационный износ различных классов покрытий по параметрам микротвердости и трещиностойкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретически обоснованы требования к минимальной толщине защитного слоя покрытия h_c , которая обеспечивает затухание ударных волн в покрытии. Результаты экспериментов показали, что толщина диффузионных карбидных покрытий, обеспечивающая высокую кавитационную стойкость находится на уровне 20 – 25 μm

2. Показано, что критерием кавитационной стойкости защитных покрытий является

выполнение соотношения между величинами акустического сопротивления покрытия ($\rho_c \bullet c_c$), матрицы ($\rho_m \bullet c_m$) и кавитирующей жидкости ($\rho_l \bullet c_l$): $\rho_l \bullet c_l < \rho_c \bullet c_c > \rho_m \bullet c_m$.

3. Получена эмпирическая зависимость износа от трещиностойкости (K_{Ic}) и микротвердости (H_{μ}) исследованных материалов.

4. Предложен ряд карбидных покрытий по мере уменьшения износа при кавитации: $(V-Nb)C \rightarrow NbC \rightarrow ZrC \rightarrow (V-Cr)C \rightarrow TiC \rightarrow (Nb-Cr)C \rightarrow (Zr-Cr)C \rightarrow VC$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] К.М. Прис. Эрозия. Москва: Мир 1982.-360с.
- [2] A.G. Evans and E.A.Charles, Am. Ceram.Soc. 1976, v59, No 7/8,371p
- [3] A.G. Evans and T.R.Wilshaw, Acta Metall, 1976, v24, No10, 936p
- [4] E.A.Almond, Mater. Sci. Technol., 1986, v2, No 7, 641p
- [5] С.М. Чернега, Изв. высш. учебн. завед. Черн. металл, 2000, №7, 50-54с.
- [6] С.М. Чернега, Порошк. металл., 1998, №7/8, 36-40с.
- [7] Г.Реклейтис, А.Рейвидран, К. Рэгсдэл, Оптимизация в технике.М: Мир.1986.-280с.
- [8] Т.Шуп, Решение инженерных задач на ЭВМ. Москва: Мир.1982.-340с.