



КАВИТАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

А. А. Гошев, С. Н. Капустин, «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова»
г. Архангельск, Россия, e-mail: agoshev@hotmail.com

В работе представлены результаты дефектообразования и разрушения структуры материалов гребных винтов (маркированной бронзы и стали) в результате кавитационного воздействия. В качестве источника кавитационного воздействия был использован ультразвуковой диспергатор. Методами электронной, зондовой микроскопии оценён характер и эволюция дефектов с течением времени. Представлены зависимости средней шероховатости поверхности от времени кавитационного воздействия. Определён более кавитационно стойкий материал.

кавитация, электрокоррозия, гребной винт, дефекты, ультразвук, шероховатость, сканирующая зондовая микроскопия СЗМ, сканирующая электронная микроскопия ЭСМ

Одной из актуальных проблем в современном судостроении и судоремонте является повышение долговечности и продление срока эксплуатации группы критических деталей (элементов винтов, валов, турбин). Кавитация и электрокоррозия являются одними из основных причин разрушения винт-пропеллеров морских судов [1–3] (рис. 1). Стадия динамики возникновения и эволюции дефектов в наномасштабе наименее изучена с точки зрения механизма кавитационного действия. Изменяя время и режимы воздействия кавитации на образцы, авторы проследили за динамикой появления и развития дефектов. Это позволило выявить основные механизмы разрушения и провести сравнительный анализ исследуемых материалов для разработки рекомендаций по их использованию в судостроении и судоремонте.



Рисунок 1 – Гребной винт-пропеллер, выведенный из эксплуатации: характерные дефекты вблизи ступицы и нагнетателя есть следствие электрокоррозийного и кавитационного воздействия

Метод исследования, предложенный авторами, заключается в том, что рассматриваемые образцы сплавов металлов, используемых для производства гребных винтов, подвергаются кавитационному воздействию посредством ультразвукового магнитострикционного вибрационного пьезоэлектрического возбудителя кавитационного

воздействия. Образец располагался в водной среде на фиксированном расстоянии от источника кавитации. Данная методика позволила имитировать в лабораторных условиях один из механизмов дефектообразования и произвести моделирование разрушений поверхности гребных винтов морских судов. Состояние поверхности, изменение рельефа и шероховатости вследствие появления дефектов различного вида нанометрового разрешения контролировалось методами электронной и сканирующей зондовой микроскопии (ЭСМ, СЗМ) согласно подходу [3–4]. Совокупность данных методов исследования позволила выявить временную динамику и отличительные механизмы разрушений материалов.

На основе приведённой выше методики было проведено исследование образцов сплавов металла (коррозионностойкая сталь марки 08X18H10T (AISI 321) и винтовая бронза марки БрА9Ж4Н4), подвергнутых кавитационному воздействию различной продолжительности. На рис. 2 представлена зависимость средней шероховатости поверхности образца (R_a) рассчитанной в соответствии с формулой:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

в зависимости от времени кавитационного воздействия. Для этих целей в качестве средства измерения и визуализации (рис. 3, 4) использовалась СЗМ.

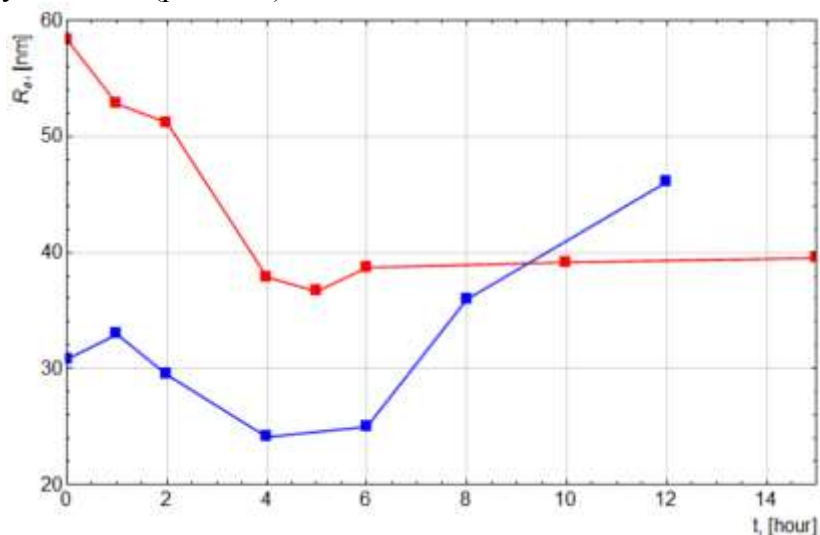


Рисунок 2 – Зависимость средней шероховатости поверхности образца от времени кавитационного воздействия: ■ – стали и ■ – бронзы

Приведённые результаты позволяют заключить, что на ранних стадиях кавитационное воздействие шлифует образцы металла, устраняя первоначальные неровности и за 5 ч уменьшит их среднюю шероховатость для стали и бронзы в 1,6 и 1,3 раза соответственно. Затем кавитация начинает вносить разрушительный вклад в поверхность образцов, увеличивая шероховатость стали со скоростью 0,28 нм/ч последующие 10 ч и бронзы со скоростью 3,1 нм/ч в течение 7 ч. Таким образом, винтовая бронза менее устойчива к длительному кавитационному воздействию.

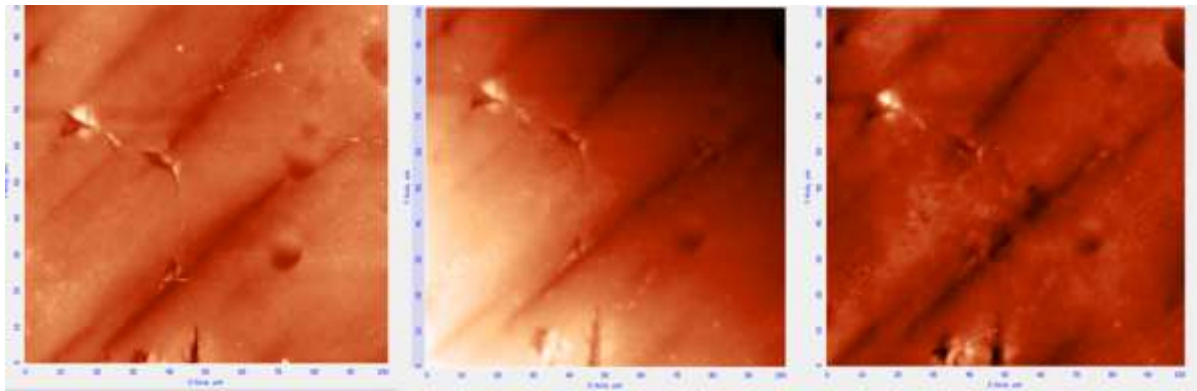


Рисунок 3 – СЗМ изображение поверхности образца стали после 0, 5, 15 ч кавитационного воздействия соответственно

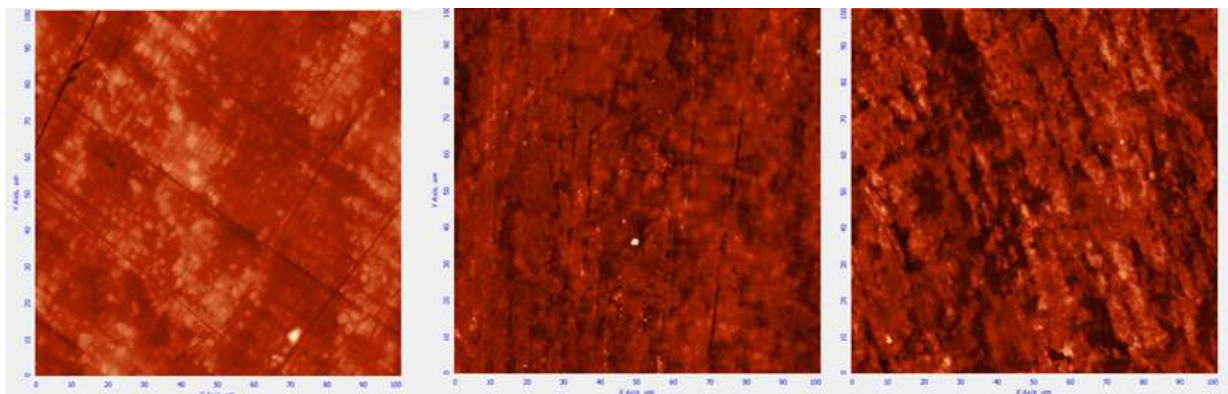


Рисунок 4 – Изображение ЭСМ поверхности образца бронзы после 0, 6, 12 ч кавитационного воздействия соответственно

На рис. 3, 4 приведены изображения поверхности методом СЗМ микроскопии исследуемых образцов. Дефектообразование стального образца происходит локально с дальнейшим уширением и «расползанием» по образцу. Начальные микродефекты также получают развитие. Для бронзового образца (рис. 4) дефектообразование носит статистический (нелокальный) характер. Уже после 6 ч воздействия отчётливо наблюдается увеличение пористости поверхности. С течением времени пористость разрастается и уже после 12 ч воздействия поверхность сильно отличается от исходной.

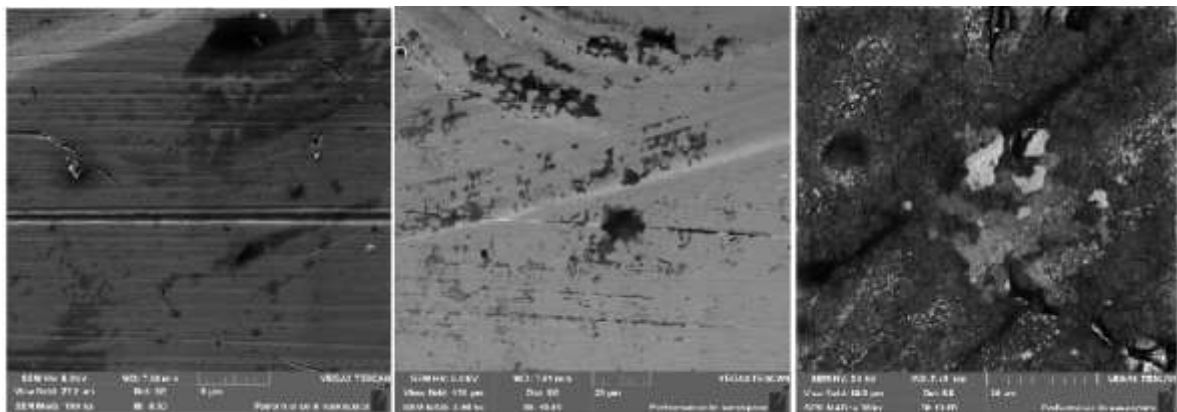


Рисунок 5 – Изображение ЭСМ поверхности образца стали после 0, 5, 15 ч кавитационного воздействия соответственно

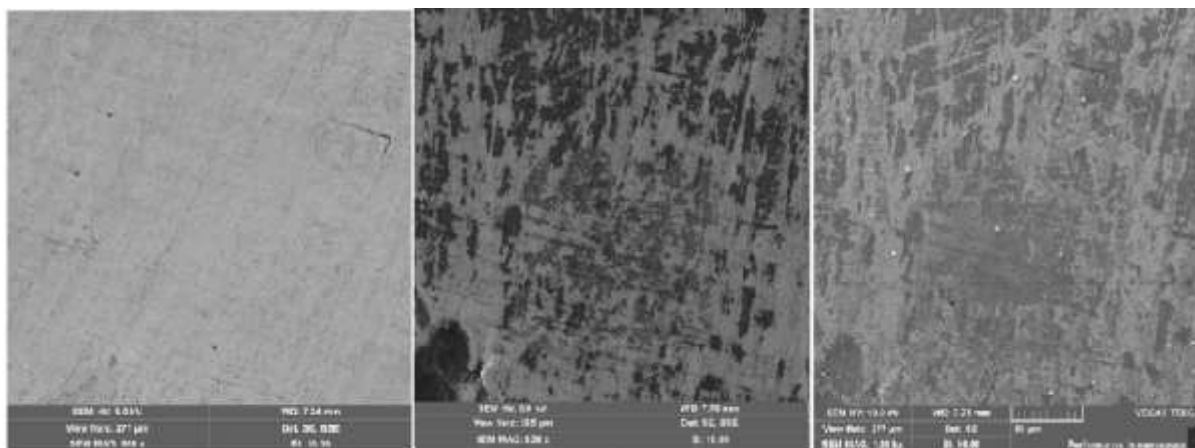


Рисунок 6 – Фото ЭСМ участок бронзового образца после кавитационного воздействия 0, 6, 10 ч соответственно

Данные ЭСМ микроскопии на рис. 5, 6 подтверждают сделанные ранее выводы. Этапы разрушений стали носят отличный от бронзы характер. Наблюдается образование одиночных пузырей и каверн на поверхности с диаметром до 100 нм через час ультразвуковой дисперсии.

В заключение отметим, что авторами была разработана методика изучения динамики развития дефектов в структуре металлов гребных винтов за счет кавитационного воздействия в гидродинамической среде. Проведены исследования эволюции дефектов на примере двух распространённых в судостроительной отрасли материалов: коррозионностойкая сталь марки 08X18H10T (AISI 321), винтовая бронза БрА9Ж4Н4. Представлены результаты СЗМ и ЭСМ динамики развития дефектов. Выявлены характерные особенности дефектообразования. Определено, что сталь является более кавитационно стойким покрытием по отношению к бронзе.

Работа была поддержана проектом Российского фонда фундаментальных исследований № 17-42-290138 «Динамика развития дефектов в структуре металлов вследствие кавитационного и коррозионного действия в гидродинамических средах».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георгиевская, Е. П. Кавитационная эрозия гребных винтов и методы борьбы с ней / Е. П. Георгиевская. – Ленинград: Судостроение, 1978. – 120 с.
2. Буравова, С. Н. Повреждаемость поверхности при кавитационной эрозии / С. Н. Буравова // Журнал технической физики. – 1998. – Т. 68, № 9.
3. Приходько, В. М. Влияние ультразвуковой кавитации на состояние поверхностного слоя азотированной стали / В. М. Приходько [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – С.55-59.
4. Есеев, М. К. Динамика развития дефектов на наноуровне при кавитационном разрушении металлов в гидродинамических средах / М. К. Есеев, А. А. Гошев, С. Н. Капустин // VII международная конференция «деформация и разрушение материалов и наноматериалов». (7-10 ноября 2017 г): материалы. – Москва, 2017. – С.36.

CAVITATIONAL MECHANISM OF DEFECTIVE FORMATION AND DESTRUCTION MATERIALS OF REAR SCREWS

A.A.Goshev, S.N. Kapystin, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
PhD, e-mail: agoshev@hotmail.com

Results of defect formation and destruction of water propeller's material structure (labelled bronze and steel) as a result of cavitation are presented in the work. A ultrasonic disperser was used as a source of cavitation. The character and evolution of defects over the course of time were evaluated using the methods of electronic and probe microscopy. Dependences of the average surface roughness on the duration of cavitation are presented. The material of the highest resistance to cavitation was identified.

cavitation, electrocorrosion, screw propeller, defects, ultrasound, roughness, scanning probe microscopy SPM, scanning electron microscopy of ESM