

УДК 629.12:532.528

## Анализ геометрии вмятин на поверхности лопастей гребных винтов при кавитационном изнашивании

Ю.Н. Цветков, Е.О. Горбаченко, Я.О. Фиактистов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»,  
ул. Двинская, д. 5/7, г. Санкт-Петербург 198035, Россия.

Поступила в редакцию 04.06.2020.

После доработки 09.11.2020.

Принята к публикации 10.11.2020.

Проведены измерения шуповым методом профиля нескольких вмятин на гребном винте диаметром около 2500 мм. Установлено, что преимущественным механизмом воздействия при кавитации является удар струй, происходящий под углом к поверхности лопастей. Диаметр струй достигает 5 мм, а скорость удара — нескольких сот метров в секунду, при этом деформация материала вмятин от единичных ударов струй достигает 10 %, а глубина вмятин — 0,3 мм. При таких глубинах вмятин толщина наклёпанного слоя под поверхностью очага износа может составлять 3 мм и более, что заставляет по-иному оценивать вклад электрохимической коррозии в общий износ гребных винтов при кавитации. При испытании винтовых сплавов на кавитационный износ на ультразвуковых магнитострикционных вибраторах замена пресной воды на морскую является необоснованной: коррозионное действие морской воды может привести к пластифицированию поверхностного слоя металла вследствие облегчения разрядки дислокаций. На гребных винтах такое маловероятно, так как глубины наклёпа поверхностного слоя лопастей на два порядка больше толщины пластически деформированного слоя, получаемого в опытах на ультразвуковых вибраторах.

**Ключевые слова:** лопасть гребного винта, алюминиевая бронза, кавитационное изнашивание, ударная струя, кавитационная вмятина, профиль вмятины, глубина вмятины, диаметр струй, скорость удара.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-1-33-41

---

**Адрес для переписки:**

Ю.Н. Цветков  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»,  
ул. Двинская, д. 5/7, г. Санкт-Петербург 198035, Россия  
e-mail: yuritsvet@mail.ru

**Для цитирования:**

Ю.Н. Цветков, Е.О. Горбаченко, Я.О. Фиактистов.  
Анализ геометрии вмятин, образующихся на поверхности лопастей гребных винтов при кавитационном изнашивании. Трение и износ. 2021. — Т. 42, № 1. — С. 33–41.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-1-33-41

---

**Address for correspondence:**

Y.N. Tsvetkov  
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Dvinskaya st., 5/7, Saint-Petersburg 198035, Russia  
e-mail: yuritsvet@mail.ru

**For citation:**

Y.N. Tsvetkov, E.O. Gorbachenko, and Y.O. Fiaktistov.  
[Analysis of the Geometry of the Dents Formed on the Ship Propellers Blades Surface in Cavitation Wear].  
*Trenie i Iznos*. 2021, vol. 42, no. 1, pp. 33–41 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-1-33-41

# Analysis of the Geometry of the Dents Formed on the Ship Propellers Blades Surface in Cavitation Wear

Y.N. Tsvetkov, E.O. Gorbachenko, Y.O. Fiaktistov

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Dvinskaya st., 5/7, Saint-Petersburg 198035, Russia.*

*Received 04.06.2020.*

*Revised 09.11.2020.*

*Accepted 10.11.2020.*

## Abstract

The examination of the dents, formed on the ship bronze propellers blades in cavitation attack, was implemented. The measurements of a few dents profile was executed by stylus method on the ship propeller about 2500 mm in diameter. The predominant mechanism of the cavitation attack on blades surface is impacts of the jets, generated by the cavitation cavities collapse, the jets velocity being directed at an angle with respect to the surface. The diameter of the jets reaches 5 mm, and their velocity — a few hundred meters per second, at the same time the strain of the dents material reaches 10 %, and the dents depth — 0,3 mm. Such a depth means that the thickness of the plastically deformed layer under the cavitation wear zone can reach 3 mm and more, that forces one to evaluate the corrosion contribution into the total cavitation wear in a different way. In testing the propellers alloys for cavitation wear on an ultrasonic vibratory apparatus, the substitution of the fresh water for the sea one seems to be ungrounded: the corrosive attack of the sea water can result in plasticizing the surface layer of the metal due to the easier discharge of dislocations onto the surface. The latter is unlikely in the case of propeller cavitation wear, as the depth of the cold hardening of the blades is two orders of magnitude greater than the depth of a plastically deformed layer, produced by cavitation attack on ultrasonic vibratory apparatus.

**Keywords:** ship propeller blade, aluminum bronze, cavitation wear, impact jet, cavitation dent, dent profile, dent depth, jet diameter, jet velocity.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-1-33-41

---

### Адрес для переписки:

Ю.Н. Цветков  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»  
ул. Двинская, д. 5/7, г. Санкт-Петербург 198035, Россия  
e-mail: yuritsvet@mail.ru

### Для цитирования:

Ю.Н. Цветков, Е.О. Горбаченко, Я.О. Фиактистов.  
Анализ геометрии вмятин, образующихся на поверхности лопастей гребных винтов при кавитационном изнашивании.  
Трение и износ.  
2021. — Т. 42, № 1. — С. 33–41.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-1-33-41

---

### Address for correspondence:

Y.N. Tsvetkov  
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping  
Dvinskaya st., 5/7, Saint-Petersburg 198035, Russia  
e-mail: yuritsvet@mail.ru

### For citation:

Y.N. Tsvetkov, E.O. Gorbachenko, and Y.O. Fiaktistov.  
[Analysis of the Geometry of the Dents Formed on the Ship Propellers Blades Surface in Cavitation Wear].  
*Trenie i Iznos*.  
2021, vol. 42, no. 1, pp. 33–41 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-1-33-41

## Список использованных источников

1. **Sreedhar B.K., Albert S.K., and Pandit A.B.** Cavitation Damage: Theory and Measurements. — A Review // *Wear*. — 2017 (**372—373**), 177—196
2. **Kumar P. and Saini R.P.** Study of Cavitation in Hydro Turbines — A Review / *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2010 (**14**), 374—383
3. **Gravalos I., Kateris D., Xyradakis P., and Gialamas Th.** Cavitation Erosion of Wet-Sleeve Liners: Case Study // *Journal of Middle European Construction and Design of Cars (MECCA)*. — 2006 (**IV**), no. 3, 10—16
4. **Георгиевская Е.П.** Кавитационная эрозия гребных винтов и методы борьбы с ней. — Л.: Судостроение. — 1978
5. **Фомин В.В.** Гидроэрозия металлов. — М.: Машиностроение. — 1977
6. **Горбаченко Е.О., Цветков Ю.Н.** Использование результатов измерения шероховатости поверхности для прогнозирования долговечности материалов гребных винтов при кавитационном изнашивании // *Труды Крыловского государственного научного центра*. — 2019 (**4**), № 390, 53—66
7. **Preece C.M. and Brunton J.H.** A Comparison of Liquid Impact Erosion and Cavitation Erosion // *Wear*. — 1980 (**60**), 269—284
8. **Брантон Дж., Рочестер М.К.** Эрозия при ударе жидких капель / В кн. *Эрозия под ред. К. Прис*. — М.: Мир. — 1982, 201—268
9. **Tabor D.** The Hardness and Strength of Metals // *Journal of the Institute of Metals*. — 1951 (**79**), no. 1, 1—18
10. **Козырев С.П.** Гидроабразивный износ металлов при кавитации. — М.: Машиностроение. — 1971

## References

1. **Sreedhar B.K., Albert S.K., and Pandit A.B.** Cavitation Damage: Theory and Measurements — A Review // *Wear*. — 2017 (**372—373**), 177—196
2. **Kumar P. and Saini R.P.** Study of Cavitation in Hydro Turbines — A Review / *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2010 (**14**), 374—383
3. **Gravalos I., Kateris D., Xyradakis P., and Gialamas Th.** Cavitation Erosion of Wet-Sleeve Liners: Case Study // *Journal of Middle European Construction and Design of Cars (MECCA)*. — 2006 (**IV**), no. 3, 10—16
4. **Georgievskaya Y.P.** Kavitatsionnaya eroziya grebnykh vintov i metody borby s ney. — L.: Sudostroyeniye. — 1978
5. **Fomin V.V.** Gidroeroziya metallov. — M.: Mashinostroeniye, 1977
6. **Gorbachenko E.O., Tsvetkov Y.N.** Ispolzovaniye rezultatov izmereniya sherohovatosti poverhnosti dlya prognozirovaniya dolgovechnosti materialov grebnykh vintov pri kavitatsionnom iznashivanii // *Trudy Krilovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*. — 2019 (**4**), № 390, 53—66
7. **Preece K.M. and Brunton J.H.** A Comparison of Liquid Impact Erosion and Cavitation Erosion // *Wear*. — 1980 (**60**), 269—284
8. **Brunton J.H., Rochester M.C.** Erosion of Solid Surfaces by the Impact of Liquid Drops // *Treatise on Material Science and Technology*. V. 16, Erosion, edited by Preece C.M. — New York, London: Academic Press. — 1979, 185—248
9. **Tabor D.** The Hardness and Strength of Metals // *Journal of the Institute of Metals*. — 1951 (**79**), no. 1, 1—18
10. **Kozyrev S.P.** Gidroabrazivnyi iznos metallov pri kavitatsii. — M.: Mashinostroeniye. — 1971

**Образец цитирования:** Цветков Ю.Н., Горбаченко Е.О., Фиактистов Я.О. Анализ геометрии вмятин на поверхности лопастей гребных винтов при кавитационном изнашивании // *Трение и износ*. 2021. Т. 42. №1. С. 33—41.

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул.Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
Full text of articles can be purchased from the editorial office.  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050 Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)