

МЕТАЛЛЫ И ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУЙНОГО КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 30Л И 20ГЛ¹

© 2022 г. А. Б. Тхабисимов^а, *, О. С. Зилова^а, К. Д. Скобелев^а, О. В. Калакуцкая^а

^аМИРЭА – Российский технологический университет, просп. Вернадского, д. 78, Москва, 119454 Россия

*e-mail: thabisimov@mirea.ru

Поступила в редакцию 09.09.2021 г.

После доработки 21.11.2021 г.

Принята к публикации 24.11.2021 г.

Работа посвящена исследованию динамики изменения шероховатости поверхности конструкционных сталей 30Л и 20ГЛ при кавитационном воздействии струи жидкости во время испытаний согласно стандарту ASTM G134-17. Метод исследования базировался на изучении параметров рельефа и динамики разрушения приповерхностного слоя образцов сталей с использованием металлографического анализа и построением 3D-карт изношенных поверхностей. Представлены кинетические кривые износа, проанализировано изменение фрактограмм и рельефа поверхности с увеличением времени испытаний. На основе изменения профиля поверхности и оценки параметров шероховатости выявлена кинетика износа исследуемых сталей. Показано, что в промежуток времени, характеризующийся максимальной скоростью износа, происходят резкий рост шероховатости после окончания инкубационного периода и замедление ее роста по достижении колеблющихся, почти постоянных значений ее параметров при установившейся скорости износа. Полученный диапазон значений параметров шероховатости в области кавитационной каверны 15–20 мкм для стали 30Л и 20–25 мкм для стали 20ГЛ в течение периода с установившейся скоростью износа может быть обусловлен удалением слоя постоянной толщины, зависящей от микроструктуры исследуемых материалов. Результаты работы могут быть использованы для прогнозирования кавитационного разрушения элементов гидротурбин и центробежных насосов, изготовленных из литых сталей, на основе фиксации изменения параметров шероховатости их функциональных поверхностей в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: гидроэнергетика, струйная кавитация, кавитационное разрушение, конструкционные стали, шероховатость поверхности, профилометрия, микроскопия

DOI: 10.1134/S0040363622060078

Последствием кавитационного воздействия воды является разрушение рабочих поверхностей рабочих колес и деталей статоров гидротурбин и насосного оборудования. Возникновение кавитации приводит к увеличению гидравлических потерь, снижению мощности и КПД агрегатов. До сих пор остаются актуальными изучение физических причин возникновения и развития кавитации [1–3], установление закономерностей износа оборудования [4–6] на основе экспериментальных исследований и создание теоретических моделей в целях последующей оценки эффективно-

сти разрабатываемых и применяемых методов защиты.

На сегодняшний день большой объем научных работ связан с исследованием возникновения и поведения кавитационных полостей (пузырьков) [7–10], а также динамики разрушения различных материалов [11–13] и способов их упрочнения [14–16]. Особое внимание уделяется кобальтовым, никелевым, алюминиевым и титановым сплавам, композиционным материалам, легированным и нелегированным сталям, цветным металлам. Значительное число работ посвящено исследованию кавитационной стойкости конденсационных и диффузионных покрытий, в том числе покрытий и материалов (например, стеллита [17]), стойких к ударно-динамическому воздействию.

¹ Работа выполнена в рамках инициативной НИР по теме “Проведение исследований в области повышения теплогидравлических характеристик и износостойкости функциональных поверхностей энергетического оборудования”.

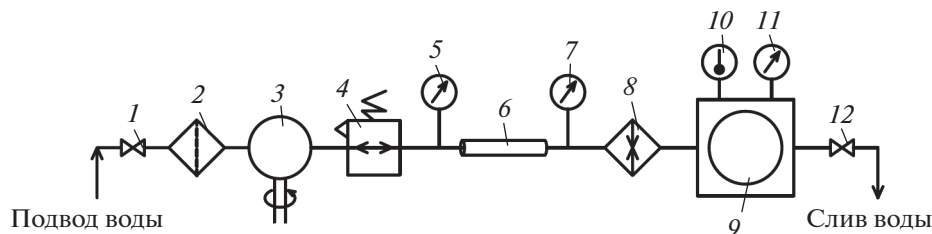


Рис. 1. Схема кавитационного стенда.

1 – игольчатый вентиль; 2 – фильтр высокого давления; 3 – насос; 4 – регулятор давления; 5, 7, 11 – манометр; 6 – эластичная трубка; 8 – теплообменник; 9 – испытательная камера; 10 – термометр; 12 – сливной вентиль

Наиболее распространенными методиками оценки кавитационного износа оборудования являются:

структурно-энергетический подход при оценке долговечности материалов с использованием уравнений механики при анализе процессов износа;

оценка износостойкости по характеристикам поверхностной усталости и энергоемкости материалов;

сопоставление теоретических зависимостей с опытными данными, осложненное одновременным протеканием коррозионных процессов;

определение относительной глубины кавитационных каверн на поверхности с построением кинетической кривой в виде интеграла вероятностей;

выявление критерия разрушения по диаграммам прочности и твердости.

Хорошо зарекомендовал себя метод исследования изменения профиля поверхности и выявления кинетики износа на основе оценки параметров шероховатости [13, 18–21]. Изучение параметров рельефа [22] и динамики разрушения приповерхностного слоя материала с использованием металлографического анализа и 3D-карт изношенных поверхностей позволяет выявить характер развития происходящих процессов для последующего их прогнозирования.

Задачей проведенного в данной работе исследования являлось определение влияния струйного кавитационного воздействия на изменение характеристик поверхности литых сталей 20ГЛ и

30Л при выполнении испытаний в соответствии со стандартом ASTM G134-17.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальный стенд по изучению кавитационной эрозии конструкционных материалов и защитных покрытий (рис. 1) относится к тому типу струйных кавитационных установок, испытания на которых выполняются согласно стандарту ASTM G134-17. Стенд предназначен для проведения исследований кавитационной стойкости конструкционных материалов, изучения физической природы и основных закономерностей кавитационного износа. Испытания на струйном кавитационном стенде моделируют механическое воздействие на поверхность конструкционных материалов микроструек жидкости или ударных волн при полостной и профильной кавитации рабочих колес гидротурбин и центробежных насосов. Погруженная под воду кавитирующая струя жидкости, выпускаемая из сопла, сталкивается с поверхностью образца таким образом, что полости (кавитационные пузырьки) внутри жидкости схлопываются, тем самым вызывая разрушение поверхности.

В качестве объекта исследований в данной работе были выбраны конструкционные стали 20ГЛ и 30Л, широко используемые для изготовления ответственных элементов проточных частей гидротурбин и центробежных насосов, к которым предъявляются требования повышенной прочности и высокого сопротивления износу. Химический состав сталей приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав, %, сталей 30Л и 20ГЛ

Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Fe
30Л	0.27–0.35	0.20–0.52	0.4–0.9	Не более 0.045	Не более 0.04	Остальное
20ГЛ	0.15–0.25	0.2–0.4	1.2–1.6	Не более 0.04	Не более 0.04	Остальное

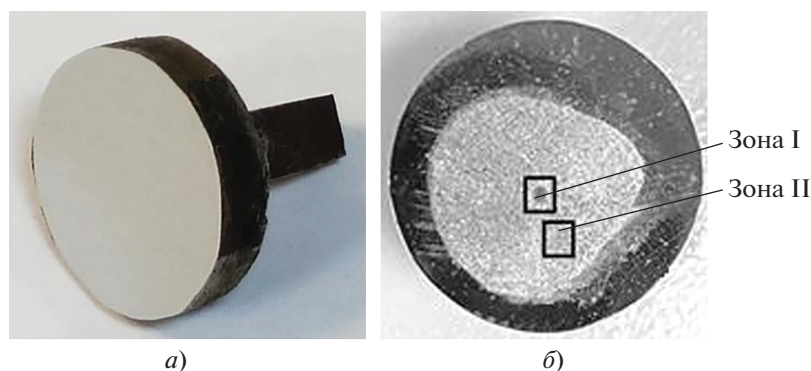


Рис. 2. Характерный вид образца до кавитационного воздействия (а) и после него (б)

Из сталей 20ГЛ и 30Л изготавливали экспериментальные образцы в виде цилиндров диаметром 20 мм с прямоугольной “ножкой” для крепления в державке (рис. 2, а). Поверхность образцов полировали до шероховатости $Ra = 0.04–0.06$ мкм.

Для исследования разрушения поверхности образцов в области кавитационного воздействия были выделены характерные зоны (рис. 2, б):

зона I, расположенная на оси сопла (в ядре струи) — зона максимального износа, в которой наблюдались образование и рост кавитационной каверны;

зона II, в которой происходили небольшая деградация поверхности и унос материала.

После окончания испытаний исследовали состояние поверхности образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа и механического стилусного профилометра. Для определения характера разрушения поверхности использовали изображения (размер областей сканирования составлял от 100 мкм до 6 мм) в режиме вторичных (SE) и обратно отраженных (BSE) электронов. На профилометре измеряли профили. Для определения глубины износа и параметров шероховатости были построены 3D-карты поверхности. Размер зон сканирования при построении 3D-карт составлял 2.5–3.0 мм. Шероховатость и глубину деформаций определяли внутри каверны (зона I) и вне ее (зона II). При этом внутри каверны оценку параметров шероховатости проводили после вырезания из полученной 3D-карты соответствующего участка поверхности и удаления наклона и кривизны с использованием программного обеспечения профилометра. По высотным параметрам шероховатости в соответствии с ГОСТ [23] оценивали среднее арифметическое отклонение профиля Ra и высоту неровностей профиля по десяти точкам Rz . По шаговым параметрам шеро-

ховатости рассчитывали средний шаг неровностей профиля Sm . Определяли также параметры шероховатости, связанные с расшифровкой кривой опорной поверхности [24], которые описывают поверхность как трехкомпонентную, состоящую отдельно из выступов (характеризуется средней высотой единичных вершин, выступающих над сердцевинной профилем, Rpk), основного профиля (характеризуется глубиной сердцевины профиля Rk) и впадин (характеризуется средней высотой единичных впадин, находящихся под сердцевинной профилем, Rvk).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Испытания образцов сталей 20ГЛ и 30Л проводили в режиме, обеспечивающем максимальный износ. Время испытаний t варьировалось в диапазоне от 15–30 до 210–240 мин. Далее приведены значения параметров испытаний:

Давление перед соплом, МПа	18
Число кавитации	0.0055
Расстояние от сопла до образца, мм	15
Диаметр сопла, мм	0.85
Рабочая жидкость	Очищенная вода

Полученные в процессе испытаний данные (рис. 3) свидетельствуют о том, что имеются характерные периоды кавитационного износа сталей 20ГЛ и 30Л: инкубационный, с максимальной и установившейся скоростями износа. Выявлена лучшая стойкость стали 30Л к струйному кавитационному воздействию по сравнению со стойкостью стали 20ГЛ: увеличение длительности инкубационного периода почти в 2 раза и снижение скорости износа до 1.5 раза в условиях проведенного эксперимента.

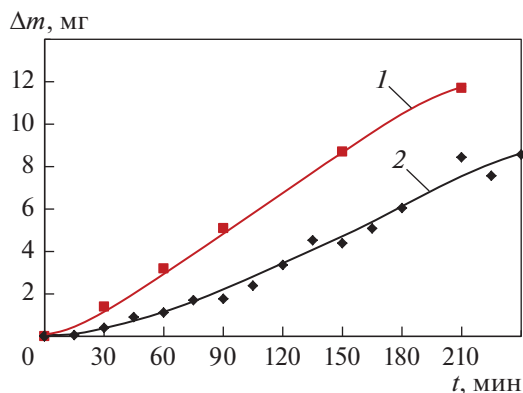


Рис. 3. Зависимость массы уноса Δm от продолжительности эксперимента t для сталей 20ГЛ (1) и 30Л (2)

Разница в кинетике разрушения исследуемых сталей нашла подтверждение и при качественном анализе динамики разрушения зоны I, который был проведен с использованием SEM-изображений и 3D-карт поверхности образцов. Характер разрушения материала в зоне I для обеих сталей показан в табл. 2.

Изменение шероховатости и возникновение деформаций в зоне II наблюдались с постоянной

динамикой, но с отсутствием каверн и развивающихся признаков разрушения, поэтому основное внимание было направлено на исследование динамики разрушения поверхности в зоне I. Характерные изображения разрушения поверхности исследуемых сталей в зоне I показали, что в течение инкубационного периода на поверхности с локальными разрушениями образуются вмятины, а по границе и внутри ядра кавитирующей струи – малые каверны. На протяжении периода с максимальной скоростью износа глубины образовавшихся малых каверн росли, происходило их локальное объединение, был зафиксирован унос материала и разрушенная поверхность приобретала губчатое строение. Для периода установившейся скорости износа характерно возникновение сформировавшейся разрушенной области (диаметром до 2 мм) с проникающей внутрь (глубиной до 200 мкм) каверной.

Топограммы вмятин на поверхности стальных листов размером 2.5×2.5 мм, полученные с использованием 3D-карт, показаны на рис. 4. Область кавитационного воздействия занимает 50–60% площади образца, средний диаметр кавитационной каверны на участке с установившейся скоростью износа составляет не более 10% диа-

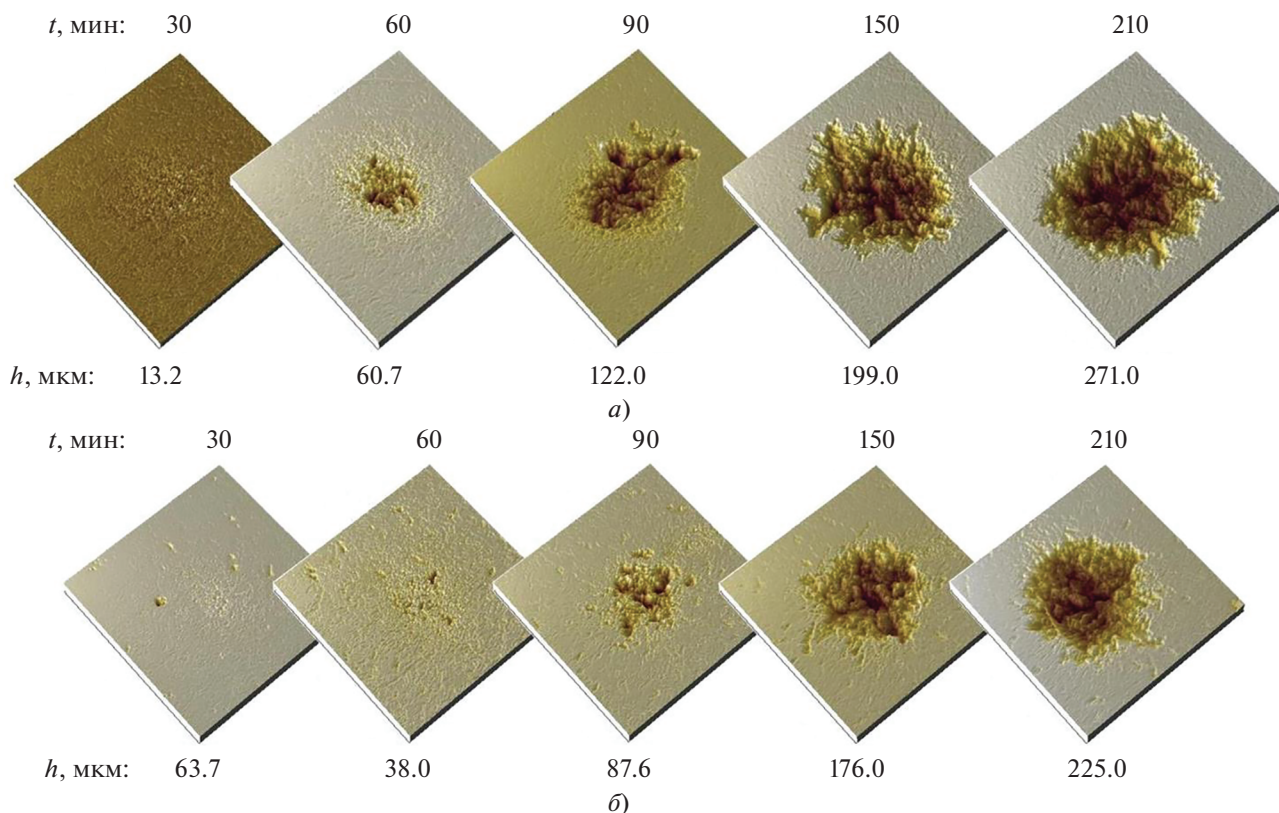
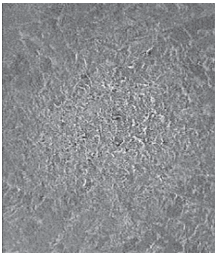
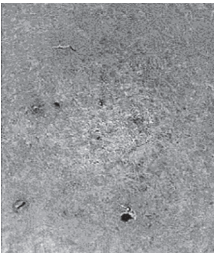
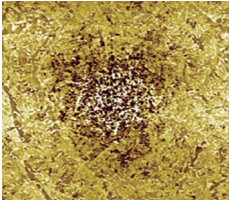
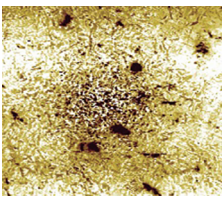
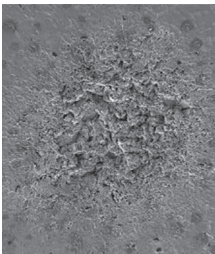
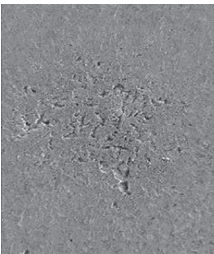
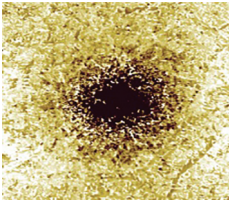
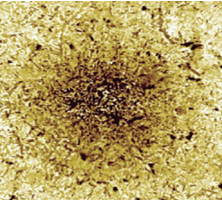
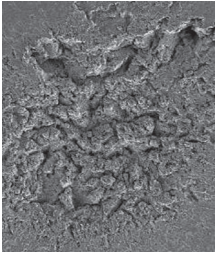
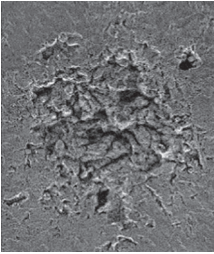
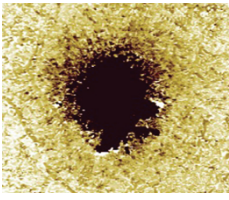
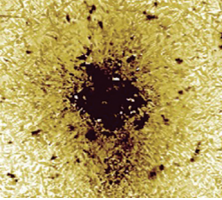
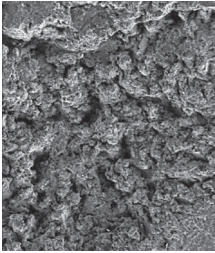
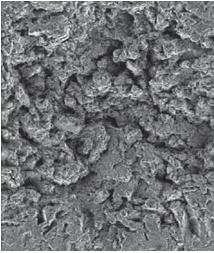
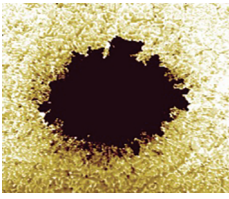
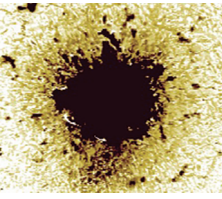
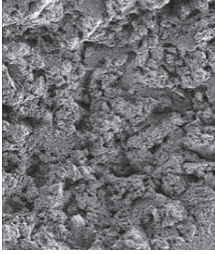
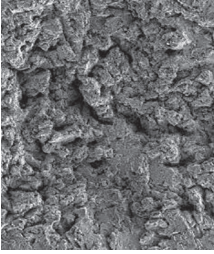
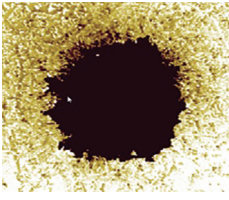
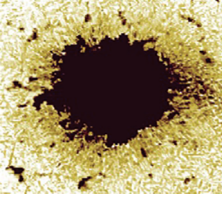


Рис. 4. Изменение рельефа поверхности сталей 20ГЛ (а) и 30Л (б) в зоне I

Таблица 2. Разрушение поверхности сталей 20ГЛ и 30Л в области попадания ядра кавитирующей струи

t , мин	SEM-изображение		3D-карта	
	20ГЛ	30Л	20ГЛ	30Л
30				
60				
90				
150				
210				

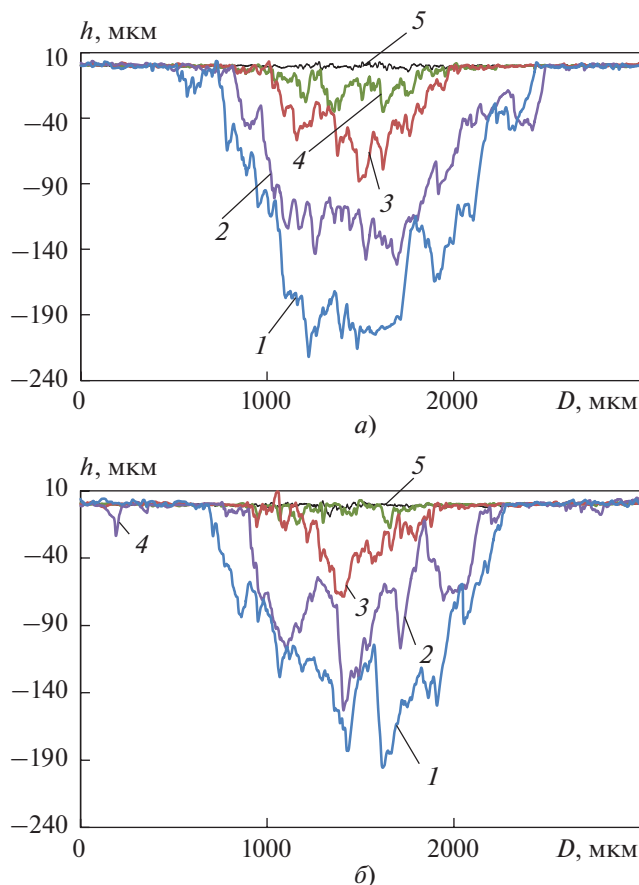


Рис. 5. Зависимость глубины каверны от ее диаметра для сталей 20ГЛ (а) и 30Л (б) в зоне I. t , мин: 1 – 210; 2 – 150; 3 – 90; 4 – 60; 5 – 30

метра образца. Характер износа для двух исследуемых сталей практически идентичен и различается началом его возникновения и последующим развитием формы и размера образующейся кавитационной каверны.

Вследствие максимальной интенсивности схлопывания пузырьков вблизи поверхности в ядре кавитирующей струи кавитационное воздействие в зоне I обладает ярко выраженными следами пластической разрозненной деформации в течение инкубационного периода. За это время наложение нескольких импульсов в одном месте не происходит и точечные повреждения на поверхности не перекрывают одно другое. Форма и размер области кавитационной каверны с учетом динамики ее расширения (роста диаметра D) и углубления (роста глубины каверны h) показаны на профилограммах (рис. 5) и сводном графике изменения данных параметров (рис. 6).

С увеличением времени испытаний наблюдается плавный переход от неповрежденной плос-

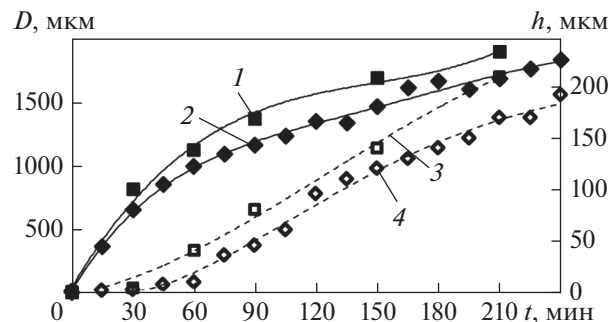


Рис. 6. Зависимость диаметра зоны наибольшего износа материала (1, 2) и глубины износа (3, 4) от времени для сталей 20ГЛ (1, 3) и 30Л (2, 4)

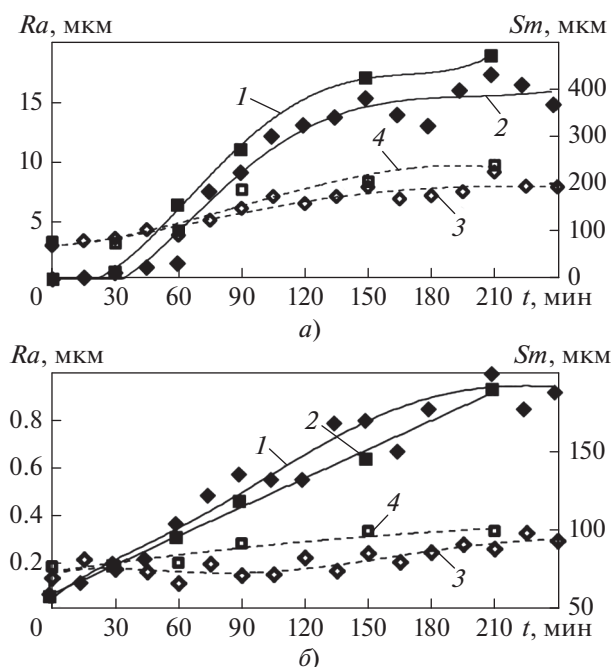


Рис. 7. Зависимость Ra для сталей 20ГЛ (1) и 30Л (2), Sm для сталей 30Л (3) и 20ГЛ (4) от времени в зонах I (а) и II (б)

кой полированной поверхности к постепенному углублению и развитию рельефа. Первоначально глубина образующейся каверны меньше, чем ее диаметр, затем картина меняется. При медленно растущем диаметре каверны ее глубина начинает увеличиваться. В свою очередь, необходимо заметить, что динамика роста диаметра и глубины кавитационной каверны коррелирует с полученными ранее сравнительными показателями кавитационной стойкости обеих сталей.

На рис. 7–9 показаны зависимости, характеризующие изменение шероховатости поверхности образцов сталей в зонах I, II.

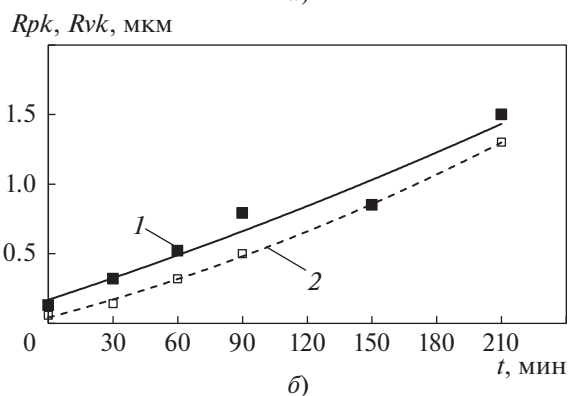
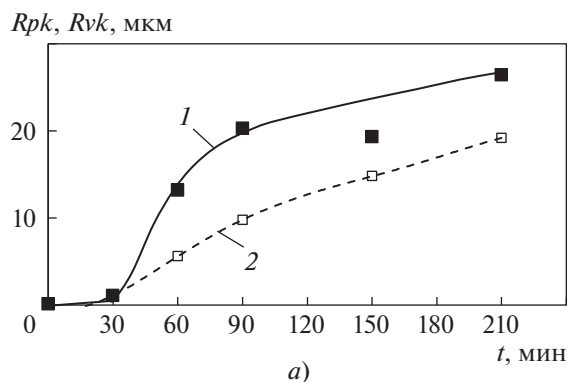


Рис. 8. Зависимость R_{vk} (1), R_{pk} (2) от времени для стали 20ГЛ в зонах I (а) и II (б)

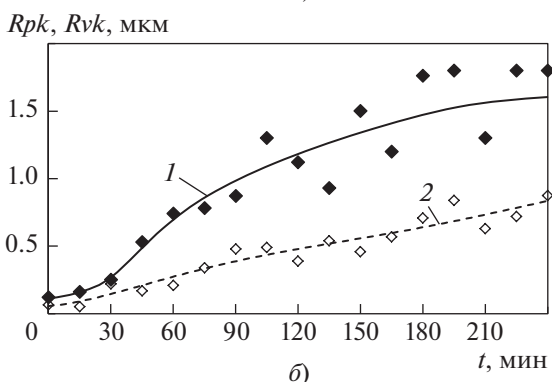
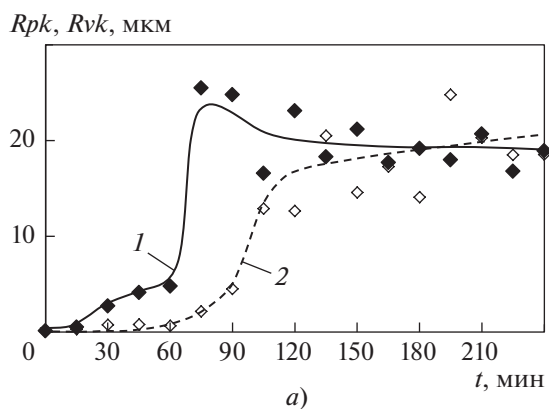
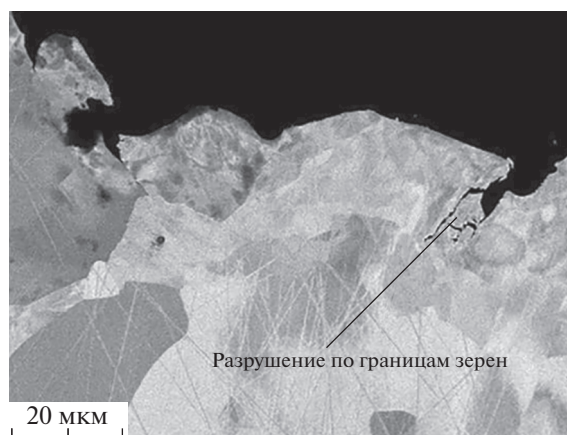
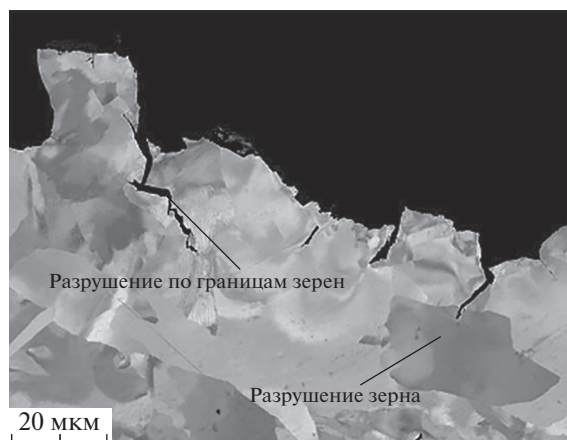


Рис. 9. Зависимость R_{vk} (1), R_{pk} (2) от времени для стали 30Л в зонах I (а) и II (б)



а)



б)

Рис. 10. Разрушение стали 20ГЛ (а) и 30Л (б) в зоне максимального кавитационного воздействия (зона I)

Выявлен резкий рост параметров шероховатости в зоне I после окончания инкубационного периода в течение периода с максимальной скоростью износа. В дальнейшем рост высотных и шаговых параметров шероховатости приостанавливается и достигает колеблющегося постоянного значения. Особенно ярко это проявляется у пиков и впадин поверхностей обеих сталей. Диапазон значений (в зоне I) от 15–20 мкм для стали 30Л и 20–25 мкм для стали 20ГЛ может быть обусловлен постоянной скоростью износа и удалением характерного слоя, что, возможно, зависит от микроструктуры материала. Имеющиеся, помимо преобладающих нормальных составляющих ударного импульса, касательные составляющие ударов способствуют раскачиванию и скалыванию частиц металла по межзеренной границе. Также может происходить внутризеренное разрушение, что хорошо видно на BSE-изображениях, полученных на поперечных шлифах (рис. 10).

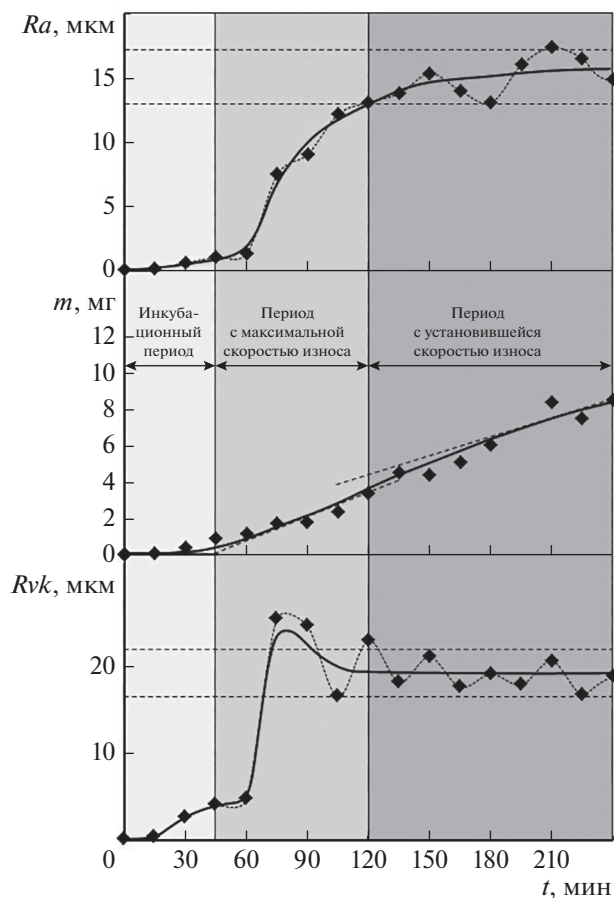


Рис. 11. Кинетика кавитационного износа и изменение параметров шероховатости стали 30Л

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В процессе исследований сталей 20ГЛ и 30Л было выявлено, что в течение инкубационного периода происходит пластическая деформация поверхности с образованием вмятин и малых каверн без уноса материала. Изменение параметров шероховатости на данном этапе незначительно (рис. 11). После окончания инкубационного периода в течение периода с максимальной скоростью износа одновременно начинают расти диаметр повреждаемой области и глубина кавитационной каверны, образовавшейся вследствие слияния малых каверн. Внутри каверны резко увеличиваются высотные характеристики шероховатости (Ra , Rvk) и средний шаг неровностей Sm , коррелирующий с шагом губчатой структуры, возникающей в разрушенной области. В течение периода с установившейся скоростью износа наблюдается удаление изнашивающегося слоя, скорости роста диаметра и глубины

износа становятся постоянными. Изменение параметров шероховатости при этом приостанавливается и достигает колеблющегося постоянного значения. Масса удаляемого слоя (за одно и то же время воздействия в период с установившейся скоростью износа), возможно, связана с микроструктурой исследуемых материалов и зависит от размера зерна. Характер изменения параметров шероховатости поверхности исследуемых сталей коррелирует с кинетикой кавитационного износа.

Выявленные закономерности могут быть использованы в процессе прогнозирования полостной и профильной кавитации рабочих колес гидротурбин и центробежных насосов, изготовленных из литых сталей, при условии мониторинга параметров шероховатости их поверхностей в течение эксплуатации и определения периода износа путем набора статистических данных и фиксации изменения параметров шероховатости.

На износ поверхности рабочего колеса оказывают влияние, помимо кавитации, коррозионное и абразивное воздействия. Отделение одного фактора от другого невозможно, но предложенный способ прогнозирования износа основного материала, где превалирует кавитационное воздействие, может быть применен при определении зон износа в совокупности с проведением необходимого в данном случае натурного эксперимента по выявлению статистики разрушения и изменений характеристик поверхности при конкретных условиях эксплуатации агрегата.

ВЫВОДЫ

1. Определение высотных и шаговых параметров рельефа поверхности позволяет выявить различные периоды процесса кавитационного разрушения сталей 20ГЛ и 30Л.
2. Колеблющиеся значения шероховатости поверхности в диапазоне 15–20 мкм для стали 30Л и 20–25 мкм для стали 20ГЛ при установившейся скорости износа могут быть обусловлены удалением слоя, масса которого зависит от микроструктуры исследуемых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прис К. Эрозия: пер. с англ. М.: Мир, 1982.
2. Brijkishore, Khare R., Prasad V. Prediction of cavitation and its mitigation techniques in hydraulic turbines: A review // Ocean Eng. 2021. V. 221. Is. 2. P. 10512.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108512>

3. **Родионов В.П.** Моделирование кавитационно-эрозийных процессов, возбуждаемых гидродинамическими струйными излучателями: дис. ... докт. техн. наук. М., 2004.
4. **Rao N., Thiruvengadam A.** Prediction of cavitation damage // *Trans. Am. Soc. Civil Eng.* 1962. V. 127. Is. 1. P. 309–334.
<https://doi.org/10.1061/taceat.0008455>
5. **Berchiche N., Franc J.P., Michel J.M.** A cavitation erosion model for ductile materials // *J. Fluids Eng.* 2002. V. 124. Is. 3. P. 601–606.
<https://doi.org/10.1115/1.1486474>
6. **Hattori S., Maeda K.** Logistic curve model of cavitation erosion progress in metallic materials // *Wear.* 2010. V. 268. Is. 7. P. 855–862.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.11.013>
7. **Experimental** investigation of cavitation-induced erosion around a surface-mounted bluff body / S. Jahan-gir, E. Ghahramani, M. Neuhauser, S. Bourgeois, R.E. Bensow, C. Poelma // *Wear.* 2021. V. 480–481. Is. 1. P. 203917.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203917>
8. **A new** cavitation model considering inter-bubble action / Y. Shi, K. Luo, X. Chen, D. Li, L. Jia // *Int. J. Naval Architecture Ocean Eng.* 2021. V. 13. P. 566–574.
<https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.05.005>
9. **Sagar H.J., Mocketar O.** Dynamics of a cavitation bubble near a solid surface and the induced damage // *J. Fluids Struct.* 2020. V. 92. P. 102799.
<https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2019.102799>
10. **Effect** of a single air bubble on the collapse direction and collapse noise of a cavitation bubble / Wei-Lin Xu, Jian-Bo Li, J. Luo, Yan-Wei Zhai // *Exp. Therm. Fluid Sci.* 2020. V. 120. P. 110218.
<https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110218>
11. **Krella A., Tekumalla S., Gupta M.** Influence of micro Ti particles on resistance to cavitation erosion of Mg-xTi composites // *Mech. Mater.* 2020. V. 154. P. 103705.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103705>
12. **Enhancement** of cavitation intensity and erosion ability of submerged cavitation jet by adding micro-particles / C. Peng, S. Tian, G. Li, M. Wei // *Ocean Eng.* 2020. V. 209. Is. 7. P. 107516.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107516>
13. **Advanced** damage resistance monitoring procedure on the composite materials' surface-exposed to cavitation testing / M.M. Vuksanović, M. Gajić-Kvaščev, T.V. Husović, R.J. Heinemann // *Wear.* 2021. V. 474–475. P. 20387.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203877>
14. **Cavitation** erosion and jet impingement erosion behavior of the NiTi coating produced by air plasma spraying / Z. Shi, J. Wang, Z. Wang, Y. Qiao, T. Xiong, Y. Zheng // *Coatings.* 2018. V. 8. Is. 10. P. 346.
<https://doi.org/10.3390/coatings8100346>
15. **Krella A.** Cavitation erosion of monolayer PVD coatings – An influence of deposition technique on the degradation process // *Wear.* 2021. V. 478–479. P. 203762.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203762>
16. **Петров А.И., Скобелев М.М., Ханычев А.Г.** Исследование сравнительной стойкости к кавитационной эрозии образцов материалов и покрытий проточной части гидромашин // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение.* 2015. № 2. С. 128–137.
17. **Correlation** between microstructural characteristics and cavitation resistance of Stellite-6 coatings on 17-4 PH stainless steel prepared with supersonic laser deposition and laser cladding / Q. Zhang, L. Wua, H. Zou, B. Li, G. Zhang, J. Sun, J. Wang, J. Yao // *J. Alloys Compd.* 2021. V. 860. P. 158417.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158417>
18. **Resistance** of curved surfaces to the cavitation erosion produced through high-pressure submerged waterjet / M. Zhou, H. Liu, C. Kang, X. Wei // *Wear.* 2019. V. 440–441. Is. 1. P. 203091.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203091>
19. **A study** on cavitation erosion behavior of AlSi10Mg fabricated by selective laser melting (SLM) / J. Zou, Y. Zhu, M. Pan, T. Xie, X. Chen, H. Yang // *Wear.* 2017. V. 376–377. P. 496–506.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.11.031>
20. **A study** on surface topography in cavitation erosion tests of AlSi10Mg / Y. Zhu, J. Zou, W.L. Zhao, X. Chen, H. Yang // *Tribol. Int.* 2016. V. 102. P. 419–428.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.06.007>
21. **Цветков Ю.Н., Горбаченко Е.О.** Исследование кавитационного изнашивания сталей методом измерения профиля поверхности // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* 2015. Т. 81. № 11. С. 62–65.
22. **The relation** between the high speed submerged cavitating jet behaviour and the cavitation erosion process / E. Hutli, M.S. Nedeljkovic, N.A. Radovic, A. Bonyár // *Int. J. Multiphase Flow.* 2016. V. 83. P. 27–38.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016>
23. **ГОСТ 2789-73.** Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. М.: Стандартинформ, 2006.
24. **ГОСТ Р ИСО 25178-2-2014.** Геометрические характеристики изделий. Структура поверхности. М.: Стандартинформ, 2015.

Investigation into the Influence of Jet Cavitation Impact on Changes in Characteristics of the Surface of Structural Steel 30L and 20GL

A. B. Tkhabisimov^{a, *}, O. S. Zilova^a, K. D. Skobelev^a, and O. V. Kalakutskaya^a

^a MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

*e-mail: thabisimov@mirea.ru

Abstract—The work is devoted to the study of the dynamics of changes in the surface roughness of structural steels 30L and 20GL under the cavitation effect of a liquid jet during tests according to the ASTM G134-17 standard. The research method was based on the study of the parameters of the relief and the dynamics of destruction of the near-surface layer of steel samples using metallographic analysis and the construction of 3D maps of worn surfaces. The kinetic curves of wear are presented, the change in fractograms and surface topography with increasing testing time is analyzed. Based on the change in the surface profile and the evaluation of the roughness parameters, the wear kinetics of the studied steels is revealed. It is shown that, in the period of time characterized by the maximum wear rate, there is a sharp increase in roughness after the end of the incubation period and a slowdown in growth upon reaching fluctuating, almost constant values of its parameters at a steady wear rate. The obtained range of roughness parameters in the region of the cavitation cavity of 15–20 μm for steel 30L and 20–25 μm for steel 20GL during the period with a steady wear rate can be due to the removal of a layer of constant thickness, depending on the microstructure of the materials under study. The results of the work can be used to predict the cavitation destruction of elements of hydraulic turbines and centrifugal pumps made of cast steels, based on fixing changes in the roughness parameters of their functional surfaces during operation.

Keywords: hydropower, jet cavitation, cavitation destruction, structural steels, surface roughness, profilometry, microscopy

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-79408 от 27 ноября 2020 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 10.12.2019 г.

Формат 60 × 88¹/₈

Тираж 301 экз.

Усл. печ. л. 9.53

Дата выхода в свет 28.02.2020 г.

Уч.-изд. л. 9.75

Цена свободная

Учредители: Российская академия наук,
Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

Издатель: ООО «ТЕМАТИЧЕСКАЯ РЕДАКЦИЯ»,
125252, г. Москва, ул. Зорге, д. 19, этаж 3, помещ. VI, комн. 44
Отпечатано в типографии «Book Jet» (ИП Коняхин А.В.),
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, 18, тел. (4912) 466-151