

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук,  
Быковой Татьяны Михайловны, на диссертационную работу Алвана Хуссама  
Лефта Алвана на тему «Повышение кавитационной стойкости поверхностей  
деталей нанесением защитных покрытий»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии

**Актуальность диссертационной работы.** Повышение долговечности и надежности деталей машин является одной из важных целей, к которой часто стремятся промышленные компании. Известно, что детали машин подвергаются различным видам износа во время работы. Это приводит к их разрушению, особенно поверхностных слоев, находящихся в непосредственном контакте с окружающей рабочей средой.

Известно, что кавитационный износ, является одним из серьезных поверхностных повреждений, часто наблюдаемых в машинах, работающих в жидких средах, таких как гидротурбины и насосы. В процессе кавитации образование и последующее захлопывание в потоке жидкости парогазовых пузырьков, сопровождающейся непрерывными гидравлическими микроударами высокой частоты и большими давлениями. При кавитации возникают шум, вибрация и происходит интенсивная эрозия рабочих поверхностей. Таким образом, Эффективным способом повышения стойкости поверхности деталей против кавитационной эрозии является нанесение специальных покрытий для упрочнения поверхностных свойств деталей.

Представленная диссертационная работа Алвана Х.Л.А. посвящена исследованию кавитационной эрозии ряда антикавитационных покрытий, нанесенных методами газотермического напыления и наплавки с целью повышения стойкости поверхностных слоев деталей против кавитации. Полученные результаты могут быть использованы для защиты от кавитационной эрозии, возникающей в лопатках крыльчаток насосов, работающих в системах охлаждения электростанции.

**Структура и основное содержание диссертационной работы.** Диссертационная работа изложена на 139 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения с общими выводами, списка литературы из 187 наименований российских и зарубежных источников.

*Во введении* обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, апробация результатов работы, описан личный вклад соискателя, количество публикаций и объем работы.

*Первая глава* представляет собой обзор научно-технической литературы по теме диссертационной работы, в которой рассмотрен кавитационный износ и его механизм разрушения, материалы для защиты металлических деталей от кавитации и способы получения покрытий из них. Кроме того, рассмотрены результаты существующих методик определения кавитационных испытаний.

Рассмотрено влияние мартенситного превращения на механические свойства сталей со структурой метастабильного аустенита.

*Вторая глава* посвящена описанию материалов исследования, используемых для кавитационных испытаний, методов и режимов нанесения покрытий. Приведены методики оценки поверхности исследованных образцов на основе исследования микроструктуры, фазового состава, профиля поверхности и механических свойств.

*Третья глава* описывает лабораторный комплекс, разработанный и реализованный для оценки кавитационной стойкости исследованных материалов. Глава включает описание, принцип и особенности предложенного лабораторного комплекса, отличающегося от стандартного метода испытания. В этой главе, также представлены режим и методика испытания на кавитационную стойкость.

*В четвертой главе* представлены результаты исследования стойкости материалов против кавитационной эрозии (кавитационные испытания). Проведена оценка шероховатости и топография поверхностей, анализ микроструктуры поверхностей образцов в исходном и изношенном состоянии. Исследованы механические свойства (микротвердости) и анализ рентген-дифрактограммы для подтверждения фазового мартенситного превращения ( $\gamma \rightarrow \alpha'$ ). На основе исследования комплекса свойств были установлены причины различной кавитационной стойкости исследованных материалов под действием кавитации. Показано, что наплавленный металл из метастабильной аустенитной стали 60X8TЮ, полученного наплавкой TIG, показал наилучшую стойкость против кавитации.

*Пятая глава* содержит описание применения результатов исследований на электростанции Дора (Багдад, Ирак). На основании полученных результатов проведен ряд лабораторных испытаний на кавитационную стойкость образцов, изготовленных из изношенных крыльчаток, используемых в системе охлаждения различных агрегатов электростанции.

*В разделе «Заключение»* диссертационной работы приведены основные результаты, показывающие достижения цели, поставленной в работе.

*Приложение* содержит справку о применении результатов исследований на электростанции Дора (Багдад, Ирак).

*Практическая значимость работы* определяется тем, что результаты исследований применительно к лопаткам насоса, используемого в системе охлаждения агрегатов теплоэлектростанции Дора (Багдад, Ирак), позволили рекомендовать наплавленное покрытие из метастабильной аустенитной стали 60X8TЮ (ППМ-6) и технологию его получения для реализации на электростанции. А также разработан лабораторный комплекс для испытаний на кавитационную стойкость металлических материалов. Устройство отличается от аналогов взаимным расположением образца и кавитационной струи, а также приложением напряжения к образцу, что позволяет ускорить испытания, повысить достоверность и стабильность результатов.

*Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертационной работы* сомнений не вызывает, так как они проведены на основе большого объема экспериментальных данных с использованием корректных методов

статистической обработки, повторяемостью результатов экспериментальных исследований. Использовано современное сертифицированное исследовательское оборудование. Результаты работы не противоречат общепринятым мировым представлениям о предмете исследования.

Результаты работы были обсуждены на российских и международных конференциях. По результатам диссертационной работы опубликованы 17 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ, 7 статей индексируются в базе данных Scopus, WOS, получен 1 патент РФ на изобретение.

*Научная новизна исследования заключается:*

- Установлена взаимосвязь между высокой стойкостью против кавитационного износа наплавленного металла из метастабильной аустенитной стали ППМ-6 и фазовыми превращениями ( $\gamma \rightarrow \alpha'$ ), происходящими при кавитационном нагружении (примерно в 4 и 10 раз выше по сравнению с E308L-17 и AISI 316L соответственно)

- Кавитационный износ не полностью коррелирует с твердостью. У покрытия ППМ-6 твердость ниже, чем у газотермических покрытий (WC-CoCr и WC-CrC-Ni) на 100-300 HV, а его стойкость против кавитационной эрозии выше ~ в 20 раз.

*Замечания по диссертационной работе.*

1. Чем обусловлен такой большой выбор исследованных материалов покрытий и методов их нанесения.
2. При определении кавитационной стойкости исследованных материалов, выраженной потерей массы и объема в зависимости от времени воздействия (рис. 4.2, стр. 62), Нужно конкретно указать моменты времени, при которых начинается кавитационное разрушение.
3. В 4 разделе текста диссертации в таблице 4.1 на стр. 64 фазы A1, A2 ...B3 не идентифицированы.
4. На рис. 4.12 (стр. 73 текста диссертации) приведены микрофотографии порошка WC-CrC-Ni, характеризующийся мелким размером частиц WC (не более 3,4 мкм), и порошка WC-CoCr характеризующийся более крупными размером частиц WC (до 4,7 мкм). В работе автор не указал, как и каким методом оценивали размер частиц.

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Алвана Х.Л.А. оценивается положительно, так как представляет собой законченное научное исследование, которое посвящено решению важной практической задачи и соответствует паспорту научной специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

*Заключение*

Диссертационное исследование Алвана Хуссама Лефта Алвана «Повышение кавитационной стойкости поверхностей деталей нанесением защитных покрытий» выполнено на высоком научно-техническом уровне, представляет собой законченную научную работу, имеет научную новизну и практическую значимость.

Основные результаты диссертации изложены в 17 научных работ, в том числе 10 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 8 статей индексируются в базе данных Scopus, WOS, получен 1 патент РФ на изобретение.

Диссертационная работы полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ», а ее автор Алван Хуссам Лефта Алван заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии.

Официальный оппонент:

Научный сотрудник лаборатории  
микромеханики материалов,  
Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт машиноведения имени Э.С.  
Горкунова Уральского отделения  
Российской академии наук

« 16 » июня 2022 г.

Быкова Татьяна Михайловна

*Подпись к.т.н. Быковой Т.М. заверено*  
*Зам. директора*  
*к.т.н. Касанцев*



620049, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34,  
Телефон: +7 (343) 362-30-43  
E-mail: [tatiana\\_8801@mail.ru](mailto:tatiana_8801@mail.ru)