

## ОТЗЫВ

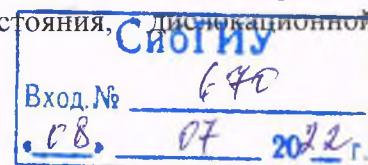
на автореферат диссертации Крюкова Романа Евгеньевича  
«ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ,  
СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ,  
ПОЛУЧАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ»,  
представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Крюкова Р.Е. посвящена установлению закономерностей формирования макро-, микроструктуры, структурно-фазовых состояний и свойств стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов, является актуальной.

Для достижения поставленной цели автором были решены следующие задачи: 1) теоретически обоснован механизм и физическая природа влияния углеродфторсодержащих материалов на свойства стальных сварных швов и наплавленных слоев электродуговых покрытий; 2) установлены закономерности влияния химического состава углеродфторсодержащих флюсовых материалов на структуру и физико-механические свойства металла сварных швов и наплавленных слоев, полученных электродуговым способом; 3) исследованы структурно-фазовые состояния электродуговых покрытий и установлены закономерности влияния химического состава на их физико-механические свойства; обоснован выбор рациональных составов наплавочных материалов для износостойких покрытий систем: Fe-C-Si-Mn-Cr-V-Mo и Fe-C-Si-Mn-Cr-W-V, работающих в условиях высоких температур и Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-V, Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V, Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V, работающих в условиях высокого абразивного износа; 4) методами современного сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии выявлены закономерности влияния углеродфторсодержащих материалов на структурно-фазовые состояния, дефектную субструктуру, морфологию поверхности разрушения сварных швов, электродуговых наплавов и покрытий из низкоуглеродистой стали; 5) разработаны физические основы промышленных технологий электродуговой сварки и наплавки с применением углеродфторсодержащих порошковых проволок и флюсов, обеспечивающих получение стальных сварных швов и наплаваемых покрытий с особыми свойствами (повышенной ударной вязкости при низких температурах, твердости, износостойкости); 6) проведена практическая апробация технологий сварки стальных резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении, наплавки деталей и изделий металлургического и горно-шахтного оборудования, эксплуатируемых при высоких температурах и в условиях высокого абразивного износа с использованием углеродфторсодержащих флюсов и порошковых проволок; 7) внедрены результаты диссертационного исследования в учебный процесс в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (СибГИУ).

С поставленными задачами диссертант успешно справился. Получен ряд важных результатов, вносящих вклад в развитие физики конденсированного состояния. Теоретически обосновано, что механизм и физическая природа влияния углеродфторсодержащих материалов на свойства металла сварных швов, наплавленных слоев и покрытий, полученных электродуговым способом, основаны на рафинирующем и газозащитном эффекте соединений фтора и углерода. Получены новые количественные данные, установлены механизмы упрочнения (формированием мартенситной структуры при самозакалке, твердорастворное, зернограничное, частицами вторых фаз), закономерности влияния химического состава электродуговых покрытий систем Fe-C-Si-Mn-Cr-V-Mo, Fe-C-Si-Mn-Cr-W-V, Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-V, Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V на их твердость и абразивную износостойкость. Вводимые в состав проволоки углерод, марганец, хром, молибден, никель, ванадий одновременно повышают твердость наплавленного слоя и уменьшают скорость износа образцов.

Впервые с использованием методов сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии проведены исследования структурно-фазового состояния,



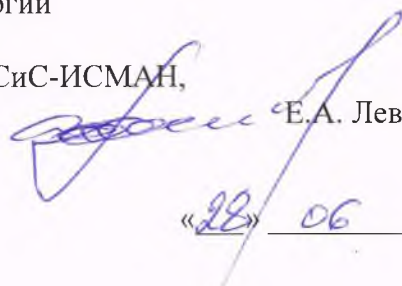
субструктуры и морфологии поверхности разрушения сварных швов и наплавов из низкоуглеродистой стали, полученных с применением углеродфторсодержащих материалов. Показано, что количество зерен второй фазы (карбиды, сульфиды, оксиды и т.д.) размером 0,25-2,5 мкм в 2 раза ниже, чем для обычной (без использования углеродфторсодержащих материалов) наплавки. Скалярная и избыточная плотность дислокаций в обычной наплавке выше, что обеспечивает повышенный вклад в упрочнение металла, а излом содержит микропоры, размеры которых в 1,8 раза меньше по сравнению с металлом сварных швов, выполненных без использования углеродфторсодержащих материалов, в них значительно меньше неметаллических включений и они менее хрупкие; количество (на единицу площади поверхности излома) несплошностей, микро- и макропор значительно меньше, чем в изломах металла обычной наплавки. Разработанные соискателем физические основы промышленных технологий электродуговой сварки и наплавки с применением углеродфторсодержащих материалов помогли создать новые материалы и способы их получения.

Результаты диссертационной работы достаточно полно апробированы на российских и международных научных конференциях, опубликованы в 48 статьях в журналах из Перечня ВАК и индексируемых в базах Web of Science, Scopus, а также в 2-х монографиях. Новизна решений подтверждена 20 патентами Российской Федерации.

По объёму выполненных исследований, актуальности и новизне результатов, их научному и практическому значению диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, а Крюков Р.Е. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заведующий кафедрой порошковой металлургии  
и функциональных покрытий,

Директор Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН,  
доктор технических наук, профессор

 Е.А. Левашов  
«28» 06 2022 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, 4, стр. 1.

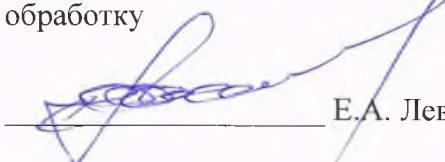
Левашов Евгений Александрович

Тел.: (495)638-4500, (499)236-5298, e-mail: [levashov@shs.misis.ru](mailto:levashov@shs.misis.ru)


Заведующий кафедрой ПМиФП, директор НУЦ СВС,

Специальность 01.04.17 и 05.16.06

Я, нижеподписавшийся, даю согласие на включение  
моих персональных данных в документы,  
связанные с защитой диссертационной работы  
Крюкова Романа Евгеньевича, и их дальнейшую  
обработку

 Е.А. Левашов



Подпись  Кузнецова А.Е.  
Зам. начальника  
отдела кадров МИСиС  
«28» 06 2022 г.