

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 2.6.01.04
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
НАУК**

от «26» декабря 2024 г. № 22

о присуждении Савраю Роману Анатольевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Анализ усталостной и контактно-усталостной прочности поверхностно упрочненных сталей и функциональных хромоникелевых покрытий» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите диссертационным советом УрФУ 2.6.01.04 «21» октября 2024 г. протокол № 14.

Соискатель, Саврай Роман Анатольевич, 1978 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Пластичность и сопротивление разрушению листовых высокопрочных экономнолегированных сталей с метастабильным аустенитом» защитил в 2003 г. в диссертационном совете, созданном на базе Уральского государственного технического университета;

работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН), г. Екатеринбург, в должности ведущего научного сотрудника и заведующего лабораторией конструкционного материаловедения (по внутреннему совместительству).

Диссертация выполнена в лаборатории конструкционного материаловедения отдела физических проблем машиностроения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук, Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, **Макаров Алексей Викторович**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева

Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория механических свойств, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Салищев Геннадий Алексеевич – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», кафедра материаловедения и нанотехнологий, профессор;

Симонов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра металловедения, термической и лазерной обработки металлов, заведующий кафедрой;

Мерсон Дмитрий Львович – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет», Научно-исследовательский институт прогрессивных технологий, директор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет более 200 научных трудов, в том числе по теме диссертации опубликовано 50 научных работ, из них 32 статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 30 статей в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science; 5 патентов РФ на изобретения и полезные модели. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 26,64 п.л., авторский вклад – 7,18 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ

1. Makarov A. V. Mechanical properties and fracture upon static tension of the high-carbon steel with different types of pearlite structure / A. V. Makarov, R. A. Savrai, V. M. Schastlivtsev, T. I. Tabatchikova, L. Yu. Egorova // Physics

- of Metals and Metallography. – 2007. – V. 104. – Is. 5. – P. 522-534. (0,81 п.л./0,16 п.л.) (WoS, Scopus)
2. Makarov A. V. Specific features of magnetic testing of the mechanical properties of high-carbon steel with the structure of lamellar pearlite / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, E. S. Gorkunov, T. I. Tabatchikova // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2007. – V. 43. – Is. 7. – P. 436-445. (0,63 п.л./0,16 п.л.) (WoS, Scopus)
 3. Makarov A. V. Magnetic and electromagnetic inspection of mechanical properties of high-carbon steel with an initial fine-pearlite structure subjected to high-temperature annealing / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, E. S. Gorkunov, T. I. Tabatchikova, S. A. Rogovaya, L. Yu. Egorova // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2008. – V. 44. – Is. 2. – P. 117-131. (0,94 п.л./0,16 п.л.) (WoS, Scopus)
 4. Makarov A. V. Effect of friction-induced hardening on the features of magnetic and eddy-current behavior of an annealed structural steel under cyclic loading conditions / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, E. S. Gorkunov, I. Yu. Malygina, L. Kh. Kogan, N. A. Pozdejeva, Yu. M. Kolobylin // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2008. – V. 44. – Is. 7. – P. 496-508. (0,81 п.л./0,12 п.л.) (WoS, Scopus)
 5. Savrai R. A. Behavior of pearlite of various morphologies during cyclic tension / **R. A. Savrai**, A. V. Makarov, V. M. Schastlivtsev, T. I. Tabatchikova, I. L. Yakovleva, L. Yu. Egorova // Russian Metallurgy (Metally). – 2010. – V. 2010. – Is. 4. – P. 310-315. (0,37 п.л./0,07 п.л.) (Scopus)
 6. Саврай Р. А. Модуль упругости перлитной стали и его изменение при циклическом нагружении / **Р. А. Саврай**, А. В. Макаров, В. М. Счастливец, Т. И. Табатчикова, И. Л. Яковлева, Л. Ю. Егорова // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – № 7. – С. 15-19. (0,31 п.л./0,06 п.л.)
 7. Makarov A. V. Effect of hardening friction treatment with hard-alloy indenter on microstructure, mechanical properties, and deformation and fracture features of constructional steel under static and cyclic tension / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, N. A. Pozdejeva, S. V. Smirnov, D. I. Vichuzhanin, L. G. Korshunov, I. Yu. Malygina // Surface and Coatings Technology. – 2010. – V. 205. – No. 3. – P. 841-852. (0,75 п.л./0,11 п.л.) (WoS, Scopus)

8. Makarov A. V. Structural features of the behavior of a high-carbon pearlitic steel upon cyclic loading / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, V. M. Schastlivtsev, T. I. Tabatchikova, I. L. Yakovleva, L. Yu. Egorova // *Physics of Metals and Metallography*. – 2011. – V. 111. – Is. 1. – P. 95-109. (0,94 п.л./0,16 п.л.) (WoS, Scopus)
9. Макаров А. В. Влияние фрикционной и комбинированных деформационно-термических обработок на трибологические и механические свойства закаленной конструкционной стали / А. В. Макаров, Н. А. Поздеева, **Р. А. Саврай**, А. С. Юровских, И. Ю. Малыгина // *Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук*. – 2011. – Т. 13. – № 4(3). – С. 799-804. (0,37 п.л./0,08 п.л.)
10. Gorkunov E. S. Magnetic inspection of fatigue degradation of a high-carbon pearlitic steel / E. S. Gorkunov, **R. A. Savrai**, A. V. Makarov, S. M. Zadvorkin, I. Yu. Malygina // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2011. – V. 47. – Is. 12. – P. 803-809. (0,44 п.л./0,09 п.л.) (WoS, Scopus)
11. Makarov A. V. Magnetic and eddy-current testing of hardened constructional steel subjected to combined strain-thermal treatment / A. V. Makarov, E. S. Gorkunov, **R. A. Savrai**, Yu. M. Kolobylin, L. Kh. Kogan, N. A. Pozdejeva, I. Yu. Malygina // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2012. – V. 48. – Is. 12. – P. 673-685. (0,81 п.л./0,12 п.л.) (WoS)
12. Makarov A. V. The influence of a combined strain-heat treatment on the features of electromagnetic testing of fatigue degradation of quenched constructional steel / A. V. Makarov, E. S. Gorkunov, **R. A. Savrai**, L. Kh. Kogan, A. S. Yurovskikh, Yu. M. Kolobylin, I. Yu. Malygina, N. A. Davydova // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2013. – V. 49. – Is. 12. – P. 690-704. (0,94 п.л./0,12 п.л.) (WoS, Scopus)
13. Egorova L. Yu. Relation between the structure and the pitting corrosion resistance of hypereutectoid U10 steel / L. Yu. Egorova, **R. A. Savrai**, V. V. Berezovskaya, A. V. Makarov, V. M. Schastlivtsev, T. I. Tabatchikova, E. A. Merkushev // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2014. – V. 2014. – Is. 1. – P. 49-54. (0,38 п.л./0,05 п.л.) (Scopus)
14. Makarov A. V. Structure, mechanical characteristics, and deformation and fracture features of quenched structural steel under static and cyclic loading after

- combined strain-heat nanostructuring treatment / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, E. S. Gorkunov, A. S. Yurovskikh, I. Yu. Malygina, N. A. Davydova // *Physical Mesomechanics*. – 2015. – V. 18. – Is. 1. – P. 43-57. (0,94 п.л./0,16 п.л.) (WoS, Scopus)
15. Savrai R. A. Eddy-current testing of fatigue degradation under contact loading of NiCrBSi coatings obtained through gas–powder laser cladding / **R. A. Savrai**, A. V. Makarov, E. S. Gorkunov, L. Kh. Kogan, N. N. Soboleva, I. Yu. Malygina, A. L. Osintseva // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2015. – V. 51. – Is. 11. – P. 692-704. (0,81 п.л./0,12 п.л.) (WoS, Scopus)
 16. Savrai R. A. The behavior of gas powder laser clad NiCrBSi coatings under contact loading / **R. A. Savrai**, A. V. Makarov, N. N. Soboleva, I. Yu. Malygina, A. L. Osintseva // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2016. – V. 25. – Is. 3. – P. 1068-1075. (0,5 п.л./0,1 п.л.) (WoS, Scopus)
 17. Savrai R. A. Effect of nanostructuring frictional treatment on the properties of high-carbon pearlitic steel. Part I: microstructure and surface properties / **R. A. Savrai**, A. V. Makarov, I. Yu. Malygina, E. G. Volkova // *Materials Science and Engineering A*. – 2018. – V. 734. – P. 506-512. (0,43 п.л./0,11 п.л.) (WoS, Scopus)
 18. Savrai R. A. Effect of nanostructuring frictional treatment on the properties of high-carbon pearlitic steel. Part II: mechanical properties / **R. A. Savrai**, A. V. Makarov // *Materials Science and Engineering A*. – 2018. – V. 734. – P. 513-518. (0,37 п.л./0,2 п.л.) (WoS, Scopus)
 19. Savrai R. A. Estimating the contact endurance of the AISI 321 stainless steel under contact gigacycle fatigue tests / **R. A. Savrai**, A. V. Makarov, A. L. Osintseva, I. Yu. Malygina // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2018. – V. 27. – Is. 2. – P. 601-611. (0,68 п.л./0,17 п.л.) (WoS, Scopus)
 20. Savrai R. A. Resistance of laser-clad chromium–nickel coatings to failure under contact fatigue loading / **R. A. Savrai** // *Physics of Metals and Metallography*. – 2018. – V. 119. – Is. 10. – P. 1013-1021. (0,56 п.л./0,56 п.л.) (WoS, Scopus)
 21. Makarov A. V. Development of methods for steel surface deformation nanostructuring / A. V. Makarov, **R. A. Savrai**, P. A. Skorynina, E. G. Volkova // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2020. – V. 62. – Is. 1-2. – P. 61-69. (0,56 п.л./0,14 п.л.) (WoS, Scopus)

22. Savrai R. A. Structure and surface properties of metastable austenitic steel subjected to liquid carburizing at a reduced temperature / **R. A. Savrai**, P. A. Skorynina, A. V. Makarov, A. L. Osintseva // *Physics of Metals and Metallography*. – 2020. – V. 121. – Is. 1. – P. 65-71. (0,44 п.л./0,11 п.л.) (WoS, Scopus)
23. Savrai R. A. Effect of liquid carburizing at lowered temperature on the micro-mechanical characteristics of metastable austenitic steel / **R. A. Savrai**, P. A. Skorynina, A. V. Makarov, A. L. Osintseva // *Physics of Metals and Metallography*. – 2020. – V. 121. – Is. 10. – P. 1015-1020. (0,38 п.л./0,1 п.л.) (WoS, Scopus)
24. Savrai R. A. The structural characteristics and contact loading behavior of gas powder laser clad CoNiCrW coating / **R. A. Savrai**, N. N. Soboleva, I. Yu. Malygina, A. L. Osintseva // *Optics and Laser Technology*. – 2020. – V. 126. – Art. 106079. – P. 1-8. (0,5 п.л./0,2 п.л.) (WoS, Scopus).
25. Savrai R. A. Features of eddy-current testing of the fatigue degradation of laser clad cobalt-nickel-chromium coating under contact loading / **R. A. Savrai**, L. Kh. Kogan, A. V. Makarov, N. N. Soboleva // *Letters on Materials*. – 2020. – V. 10. – Is. 3. – P. 315-321. (0,44 п.л./0,11 п.л.) (WoS, Scopus)
26. Savrai R. A. Effect of hardened surface layer obtained by frictional treatment on the contact endurance of the AISI 321 stainless steel under contact gigacycle fatigue tests / **R. A. Savrai**, A. L. Osintseva // *Materials Science and Engineering A*. – 2021. – V. 802. – Art. 140679. – P. 1-10. (0,62 п.л./0,31 п.л.) (WoS, Scopus)
27. Savrai R. A. Micromechanical characteristics of the surface layer of metastable austenitic steel after frictional treatment / **R. A. Savrai**, Yu. M. Kolobylin, E. G. Volkova // *Physics of Metals and Metallography*. – 2021. – V. 122. – Is. 8. – P. 800-806. (0,44 п.л./0,15 п.л.) (WoS, Scopus)
28. Savrai R. A. Eddy current testing of fatigue degradation of metastable austenitic steel under gigacycle contact-fatigue loading / **R. A. Savrai**, L. Kh. Kogan // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2021. – V. 57. – Is. 5. – P. 393-400. (0,5 п.л./0,25 п.л.) (WoS, Scopus)
29. Savrai R. A. Structural-phase transformations and changes in the properties of AISI 321 stainless steel induced by liquid carburizing at low temperature /

- R. A. Savrai, P. A. Skorynina** // Surface and Coatings Technology. – 2022. – V. 443. – Art. 128613. – P. 1-13. (0,81 п.л./0,41 п.л.) (WoS, Scopus)
30. Savrai R. A. Effect of hardening frictional treatment on features of eddy current testing of fatigue degradation of metastable austenitic steel under gigacycle contact fatigue loading / **R. A. Savrai**, L. Kh. Kogan // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2022. – V. 58. – Is. 8. – P. 722-731. (0,62 п.л./0,31 п.л.) (WoS, Scopus)
31. Skorynina P. A. The influence of frictional treatment and liquid carburizing on general corrosion resistance of chromium-nickel austenitic steels / P. A. Skorynina, A. V. Makarov, **R. A. Savrai** // Frontier Materials & Technologies. – 2023. – Is. 4. – P. 109-119. (0,69 п.л./0,23 п.л.) (Scopus)
32. Skorynina P. A. Substantiating the process parameters of frictional treatment with a sliding indenter for an austenitic chromium-nickel steel / P. A. Skorynina, A. V. Makarov, **R. A. Savrai** // Tribology Letters. – 2024. – V. 72. – Is. 1. – Art. 9. – P. 1-16. (1,0 п.л./0,33 п.л.) (WoS, Scopus)

Патенты

33. Патент № 2458777 Российская Федерация, МПК В24В 39/00 (2006.01), В82В 3/00 (2006.01). Способ упрочняющей обработки поверхностей деталей выглаживанием : № 2010145610/02 : заявлено 09.11.2010 : опубликовано 20.08.2012 / Кузнецов В. П., Макаров А. В., Киряков А. Е., **Саврай Р. А.**, Аникеев А. В.
34. Патент № 162959 Российская Федерация, МПК G01N 3/56 (2006.01). Устройство для контактно-усталостных испытаний образцов материалов : № 2016105261/28 : заявлено 16.02.2016 : опубликовано 10.07.2016 / **Саврай Р. А.**, Макаров А. В.
35. Патент № 170693 Российская Федерация, МПК G01N 1/28 (2006.01), G01N 3/08 (2006.01). Образец для механических испытаний : № 2016146261 : заявлено 24.11.2016 : опубликовано 03.05.2017 / **Саврай Р. А.**, Макаров А. В.
36. Патент № 2643289 Российская Федерация, МПК В24В 39/00 (2006.01). Способ ультразвуковой упрочняющей обработки деталей : № 2016126583 :

заявлено 01.07.2016 : опубликовано 31.01.2018 / Макаров А. В., Малыгина И. Ю., Буров С. В., Саврай Р. А.

37. Патент № 2703072 Российская Федерация, МПК В24В 39/00 (2006.01). Способ упрочняющей обработки поверхностей деталей выглаживанием : № 2019108373 : заявлено 22.03.2019 : опубликовано 15.10.2019 / Саврай Р. А.

На автореферат и диссертацию поступили отзывы от:

1. **Тарасова Сергея Юльевича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника лаборатории физики упрочнения поверхности ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск. Содержит вопросы, касающиеся оценки влияния возможного локального разогрева при контактно-усталостных испытаниях на установленные закономерности и эволюцию структуры, а также применимости модели Мотта для наноразмерной зеренно-субзеренной структуры с высокой плотностью дислокаций.

2. **Батаева Анатолия Андреевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры материаловедения в машиностроении, ректора ФГБОУ ВО «НГТУ», и **Батаева Ивана Анатольевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего научно-исследовательской лабораторией физико-химических технологий и функциональных материалов ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск. Содержит замечания, касающиеся содержания и оформления автореферата.

3. **Казанцевой Наталии Васильевны**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории аддитивных технологий ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы и замечания, касающиеся научной новизны в части дислокационного механизма изменения модуля упругости поверхностно упрочненных сталей.

4. **Дегтярева Михаила Васильевича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника лаборатории прецизионных сплавов и интерметаллидов ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит замечание,

касающееся влияния дислокаций на снижение модуля упругости стали 20, а также ряд вопросов и уточнений по содержанию и оформлению автореферата.

5. **Мушниковой Светланы Юрьевны**, доктора технических наук, начальника сектора 372 научно-производственного комплекса № 3 «Конструкционные стали и функциональные материалы для морской техники» ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Санкт-Петербург. Содержит вопрос о влиянии фрикционной обработки на коррозионную стойкость нержавеющей стали AISI 321.

6. **Колокольцева Валерия Михайловича**, доктора технических наук, профессора, советника при ректорате, и **Емелюшина Алексея Николаевича**, доктора технических наук, профессора, профессор кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Содержит вопросы, касающиеся количества публикаций в российских журналах, количественной оценки пористости и несплошностей в покрытиях, обобщенных выводов о влиянии структуры на контактную усталость, а также практического применения полученных результатов.

7. **Бурова Виктора Григорьевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры материаловедения в машиностроении ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск. Содержит вопрос и замечание, касающиеся содержания и оформления автореферата.

8. **Захарова Игоря Николаевича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Сопротивление материалов», и **Зорина Ильи Васильевича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград. Содержит вопросы, касающиеся методики определения остаточных напряжений и критерия определения глубины упрочнения, некоторого уточнения формулировок, а также пожелание сопоставить данные микроиндентирования с результатами испытаний поверхностно упрочненных сталей на абразивное изнашивание.

9. **Пышминцева Игоря Юрьевича**, доктора технических наук, до-

цента, генерального директора ООО «ИЦ ТМК», и **Веселова Игоря Николаевича**, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией материаловедения ООО «Исследовательский центр ТМК», г. Москва. Содержит уточнение по поводу отечественного аналога стали AISI 321, а также замечания, связанные с особенностями влияния поверхностных упрочняющих обработок на свойства исследуемых сталей.

10. **Гречникова Федора Васильевича**, доктора технических наук, профессора, академика РАН, профессора кафедры обработки металлов давлением, и **Михеева Владимира Александровича**, доктора технических наук, профессора кафедры обработки металлов давлением ФГАОУ ВО «Самарский университет им. Королева», г. Самара. Содержит замечания, связанные с особенностями усталостных испытаний металлов, не имеющих физического предела текучести, и отмечает некоторую условность деления процессов усталости на различные стадии.

11. **Яковлевой Ирины Леонидовны**, доктора технических наук, старшего научного сотрудника, главного научного сотрудника лаборатории физического металловедения ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит замечания, касающиеся корректности выражения «перлитная сталь У10», отсутствия в тексте заключения численных значений изменения усталостной прочности, усталостной долговечности и контактной выносливости, а также вопрос по выбору материала подложки для покрытий.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями и исследованиями в области физики прочности и пластичности; структурных и фазовых превращений в материалах, включая низкоуглеродистые и аустенитные нержавеющие стали, при деформационных и деформационно-термических обработках; методов формирования в них ультрамелкозернистой и нанокристаллической структуры; механических, в том числе усталостных, испытаний; а также диагностики и неразрушающего контроля материалов и конструкций.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной науч-

но-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по обеспечению высокой усталостной и контактно-усталостной прочности деталей машин после финишных деформационных поверхностных обработок и формирования функциональных покрытий, а также по методам испытаний на контактную усталость, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные и практически значимые результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Выявлено подобие структурных изменений (фрагментация, дробление, растворение и сфероидизация цементита) в перлитной стали У10 при циклическом растяжении в области многоциклового усталости и в условиях длительного контактного циклического нагружения на значительном удалении от зоны контакта, которые вносят дополнительный вклад в повышающую усталостную прочность релаксацию напряжений.

2. Установлено, что упрочненный слой, сформированный с помощью фрикционной обработки, при статическом и циклическом растяжении сохраняет запас пластичности и способствует однородному пластическому течению поверхностно упрочненных сталей как с феррито-перлитной, так и мартенситной структурами, что оказывает положительное влияние на усталостную прочность.

3. Показано, что упрочненный слой, сформированный с помощью фрикционной обработки, способствует повышению контактной выносливости в области много- и гигацикловой усталости перлитной стали У10 и метастабильной аустенитной стали 12Х18Н9Т в случае, если контактные повреждения сосредоточены в тонком поверхностном слое с сильно диспергированной структурой, характеризующейся высокой твердостью и высоким уровнем сжимающих напряжений.

4. Установлена последовательность процесса усталостной деградации

наплавленных лазером хромоникелевых покрытий при контактно-усталостном нагружении, которая заключается в формировании первоначального пятна контакта с последующим чередованием этапов роста трещин и когезионного скалывания покрытия по краю пятна контакта.

5. Выявлено наличие корреляции между параметрами, определяемыми при микроиндентировании, и размером контактных повреждений при контактно-усталостном нагружении. Показано, что наиболее информативным параметром является степенное отношение твердости вдавливания к контактному модулю упругости H_{IT}^3/E^{*2} , которое характеризует сопротивление развитию пластической деформации. Предложен подход к оценке контактно-усталостной прочности без проведения длительных испытаний с использованием метода микроиндентирования.

6. Разработана новая методика, которая позволяет проводить испытания на контактную гигацикловую усталость по схеме пульсирующего ударного контакта «плоскость-плоскость» с ультразвуковой частотой нагружения. Обоснована возможность использования величины микротвердости поверхности и глубины контактных повреждений, измеренных в зоне пятен контакта, для количественной оценки степени усталостной деградации.

7. Обоснована возможность мониторинга магнитным и вихретоковым методами поверхностного трещинообразования в процессе усталостного нагружения объемно и поверхностно упрочненных сталей и контактно-усталостного нагружения функциональных хромоникелевых покрытий, что может быть использовано для разработки методик оценки степени усталостной деградации и остаточного ресурса изделий после финишных поверхностных обработок.

Результаты работы по исследованию контактной выносливости аустенитной нержавеющей стали нашли практическое применение при усовершенствовании технологии наноструктурирующего выглаживания, обеспечивающей высокую твердость и низкую шероховатость поверхности обрабатываемых изделий, работающих в условиях повышенных контактных нагрузок. Данная технология была использована для изготовления запорных органов деталей клиновых

задвижек и обратных клапанов нефтепромыслового оборудования, которое реализовано в условиях промышленного производства на ООО «Предприятие «Сенсор» (г. Курган), что подтверждено соответствующим актом. Ожидаемый годовой экономический эффект составляет не менее 1,5 млн. рублей. Практическая значимость результатов работы также подтверждена актом ООО «Вездеходы «Бурлак» (г. Курган), в котором отмечена важность исследования влияния жидкостной цементации на структуру и свойства аустенитной нержавеющей стали, а также возможность практического применения полученных результатов при разработке технологических процессов изготовления ответственных деталей трансмиссии вездеходов.

На заседании 26 декабря 2024 г. диссертационный совет УрФУ 2.6.01.04 принял решение присудить Савраю Р.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 2.6.01.04 в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 3, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель

диссертационного совета
УрФУ 2.6.01.04

Ученый секретарь
диссертационного совета
УрФУ 2.6.01.04

26.12.2024 г.



Попов Артемий Александрович

Селиванова Ольга Владимировна