



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

**«Алтайский государственный  
технический университет  
им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: [politech@altgtu.ru](mailto:politech@altgtu.ru)

<http://www.altstu.ru>

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

№ \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор АлтГТУ

Марков Андрей Михайлович



«16» Октябре 2024 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Диссертация «Структурно-фазовое состояние и физико-механические свойства диффузионных покрытий на горячештамповых сталях, полученных комплексным насыщением бором, хромом и церием» выполнена на кафедре "Физика".

В период подготовки диссертации соискатель Чжэн Цюань обучался в очной аспирантуре по специальности 22.06.01 «Технологии материалов, материаловедение» при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

В 2020г. окончил магистратуру по специальности «Машиностроение» при Уханьском текстильном университете.

Удостоверение о сдаче дополнительного кандидатского экзамена по специальности «Физика конденсированного состояния» выдано в 2024 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». Кандидатские экзамены по иностранному языку (русский) и по философии сданы в рамках прохождения обучения в

аспирантуре, о чем имеются соответствующие сведения в приложении к диплому об окончании аспирантуры.

В 2020 г. Чжэн Цюань поступил в очную аспирантуру при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и успешно закончил ее в 2024 г.

Научный руководитель – Гурьев Алексей Михайлович, доктор технических наук, профессор, работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» на кафедре «Начертательная геометрия и графика» в должности заведующего кафедрой.

**По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

Актуальность. Проблемы повышения ресурса работы штампов горячего деформирования являются одной из острых проблем повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции металлообрабатывающих предприятий по причине высокой стоимости как самих штампов, так и штамповой оснастки из-за необходимости их изготовления из дорогих легированных сталей и сложности технологического процесса их изготовления. Нанесение различных упрочняющих покрытий на рабочие поверхности горячештампового инструмента часто неэффективно по причине того, что рабочие поверхности штампов горячего деформирования работают в условиях знакопеременных высокоградиентных тепловых нагрузок, что в свою очередь приводит к скалыванию многих типов упрочняющих покрытий по причине знакопеременных воздействий градиента температур. Диффузионные покрытия являются одним из эффективных способов повышения ресурса работы деталей в условиях знакопеременных воздействий градиента температур, из которых наибольшую эффективность показали боридные покрытия. Поэтому изучение способов управления диффузионными процессами бора совместно с такими элементами как хром и другие элементы с целью получения диффузионных покрытий на сталях, является актуальной задачей современной физики конденсированного состояния.

Из всего сказанного следует, что диссертационная работа, посвященная исследованию структурно-фазового состояния комплексных диффузионных покрытий на горячештамповых сталях и выявлению его взаимосвязи с параметрами технологического процесса комплексного насыщения несколькими элементами является весьма актуальной.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем. Установлено, что церий, обладая сильной восстановительной активностью и низкой электроотрицательностью, снижает активационную энергию поверхностной диффузии и активационную энергию объемной диффузии на 10,4%, что приводит к увеличению толщины диффузионного

слоя на 85%. Показано, что добавка церия в насыщающую смесь для борохромирования, стимулирует замещение атомов Fe в соединениях FeB и Fe<sub>2</sub>B, с образованием фаз CrB и Cr<sub>2</sub>B, имеющих более высокие показатели свойств по сравнению с FeB и Fe<sub>2</sub>B что в целом усиливает энергию связи B-B в боридном слое, за счет чего повышаются твердость и коррозионная стойкость упрочняющего слоя. В процессе трения боридный слой, полученный путем одновременного насыщения поверхности бором, хромом и церием, благодаря более высоким показателям твердости и пластичности, имеет более низкую вероятность хрупкого разрушения. Сравнительно с однокомпонентным насыщением бором, износ слоя снижается на 66%, в сравнении с двухкомпонентным борохромированием износ слоя снижается на 35%. Показано, что комплексное одновременное насыщение сталей для штампов горячего деформирования одновременно бором, хромом и церием с последующим двухступенчатым охлаждением со скоростью порядка 0,1°С/с и промежуточной выдержкой при 500 °С в течение 2 ч позволяет сформировать диффузионное покрытие, обладающее в 2–4 большей термостойкостью по сравнению с другими покрытиями на основе бора. Методами электронной микроскопии обосновано, что при коррозии в растворах серной кислоты хром образует соединения, способствующие уплотнению корродировавшего слоя. Это приводит к образованию более плотной пассивирующей пленки на поверхности бор-хром-цериевого диффузионного покрытия, что снижает скорость коррозии в серной кислоте на 86%. установлено, что скорость охлаждения образцов после насыщения оказывает значительное влияние на микроструктуру и свойства диффузионного покрытия на горячештампных сталях: медленное охлаждение способствует получению слоя с хорошей износостойкостью, жаростойкостью и коррозионной стойкостью. При этом медленное охлаждение с печью способствует получению наилучшей стойкости слоя к кислотно-щелочному воздействию в условиях износа.

Практическая значимость диссертационной работы. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработано техническое решение по упрочнению горячештампной стали с использованием метода диффузионного одновременного насыщения бором, хромом и церием, что позволило увеличить износостойкость стали Н13 в 5,5 раз, стойкость к разгарным трещинам в 3,4 раза, коррозионную стойкость к кислотно-щелочной коррозии в 7,2 раза. В результате проведенных исследований разработаны новые составы насыщающих сред для поверхностного упрочнения горячештампных сталей, включающие бор карбид (B<sub>4</sub>C), тетрафторборат калия (KBF<sub>4</sub>), графит, бентонит, оксиды хрома и церия. При температуре 950 °С в течение 4 часов насыщение из смеси следующего состава: 70% B<sub>4</sub>C + 5% KBF<sub>4</sub> + 10% C + 2% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 4% CeO<sub>2</sub> + 9% бентонит получать на горячештампных сталях типа Н13 (отечественный аналог – сталь 4Х5МФС) диффузионные покрытия толщиной порядка 75 мкм, имеющие твердость 1750 HV.

Степень достоверности результатов проведенных исследований высокая, обеспечивается корректностью постановки решаемых задач и их физической обоснованностью, применением хорошо апробированных методов исследования, большим объемом полученных данных, а также хорошим согласованием результатов расчетов с результатами других авторов в том числе и экспериментальных. Все научные положения и выводы по результатам диссертационной работы не содержат физических ошибок и хорошо выверены.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в следующем:

- постановка целей и задач, а также разработка путей их решения была выполнена соискателем;
- все проведенные расчеты и обработка результатов проведена лично соискателем;
- обсуждение результатов, формулировка выводов и положений, выносимых на защиту, проводилось совместно с научным руководителем;
- соискатель играл ключевую роль при написании научных статей по теме диссертации.

Результаты работы были представлены на 26 международных и всероссийских конференциях.

Список публикаций автора по материалам диссертационной работы в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Цюань, Ч. Влияние диффузионного покрытия бор-хром-лантан на жаростойкость и износостойкость стали 4X5MФ1С [Текст] / Ч. Цюань, М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, Мэй Ш., А. М. Гурьев // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2024. – Т.49. – №3. – С. 22–29.

2. Гурьев, М. А. Влияние содержания углерода в стали на параметры диффузии бора и толщину диффузионного покрытия при борировании [Текст] / М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, Ч. Цюань, А. М. Гурьев // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2024. – Т.49. – №3. – С.30–36.

3. Цюань, Ч. Исследование влияния борирования с редкоземельными элементами на свойства штамповой стали H13 [Текст] / Ч. Цюань, Мэй Ш., Чжи С., А.М. Гурьев, Ф. Юй, Б.Д. Лыгденов, М.А. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2022. – Т.19. – №3. – С. 384-393.

4. Цюань, Ч. Влияние редкоземельного СеС13 на микроструктуру и адгезию боридного слоя для стали AISI H13 [Текст] / Ч. Цюань, Мэй Ш., Чжи С., Ян Ц., Ху Ц., А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2023 – Т.20. – №4. – С. 551–557.

5. Цюань, Ч. Исследование влияния термодиффузионного борхромирования на структуру и свойства сталей AISI H12 и ASTM L6 [Текст] / Ц. Чжэн, М.А. Гурьев, М. Шунчи, А.М. Гурьев, Е.В. Черных //

Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2024. – Т.21.  
– №2. – С. 212–219.

6. Гурьев, А.М. Морфология и изменение распределения карбидной фазы при термической обработке стали ШХ15 [Текст] / А.М. Гурьев, С.Г. Иванов, С.А. Земляков, М.А. Гурьев, Е.В. Черных, Ц. Чжэн // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2020. – Т.17. – №4. – С. 515-520.

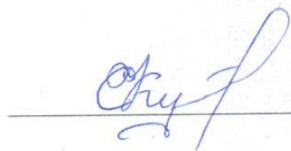
Диссертация «Структурно-фазовое состояние и физико-механические свойства диффузионных покрытий на горячештампových сталях, полученных комплексным насыщением бором, хромом и церием» является законченной научно-исследовательской работой, соответствует п. 6 паспорта специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» и удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Структурно-фазовое состояние и физико-механические свойства диффузионных покрытий на горячештампových сталях, полученных комплексным насыщением бором, хромом и церием» Чжэна Цюаня рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Заключение принято на заседании кафедры "Физика" ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова».

Присутствовало на заседании 12 человек.

Результат голосования: «за» – 12 человек; «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек; протокол № 3 от 16 октября 2024 г.



Кустов Сергей Леонидович

Кандидат физико-математических, доцент,  
зав. кафедрой "Физика" ФГБОУ ВО  
«АлтГТУ им. И. И. Ползунова»



**ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ**

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ ППС

НОВОСЕЛОВА И. В.