

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Чжэн Цюань «Структурно-фазовое состояние и физико-механические свойства диффузионных покрытий на горячештамповых сталях, полученных комплексным насыщением бором, хромом и церием», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Горячештамповые стали используются в условиях высоких температур и износа благодаря своей термостойкости, прочности и стойкости к термической усталости. Однако такие условия эксплуатации приводят к износу, трещинам и деформации, что сокращает срок службы инструмента. Улучшение свойств этих сталей является актуальным, и одним из перспективных методов является борирование, создающее функционально-градиентные покрытия с высокой износ- и термостойкостью. В основе формирования боридных слоев стоят диффузионные процессы, исследование которых позволяет усовершенствовать покрытия. В связи с этим настоящая работа является актуальной, поскольку направлена на увеличение ресурса работы горячештампового инструмента за счёт создания новых диффузионных покрытий на основе новых данных о способах интенсификации процессов диффузии при одновременном насыщении поверхности сталей бором, хромом и церием.

В процессе выполнения диссертационной работы соискателем установлено, что церий, обладая низкой электроотрицательностью и высокой восстановительной активностью, снижает активационную энергию поверхностной диффузии, что способствует увеличению толщины диффузионного слоя и снижению активационной энергии объемной диффузии. Показано, что добавление церия в насыщающую смесь при борохромировании стимулирует замещение атомов Fe на Cr в боридных соединениях, что усиливает кристаллическую ориентацию связей В-В, а также повышает твердость, износостойкость и коррозионную стойкость покрытий. Впервые доказано, что комплексное насыщение бором, хромом и церием с последующим двухступенчатым охлаждением обеспечивает создание термостойких покрытий, в 2–4 раза превосходящих аналоги на основе бора. В работе обнаружено, что хром в бор-хром-цериевом покрытии способствует образованию плотной пассивирующей пленки при коррозии в растворах серной кислоты, которая значительно снижает скорость коррозии. Доказано, что медленное охлаждение после насыщения повышает износостойкость, жаростойкость и коррозионную стойкость покрытий, обеспечивая наилучшую стойкость покрытия к кислотно-щелочному воздействию в условиях износа.

Высокая степень достоверности полученных результатов обусловлена значительным объемом экспериментальных данных, которые были получены с применением современных методов физики конденсированного состояния. Использование аналитического и испытательного оборудования мирового уровня в комплексе с современными методами исследования обеспечивает надёжность и валидность итоговых данных.



Анализ содержания автореферата позволяет утверждать, что диссертационное исследование Ц.Чжэн является самостоятельно выполненной, завершенной научно-квалификационной работой. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в промышленности для продления срока службы инструментов, изготовленных из горячештамповой стали.

В качестве замечаний следует отметить:

- Низкое качество отдельных рисунков, а именно: на рисунках 4, г и 5, б не читаются некоторые надписи.
- В автореферате не приведена формула, по которой рассчитывали скорость износа образцов в условиях сухого трения.

Отмеченные замечания не снижают общую положенную оценку работы. По своей актуальности, новизне, степени обоснованности научных положений, научной и практической значимости диссертационная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Чжэн Цюань, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 — «Физика конденсированного состояния».

Согласен на обработку моих персональных данных:

Филиппов Андрей Владимирович,

кандидат технических наук, специальность 05.02.07 – Технология оборудование механической и физико-технической обработки,

заведующий лабораторией физики упрочнения поверхности,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, [www.ispms.ru](http://www.ispms.ru).

Тел.: +7(999)1781340, e-mail: [avf@ispms.ru](mailto:avf@ispms.ru)

634055. г. Томск, пр. Академический 2/4

Заведующий лабораторией физики  
упрочнения поверхности ИФПМ СО  
РАН, к.т.н.

А.В. Филиппов

Подпись Филиппова А.В. заверяю:  
Ученый секретарь Ученого совета  
ИФПМ СО РАН, к.т.н.



Н.Ю. Матолыгина