

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Степушина Александра Сергеевича  
«Создание линейной градиентной структуры в ( $\alpha+\beta$ )-титановых сплавах  
для обеспечения высокого сопротивления динамическим нагрузкам»  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов  
и сплавов»

Работа Степушина А.С. посвящена решению проблемы увеличения прочности, снижение массы и уменьшение хрупкости существующих бронезащитных материалов и разработки новых.

Автор предлагает в качестве базового материала использовать высокопрочные ( $\alpha+\beta$ )-титановые сплавы, которые имеют ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными стальными и керамическими бронематериалами. Для обеспечения эффективного поглощения энергии удара и замедления скорости распространения трещины рекомендует сформировать на основе титановых сплавов линейно-изменяющуюся структуру с помощью применения термоводородной обработки только с одной стороны поверхности полуфабриката и защиты остальных сторон.

В работе впервые определены температурно-концентрационные режимы создания оксидных и нитридных покрытий при обработке в вакууме, их стойкость к обработке в вакууме и проникновению водорода; установлены закономерности формирования фазового состава, структуры и свойств в титановых сплавах ВТ6 и ВТ23 при однонаправленном обратимом легировании водородом; разработана комплексная технология формирования регламентированной линейной градиентной структуры, изменяющейся от мелкодисперсной с одной стороны до крупнопластинчатой с противоположной стороны, обеспечивающей повышенную стойкость к высокоскоростным динамическим нагрузкам (пулестойкость).

Ознакомившись с авторефератом, необходимо отметить следующий ряд вопросов к автору, которые можно сформулировать в виде следующих замечаний:

1. Автор в главе 3 подробно описывает варианты защитных оксидных и нитридных покрытий, выбор режимов термической обработки, но в автореферате не указаны и не обоснованы режимы формирования микродуговых и анодно-оксидных покрытий.

2. В главе 3 не отмечено обоснование выбора температуры ( $800^{\circ}\text{C}$ ) и продолжительности (1 час) вакуумного отжига для оценки стойкости сформированных покрытий при нагреве в вакууме.

3. В главе 4 для титановых сплавов ВТ6 и ВТ23 с линейной градиентной структурой приводятся данные механических свойств только для выбранного режима обработки. Однако представляет интерес рассмотреть, как изменяется твердость и ударная вязкость в зависимости от толщины слоя с мелкодисперсной структурой, то есть при разных концентрациях водорода.

4. В главе 5 автором упоминаются испытания на пулестойкость образцов размером  $25 \times 10 \times 18$  см из сплава ВТ6, при этом все предыдущие исследования в работе были описаны только для образцов размером  $25 \times 10 \times 12$  см. Также из текста автореферата не ясно, какое барьерное покрытие использовалось при формировании линейной градиентной структуры в образцах размером  $25 \times 10 \times 18$  см.

Сделанные замечания не снижают ценности работы, которая выполнена на высоком уровне, удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Степушин Александр Сергеевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заместитель начальника 2 отдела  
войсковой части 38994,  
кандидат технических наук

Е.Е. Гусев

«24» октября 2022 г.

Начальник 2 отдела  
войсковой части 38994,  
кандидат технических наук

С.Н. Виноградов

«24» октября 2022 г.

Начальник 3 отдела  
войсковой части 38994,  
кандидат технических наук

А.В. Тормозов

«24» октября 2022 г.

Временно исполняющий обязанности  
командира войсковой части 38994,  
кандидат технических наук



А.Д. Пимкин

«24» октября 2022 г.