

## ОТЗЫВ

официального оппонента Илларионова Анатолия Геннадьевича на диссертационную работу Митропольской Наталии Георгиевны «Влияние химического состава и структуры на обрабатываемость резанием титановых сплавов ВСТ2К и ВТ6», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

**Актуальность темы диссертации.** Работа рассматривает вопросы влияния легирования и структуры полуфабрикатов из промышленных титановых сплавов ВСТ2К и ВТ6 на их мехобработываемость с целью получения качественных изделий для медицины с хорошими эксплуатационными и технологическими свойствами, что является актуальной задачей для металловедения титановых сплавов как с научной, так и практической точек зрения.

**Общая характеристика работы.** Диссертационная работа Митропольской Н. Г., изложенная на 183 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы, включающего 121 источник, и приложения.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с применением титановых сплавов в медицине, технологическими аспектами их обрабатываемости резанием и комплексными технологиями их обработки (термоводородной и ионно-плазменного азотирования) для производства компонентов эндопротезов крупных суставов.

Автором изучено влияние режимов термообработки на структуру и физико-механические свойства горячекатаных полуфабрикатов из сплава ВСТ2К разного химического состава (3 состава). Проведена аттестация структуры и твердости горячекатаных плит в исходном состоянии и после различных режимов отжига. На 9-ти составах сплава ВСТ2К установлена прямо пропорциональная зависимость  $T_{\text{пл}}$  от химического состава, выраженного через отношение эквивалентов по алюминию и молибдену. Показано, что как в исходном состоянии, так и после отжига сплавы, отличающихся по  $[\text{Mo}]_{\text{экв}}$  и  $T_{\text{пл}}$ , имеют определенные отличия как по структуре (объемная доля и размер частиц первичной  $\alpha$ -фазы), так и по твердости. Обнаружено, что при отжиге сплавов с температур, обеспечивающих в структуре получение практически одинакового количества первичной  $\alpha$ -фазы, сохраняется существенная разница в твердости сплавов разных составов из-за различия в размерах вторичной  $\alpha$ -фазы. Разработаны режимы отжига с охлаждением в печи плит из сплавов ВСТ2К разного состава, обеспечивающие формирование однотипной конечной микроструктуры и близким комплексом механических свойств, и установлена высокая коррозионная стойкость полученных

структурных состояний в 0,9%-ном водном растворе NaCl, не уступающая сплаву ВТ6 и превосходящая стали, кобальтовые сплавы, применяемые в медицине. Достоинством представленных результатов является то, что детально изучено структурное состояние сплавов после различных режимов термической обработки. Это дало наглядную картину трансформации структуры сплава при варьировании температурно-скоростных параметров обработки.

В работе изучено влияние химического состава сплава ВСТ2К с однотипной структурой и структурного состояния сплава одного состава на процессы обработки резанием. Показано, что с повышением количества  $\beta$ -стабилизаторов в сплаве ВСТ2К при однотипной структуре и твердости происходит в зоне резания увеличение температуры без существенного изменения усилий резания. Выявлены параметры морфологии  $\alpha$ -фазы и твердости, способствующие минимизации усилия резания и температуры в его зоне. Обнаружена целесообразность фрезерования сплавов в отожженном состоянии с высоким и низким  $[Mo]_{\text{экв}}$ , а в термоупрочненном состоянии – только с низким  $[Mo]_{\text{экв}}$ . Установлено, что расстояние между полосами сдвига ( $L_c$ ), образующимися в структуре стружки сплава, можно использовать в качестве критерия его обрабатываемости и чем  $L_c$  меньше, тем ниже усилие резания и температура в его зоне. Показано, что в исследованных структурных состояниях сплава ВСТ2К легирование его водородом не способствует улучшению механообрабатываемости. Полученные результаты дают хорошее представление о роли химического состава сплава и его структуры в обрабатываемости резанием.

Проведено комплексное, всестороннее и наглядное исследование влияния содержания алюминия в сплаве ВТ6 на качество полированной поверхности заготовок для компонентов эндопротезов тазобедренного сустава (ЭПТС), полученных с использованием термоводородной обработки. В ходе исследования установлено существенное влияние на твердость сплава ВТ6 после ТВО содержания в нем алюминия вследствие его действия как сильного твердорастворного упрочнителя. Обнаружена связь между содержанием алюминия в сплаве и его механообрабатываемостью и качеством полированных заготовок для ЭПТС из сплава ВТ6. Определен оптимальный интервал содержания алюминия в сплаве (6,0-6,3 мас.%), обеспечивающий стабильно высокое качество полированной поверхности заготовок ( $Ra \leq 0,05$  мкм).

В целом, полученные в диссертации Митропольской Н.Г. экспериментальные и теоретические результаты по взаимосвязи структуры и свойств сплавов ВСТ2К и ВТ6 различного химического состава позволяют говорить о достаточной их значимости как в научном, так и практическом аспекте.

## Научная новизна результатов диссертационной работы

Диссертационная работа Митропольской Н.Г. вносит весомый вклад в развитие современных научных представлений о влиянии химического состава и характеристик структуры двухфазных титановых сплавов ВСТ2К и ВТ6 на обрабатываемость резанием полуфабрикатов и изделий из них, а именно:

- на примере сплава ВСТ2К показано, что в качестве критерия обрабатываемости резанием сплава возможно использовать расстояние между полосами сдвига ( $L_c$ ), образующимися в структуре стружки, и чем меньше это расстояние, тем лучше обрабатываемость резанием: ниже усилие резания и температура в зоне резания;
- установлена связь содержания алюминия в сплаве ВТ6 с качеством полированной поверхности заготовки и определен оптимальный интервал легирования алюминием для получения минимальной шероховатости полированной поверхности ниже которого снижение чистоты поверхности связано с «наволакиванием» металла, а выше – с «выкрашиванием» частиц металла.

**Практическая значимость полученных результатов**, на мой взгляд, состоит в следующем:

- построена зависимость  $T_{\text{пп}}$  сплава ВСТ2К от химического состава, выраженного через отношение эквивалентов по алюминию и молибдену, которую можно использовать для оценки  $T_{\text{пп}}$  сплава по его химсоставу;
- доказана возможность улучшения термосиловых характеристик резания за счет изменения структурного состояния сплава ВСТ2К и определены параметры структуры и значения твердости, обеспечивающие лучшую обрабатываемость резанием;
- разработаны режимы отжига горячекатаных полуфабрикатов из сплава ВСТ2К разного химического состава, обеспечивающие формирование однотипной структуры и стабильных свойств, включая хорошую обрабатываемость резанием;
- обосновано, что для уменьшения времени обработки и обеспечения стабильно высокого качества полированной поверхности при изготовлении шаровых головок эндопротезов тазобедренного сустава содержание алюминия в полуфабрикате из сплава ВТ6 должно лежать в интервале 6,0 – 6,3 мас.% и это подтверждено актом внедрения от ЗАО «Имплант МТ».

Полученные результаты работы полностью соответствуют поставленным целям и задачам, их **достоверность** подтверждается комплексным подходом к проведению исследований с применением нескольких взаимно дополняющих методик и методов математической статистики при обработке результатов. Экспериментальные данные в

работе получены на поверенном оборудовании с использованием лицензионного программного обеспечения и стандартных методик испытаний и измерений.

**По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:**

1. В литературном обзоре (глава 1) у рисунков 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.13 и ряде других, не указана ссылка на литературный источник.
2. В главе 2 при описании используемых в работе сплавов ВСТ2К нет данных о том получены ли эти сплавы с использованием лома или нет. Если использовался лом, то как удалось получить такое низкое содержание кислорода в сплавах (на уровне 0,1%)? Отходы, лом каких титановых сплавов используют для производства сплава ВСТ2К?
3. Чем можно объяснить зафиксированное в работе существенное изменение объемной доли первичной  $\alpha$ -фазы в сплавах 1-3 при их одинаковом недогреве относительно  $T_{\text{пп}}$  после стандартного отжига ( $T_{\text{пп}}-130^{\circ}\text{C}$ ) – таблица 3.3. (глава 3, стр. 110 диссертации)?
4. За счет изменения каких свойств в соответствии с выводом 1 по главе 4 (стр. 153 диссертации) может повышаться температура в зоне резания с увеличением  $\beta$ -стабилизаторов в сплаве ВСТ2К при одинаковой структуре и твердости?
5. В соответствии с выводом 5 в главе 4 (стр. 153 диссертации) в работе не установлено положительного влияния легирования водородом на мехобрабатываемость резанием сплава ВСТ2К. В тоже время в более ранних исследованиях, например, в работах Егоровой Ю.Б., такое положительное влияние водорода на мехобрабатываемость титановых сплавов, в том числе двухфазных сплавов к которым относится сплав ВСТ2К, было обнаружено. С чем может быть связано различие в полученных результатах?
6. В выводе 5 по главе 5 (стр. 166 диссертации) говорится – «... легирование алюминием сплава ВТ6 по верхней границе (более 6,3%) отрицательно сказывается на качестве поверхности заготовок после полирования: наблюдается «выкрашивание», риски ...». Что может являться причиной выкрашивания?

Вышеуказанные вопросы и замечания не снижают общий высокий уровень диссертационной работы. Диссертация представляет собой завершенную работу, в рамках которой проведено большое количество комплексных экспериментальных исследований и дано их научное обоснование.

Диссертация соответствует отрасли технических наук, а именно пунктам 2 - «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях» и 3 - «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и

сплавов» паспорта специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Содержание автореферата Н.Г. Митропольской соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы были представлены на семи международных научных конференциях, основные данные проведенных исследований опубликованы в 6-ти статьях в российских журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, а также в 2-х статьях в переводных версиях этих изданий, индексируемых базами данных Scopus, Web of Science.

На основании вышеописанного считаю, что диссертационная работа «Влияние химического состава и структуры на обрабатываемость резанием титановых сплавов ВСТ2К И ВТ6» полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения «О присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Митропольская Наталья Георгиевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

**Официальный оппонент:**

доцент кафедры термообработки и физики металлов Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, кандидат технических наук

Илларионов  
Анатолий Геннадьевич

Дата подписания отзыва: « 17 » ноября 2017 г.

Подпись Илларионова А.Г. удостоверяю,  
Ученый секретарь Ученого совета  
университета



Морозова Вера Анатольевна

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19  
ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина  
Тел: +7(343)-375-48-03. E-mail: [illarionovag@mail.ru](mailto:illarionovag@mail.ru)