

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Дзуновича Дмитрия Анатольевича

на диссертационную работу Шахова Сергея Викторовича «Влияние газонасыщенных слоёв и оксидных плёнок, формирующихся при воздушном отжиге, на сопротивляемость тонколистовых титановых полуфабрикатов динамическим нагрузкам», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы. В настоящее время в России накоплен достаточно большой опыт применения листовых полуфабрикатов из титановых сплавов в конструкциях авиационной техники гражданского и военного назначения. Наиболее часто используемыми являются листы из сплавов ВТ1-0, ВТ20, ВТ5-1, ОТ4, ОТ4-1, ВТ6 (ВТ6С, ВТ6ч), ВТ23 и некоторых других. Значительное место в технологическом цикле производства титановых листов занимают операции формообразования (в частности горячей, теплой и холодной прокатки с промежуточными отжигами) и последующей термической обработки для обеспечения требуемого комплекса свойств. Причем холодная пластическая деформация является наиболее эффективным технологическим процессом с экономической точки зрения, но применимым лишь для сплавов низкой и средней прочности, имеющих высокую технологическую пластичность при комнатной температуре. Существующие же технологии изготовления листовых полуфабрикатов из высокопрочных титановых сплавов предполагают проведение деформации при повышенных температурах, что требует применения высокоэнергетического и дорогостоящего оборудования, снижает коэффициент использования металла за счет необходимости удаления не только технологического припуска, но и оксидных пленок и газонасыщенных слоев. Кроме того, готовые детали, узлы или конструкции, изготавливаемые из листовых титановых полуфабрикатов, зачастую, являются сварными. Однако далеко не всегда возможным и целесообразным при осуществлении операций термической, термомеханической обработки и сварки является применение защитной атмосферы или вакуума, позволяющих минимизировать последствия активного взаимодействия сплавов титана с газами. Таким образом, актуальность вопроса о влиянии газонасыщенных слоёв и оксидных плёнок на технологические и эксплуатационные характеристики листовых полуфабрикатов из титановых

сплавов в рассматриваемой предметной области, исследованию которой посвящена диссертационная работа Шахова С.В., не вызывает сомнений.

Общая характеристика работы. По результатам проведенного критического анализа специальной литературы в части технологий производства листов из титановых сплавов разных классов, уровня прочности и марок с точки зрения формирования оксидных плёнок и газонасыщенных слоёв, а также влияния на их механические и технологические свойства автором сделан вывод о принципиальной возможности повышения указанных характеристик за счет обеспечения на поверхности листов оксидных пленок и газонасыщенных слоев оптимальной (регламентированной) толщины.

В работе приведен химический состав листовых полуфабрикатов из исследуемых сплавов ВТ1-0, П7МТ и ВТ6ч и их толщина, а также подробно описана методика формирования на образцах поверхностных газонасыщенных слоёв различной глубины, включающая в себя высокотемпературный отжиг в воздушной атмосфере с последующей пескоструйной обработкой и химическим травлением, и методика определения толщины оксидных плёнок.

В диссертации представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию оксидных пленок и газонасыщенных слоёв различной глубины на характеристики материала при циклических и динамических испытаниях. Установлены параметры оксидных плёнок и газонасыщенных слоёв, формирующихся в процессе воздушного отжига листов, позволяющих повысить усталостную долговечность и ударную вязкость титановых листов. Высказано предположение о положительном влиянии оксидных пленок на указанные характеристики вследствие наличия препятствия для распространения дислокаций через пленку и возникновения напряжений противоположного знака по отношению к внешнему источнику нагружения.

Изучено влияние газонасыщенных слоёв и оксидных плёнок на технологическую пластичность тонколистовых титановых полуфабрикатов, а также на усталостную долговечность и ударную вязкость сварных соединений из них и определены оптимальные параметры поверхностного газонасыщения. На основании проведенных исследований установлен различный характер влияния оксидных пленок и газонасыщенных слоев на технологическую пластичность исследуемых сплавов: от положительного для технического титана ВТ1-0 до отрицательного для сплава ВТ6ч.

При исследовании сварных листовых соединений установлено повышение усталостной долговечности и ударной вязкости зоны термического влияния для сплавов ВТ1-0 и ПТ7М при наличии регламентированного газонасыщенного слоя и отсутствие влияния на данные характеристики для сплава ВТ6ч. В отличие от газонасыщенных слоев, характер влияния оксидных плёнок на усталостную долговечность противоположен их влиянию на ударную вязкость, а именно: оксидные плёнки снижают усталостную долговечность зоны термического влияния листов из всех исследуемых сплавов, однако повышают ударную вязкость.

Научная новизна работы. В процессе выполнения диссертационной работы автором определены параметры воздушного отжига, приводящие к формированию на поверхности листов из сплавов ВТ1-0 и ПТ7М оксидной пленки оптимальной толщины, позволяющей повысить их усталостную долговечность и ударную вязкость. Несомненно, важным результатом исследований является установленная автором закономерность повышения усталостной долговечности листовых полуфабрикатов из всех исследуемых сплавов при наличии на их поверхности оксидной пленки как без газонасыщенного слоя, так и в сочетании с ним при условии перепада уровня микротвердости не более 20 % по сравнению с основным металлом. Эти и другие результаты работы обладают бесспорной научной новизной.

Практическая значимость работы. Полученные в работе результаты позволили установить оптимальные параметры газонасыщенных слоев для повышения усталостной долговечности и ударной вязкости листовых полуфабрикатов из исследуемых сплавов при сохранении технологической пластичности и обосновать на их основе целесообразность применения низкотемпературного воздушного отжига, позволяющего, кроме того, обеспечить снижение затрат на изготовление конструкций из тонких титановых листов, что подтверждено актом внедрения в производство ПАО «ВАСО».

Достоверность полученных в работе результатов. Результаты исследований получены с помощью современных измерительных средств и апробированных стандартных методик на калибруемом оборудовании. Основные выводы по работе и защищаемые положения обоснованы применением различных независимых методов исследования. Представленные в диссертации материалы составляют достаточный массив экспериментальных измерений с надлежащей обработкой методами математической статистики.

Замечания по диссертации и автореферату. По содержанию и оформлению диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. В диссертационной работе недостаточно обоснован выбор сплавов ВТ1-0, ПТ7М и ВТ6ч в качестве объектов исследования. В пункте 2.1 автор ограничивается утверждением, что выбранные сплавы широко применяются для производства деталей авиационной техники и условно являются представителями титановых сплавов низкой, средней и высокой прочности. При этом остаётся неясным:

- чем обусловлен выбор для проведения исследований двух сплавов α -класса (ВТ1-0 и ПТ7М) и не выбран ни один из псевдо- α -сплавов (ОТ4, ОТ4-1, ВТ20), легированных β -стабилизаторами и содержащих в отожжённом состоянии (в отличие от α -сплавов), небольшое количество (4 – 7 об. %) β -фазы. Следует отметить, что листовые полуфабрикаты из сплавов группы ОТ4 и сплава ВТ20 не менее широко применяются при производстве элементов конструкций как военной, так и гражданской авиационной техники;

- чем обусловлен выбор для проведения исследований листовых полуфабрикатов из сплава ВТ6ч, содержащего в отожжённом состоянии не более 10 об. % β -фазы. Наиболее часто используемыми в настоящее время, а также планируемыми к применению в конструкциях перспективных образцов авиационной техники видами полуфабрикатов из данного сплава являются не столько листы, сколько крупногабаритные поковки, штамповки и плиты. С этой точки зрения более предпочтительным представляется выбор в качестве одного из объектов исследования высокопрочного сплава ВТ23 (ВТ23М), содержащего в отожжённом состоянии около 30 об. % β -фазы;

- чем обусловлено отсутствие среди объектов исследования представителя высокопрочных высокотехнологичных сплавов переходного и псевдо- β -классов, содержащих в отожжённом состоянии более 50 об. % β -фазы (ВТ30, ВТ32, ВТ35). Псевдо- β -сплавы, в частности новый сплав ВТ47, рассматриваются в качестве альтернативы сплаву ВТ6 для изготовления из листовых полуфабрикатов элементов конструкций сложной формы деформационными методами (например, передней кромки широкохордной лопатки вентилятора перспективного авиационного двигателя большой тяги ПД-35).

Таким образом, выбор в качестве объектов исследования, наряду с техническим титаном, также и сплавов, содержащих в отожжённом состоянии различное количество β -фазы (от 4 – 7 об. % до 50 – 70 об. %) позволил бы

установить закономерности формирования газонасыщенных слоёв и оксидных плёнок в процессе отжига в воздушной атмосфере и их влияние на динамические характеристики для всех классов титановых сплавов с максимально широкой вариативностью их фазового состава.

2. В таблице 2.1 в качестве примесей для сплавов ПТ7М и ВТ6ч указаны цирконий и кислород соответственно, что является некорректным:

- цирконий в титановых сплавах, в том числе в сплаве ПТ7М (в количестве 2,0 – 3,0 % по массе в соответствии с ГОСТ 19807-91), является легирующим элементом, а именно – нейтральным упрочнителем, обеспечивающим, наряду с алюминием, растворное упрочнение сплава;

- кислород в соответствии с Изменением № 8 к ОСТ 1 90013-81 введён в число легирующих элементов сплава ВТ6ч и его содержание в нём в соответствии с Изменением № 12 к ОСТ 1 90013-81 ограничено интервалом 0,07 – 0,2 % по массе.

3. В пункте 2.1 автор указывает, что в работе для формирования регламентированных газонасыщенных слоёв и оксидных плёнок применяли отжиг образцов, изготовленных из листовых заготовок для каждого вида испытаний, в воздушной атмосфере лабораторной шахтной печи. При этом погрешность при измерении температуры составляла ± 5 °С. В качестве подтверждения реализации на практике основных результатов работы представлен акт внедрения от ПАО «ВАСО» об их использовании при уточнении технологических процессов термообработки конструкций, изготовленных из тонколистовых полуфабрикатов титановых сплавов.

Однако, при термической обработке деталей или конструкций из титановых сплавов, особенно крупногабаритных, в условиях промышленного производства имеет место достаточно сложная задача по обеспечению регламентированной толщины газонасыщенного слоя по всей поверхности отжигаемой детали или конструкции. Это обусловлено значительно бóльшим допустимым градиентом по температуре и связанным с ним градиентом по концентрации химических элементов, входящих в состав воздуха (таких как азот, кислород, водород), в рабочей камере промышленной печи по сравнению с лабораторной печью.

Таким образом, целесообразным представлялось бы осуществление в условиях промышленного производства ПАО «ВАСО» воздушного отжига крупногабаритных листов из исследуемых сплавов, используемых при изготовлении деталей или конструкций, с представлением в диссертационной

работе результатов измерения глубины регламентированного газонасыщенного слоя и толщины оксидной плёнки для оценки их равномерности по всей поверхности полуфабрикатов.

4. В главе 3 диссертационной работы автор приводит результаты исследований по влиянию оксидных пленок и газонасыщенных слоёв на сопротивляемость листов из титановых сплавов ВТ1-0, ПТ7М и ВТ6ч циклическому нагружению в условиях проведения испытаний на малоцикловую усталость.

При этом определяемой в работе характеристикой материала является число циклов до разрушения (N). Однако указанную характеристику автор в большинстве случаев именуется малоцикловой усталостью, что является некорректным с точки зрения используемой терминологии. Усталостью принято называть процесс накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, который приводит к изменению его свойств, образованию трещин и разрушению, а способность материала противостоять усталости – выносливостью, одной из характеристик которой как раз и является число циклов до образования трещины (либо до разрушения материала) или усталостная долговечность.

В то же время, при анализе совместного влияния оксидных плёнок и газонасыщенных слоёв на сопротивление усталостному разрушению листов в работе определяется, в частности, отношение числа циклов до разрушения материала с оксидной плёнкой и газонасыщенным слоем (N) к числу циклов до разрушения основного металла с полностью удалённым газонасыщенным слоем (N_0). В данном случае следует отметить корректное наименование получаемой характеристики ($K_{абс.}$) – коэффициент долговечности.

5. В актуальности темы исследования в качестве задачи, требующей решения, автор указывает на необходимость исследования влияния объёмной и поверхностной структуры в листовых полуфабрикатах из титановых сплавов α - и $(\alpha+\beta)$ -классов, формирующейся в процессе различных видов обработки и приводящей к окислению, на их технологические и эксплуатационные свойства.

Однако при анализе результатов исследований автор приводит объяснение установленным закономерностям по влиянию оксидных плёнок и газонасыщенных слоёв на усталостную долговечность и ударную вязкость с точки зрения структурного состояния материала только лишь в отношении сварных соединений листовых полуфабрикатов из исследуемых сплавов. При этом научное обоснование влияния оксидных плёнок и газонасыщенных слоёв на усталостную долговечность,

ударную вязкость, предел прочности при растяжении, угол загиба при испытаниях на изгиб и глубину выдавливания при испытаниях на выдавливание по Эриксену с точки зрения структурно-фазового состояния листов без применения сварки в диссертационной работе не представлено.

В связи с этим неясно, можно ли использовать полученные в работе результаты и установленные закономерности при разработке уточнений для режимов термической обработки с целью повышения свойств и снижения затрат на изготовление деталей и конструкций из листовых полуфабрикатов исследуемых титановых сплавов при наличии колебаний их химического состава в допустимых пределах в соответствии с нормативной документацией (ГОСТ, ОСТ, ТУ), а также для листов из сплавов тех же классов, но других марок, имеющих иное структурно-фазовое состояние, определяемое как системой легирования, так и технологическими режимами на предварительных стадиях их изготовления (размером и морфологией структурных составляющих, объёмной долей фаз и др.).

6. В пункте «Структура и объем диссертации» автореферата имеются неточности в указанных количествах рисунков (не 62, а 57), таблиц (не 27, а 25) и наименований цитируемых источников литературы (не 120, а 119, т.к. под номерами 22 и 41 представлена одна и та же публикация).

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и в большинстве случаев носят рекомендательный характер для планирования и представления результатов последующих научно-исследовательских работ в рамках данной тематики.

Заключение. В целом диссертационная работа Шахова С.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены обоснованные технические решения, позволяющие повысить эксплуатационную долговечность конструкций из тонколистовых полуфабрикатов титановых сплавов ВТ1-0, ПТ7М и ВТ6ч за счет формирования регламентированных газонасыщенных слоев с одновременным сохранением технологической пластичности, и технологические решения в части применения низкотемпературного отжига взамен полного отжига листовых конструкций из этих сплавов. Постановка задач исследования, методика их реализации, полученные результаты изложены с достаточной степенью подробности. Качество оформления соответствует требованиям к материалам, предназначенным для публикации в научной печати.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 5 научно-технических конференциях, опубликованы в 10 научных работах, 4 из которых – в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и могут быть использованы в авиакосмической отрасли, а также других отраслях промышленности, в которых применяются конструкции из листовых полуфабрикатов титановых сплавов.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям пунктов 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор – Шахов Сергей Викторович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 15.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент: кандидат технических наук, доцент, директор федерального бюджетного учреждения «Российская научно-техническая промышленная библиотека» (e-mail: dzunovichda@mati.ru)



/ Дзунович Дмитрий Анатольевич /

15.11.19₂



105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 1

Тел./факс: (495) 777-94-73

E-mail: rntpb@yandex.ru