

# **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТИТАН-НИОБИЕВЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ВЫВЕДЕННОГО В ЗАЩИТНУЮ АРГОНОВУЮ АТМОСФЕРУ**

*И.А. ПОЛЯКОВ<sup>1</sup>, В.В. САМОЙЛЕНКО<sup>1</sup>, М.Г. ГОЛКОВСКИЙ<sup>2</sup>, О.Э. МАТЦ<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет

<sup>2</sup> Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

E-mail: status9@mail.ru

Титан и его сплавы на данный момент находят всё большее применение в промышленности. Повышенный интерес к металлу объясняется сочетанием таких свойств, как высокая пластичность, прочность и коррозионная стойкости, что позволяет использовать титан в химической промышленности для изготовления ответственных изделий, работающих в условиях постоянного воздействия агрессивных сред. Однако в некоторых случаях коррозионная стойкость титана не достаточна для обеспечения надежной и длительной работы. Титановые сплавы подвержены интенсивной коррозии в кипящих растворах сильных кислот. Снижение скорости коррозии в таких средах, как правило, достигается либо за счёт элементов, повышающих пассивируемость титана, либо при введении элементов, увеличивающих эффективность катодного процесса. Последний способ является более предпочтительным, однако в кипящих растворах окислительных кислот скорость коррозии титанового сплава сопоставима с металлом без катодных добавок [1]. По этой причине для комплексного повышения коррозионной стойкости как в окислительных, так и восстановительных средах рационально использовать легирующие элементы, склонные к пассивации (тантал и ниобий), но не склонные к перепассивации (молибден и ванадий).

Поскольку взаимодействие между жидкостью и металлом идет преимущественно по поверхности, то для защиты от коррозии достаточно нанести покрытие или слой с необходимым составом. Тантал по сравнению с ниобием обладает более широкой областью устойчивости в агрессивных средах. Однако данный элемент характеризуется большой плотностью (16,6 г/см<sup>3</sup>), что может значительно увеличить вес заготовки. Кроме того, к недостаткам тантала можно отнести высокую стоимость по причине его малой распространенности элемента в земной коре. В таком случае применение ниобия является более целесообразным. Плотность ниобия почти в 2 раза ниже (8,57 г/см<sup>3</sup>) чем у тантала, при этом он не является дефицитным.

Среди методов нанесения ниобийсодержащих слоёв можно выделить вневакуумную электронно-лучевую наплавку. Метод позволяет создавать поверхностно легированные слои толщиной ~ 2 мм с высокой производительностью (10 мм/с и более) [3]. Работы, проведенные ранее, свидетельствуют о том, что при подборе оптимального режима вневакуумной электронно-лучевой наплавки формируются однородные слои высокого качества, в которых отсутствуют дефекты в виде пор, трещин и нерастворившихся частиц. Так как обработка проводится в воздушной атмосфере, то с целью исключения насыщения поверхности металла газами в исходную порошковую смесь вводятся флюсы. Несмотря на это, в источнике [4] указывается, что поверхность переплавленного металла все же насыщается газами атмосферы и, в частности, кислородом. По этой причине в работе был реализован принципиально новый подход, основанный на оплавлении легирующей порошковой смеси в защитной среде аргона.

Эксперименты по созданию поверхностных слоёв проводились в ИЯФ СО РАН с использованием ускорителя электронов ЭЛВ-6. Для создания защитной атмосферы при наплавке был специально собран герметичный кожух, в котором размещался подвижный стол. Составом выступала Ti-Nb порошковая смесь с содержанием ниобия и титана 27 % и 73 %, соответственно. Насыпка наносилась на поверхность плоских титановых заготовок

100x25x12 мм дорожкой шириной 15 мм по центру вдоль большей грани. Заготовка с сформированным порошковым слоем затем помещалась на платформу подвижного стола. Обработка материала велась по следующим режимам: ток пучка 11 мА; энергия электронов 1,4 МэВ; скорость перемещения 10 мм/с; расстояние от выпускного отверстия до заготовки 136 мм. Перед выпуском электронного пучка защитный кожух заполнялся аргоном.

Поперечное сечение наплавленного слоя представлено на рисунке 1. Сформированный слой характеризуется практически бездефектным строением. Небольшой количество пор фиксируется в зоне сплавления слоя с титановой основой на краю наносимой дорожки. Толщина слоя в центральной части составляет ~ 4,5 мм. Ширина дорожки 16,5 мм. Концентрация ниобия в поверхностном сплаве согласно данным EDX-анализа составила 7 %. На микроуровне строение слое представлено пластинчатым строением.



Рисунок 1 – Поперечное сечение Ti-Nb слоя, наплавленного электронным лучом в защитной атмосфере аргона

С целью определения уровня механических свойств наплавленного слоя проводились дюрометрические испытания и испытания на статическое растяжение. Измерение микротвердости наплавленного слоя показало, что среднее значение HV составляет ~ 250. Для титана данный параметр составил 180. Прочностные испытания наплавленного слоя показали, что разрушение материала произошло при напряжении 680 МПа. Предел прочности технически чистого титана в эксперименте составил 290 МПа.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что электронно-лучевая наплавка в защитной среде аргона позволяет сформировать Ti-Nb слои большой толщины (до 4,5 мм) на поверхности титановых заготовок. Слои характеризуются практически бездефектным строением. Наплавка Ti-Nb смеси в аргоне способствует повышению предела прочности материала до 680 МПа, что в 2,3 раз больше по сравнению с технически чистым титаном.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00733 мол\_а.*

### Список литературы

1. Томашов Н.Д. Титан и коррозионностойкие сплавы на его основе. – М.: Металлургия, 1985. – 80 с.
2. Polyakov I.A. et al. Structure and corrosion resistance of Ti-Nb layers obtained by non-vacuum electron-beam cladding on CP titanium substrates // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1785. – Art. 040047
3. Журавина Т.В. и др. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошков системы титан – тантал – ниобий на титан BT1-0 // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2012. – № 1 (54). – С. 90-95.