XXVI Международная конференция
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ
21–25 Августа 2023 Ярославль, Россия

Плазменное модифицирование поверхности титана для повышения его термической стабильности в условиях высокотемпературного окисления

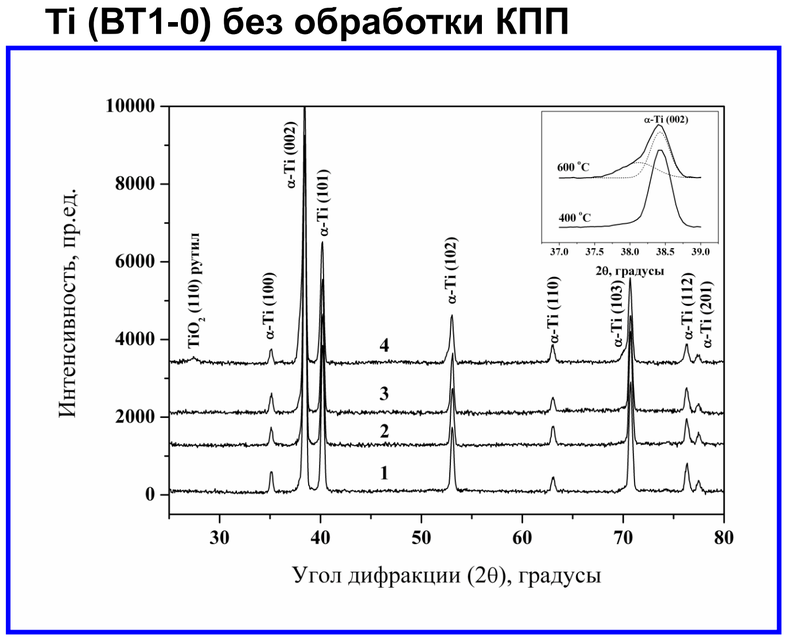
В.И. Шиманский[1], Д.В. Есипенко[1], В.В. Углов[1], В.М.Асташинский[2], А.М. Кузьмицкий[2]

[1]Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: shymanskiv@mail.ru
[2]Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

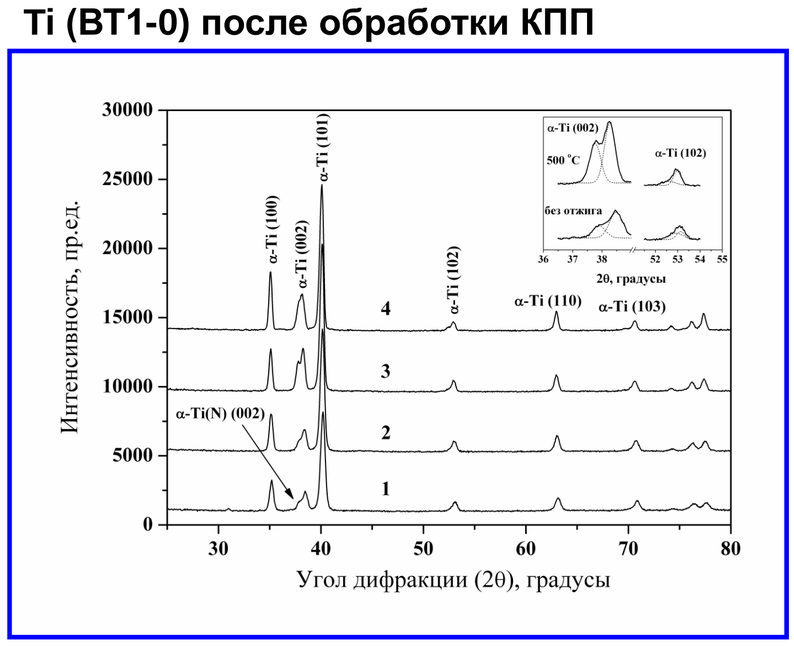
Представлены результаты исследования структурно-фазового состояния приповерхностного слоя титанового сплава ВТ1-0, обработанного компрессионными плазменными потоками в остаточной атмосфере азота и подвергнутого термическому воздействию на воздухе в течение 1 ч в интервале температур от 400 до 900°С. С помощью рентгеноструктурного анализа установлено, что в отсутствие предварительного воздействия компрессионных плазменных потоков при температуре 500°С в поверхностном слое титана формируется твердый раствор α-Ti(O), который при температуре 600°С начинает трансформироваться в фазу оксида титана TiO_2 (рутил). Предварительная обработка титана компрессионными плазменными потоками способствует формированию твердого раствора α-Ti(N), окисление которого происходит с меньшей скоростью, что ведет к увеличению начальной температуры формирования оксида TiO_2 до 700°С, свидетельствующее о повышении термической стабильности такой структуры.

Фазовый состав (результаты рентгеноструктурного анализа)

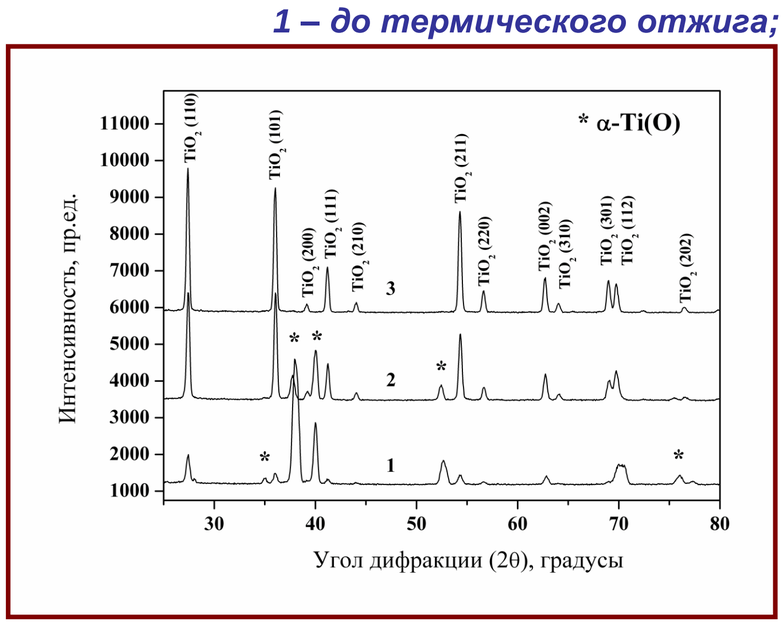
Ti (ВТ1-0) без обработки КПП

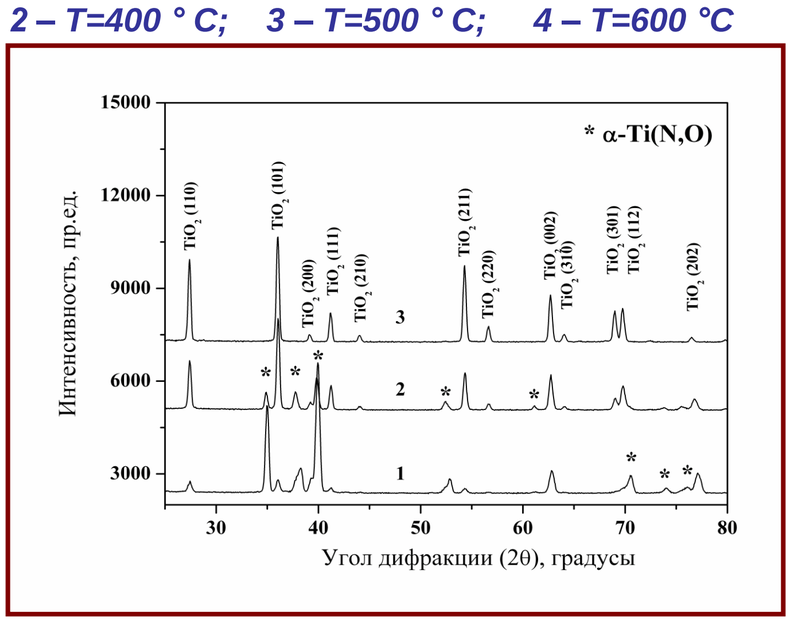


Ti (ВТ1-0) после обработки КПП



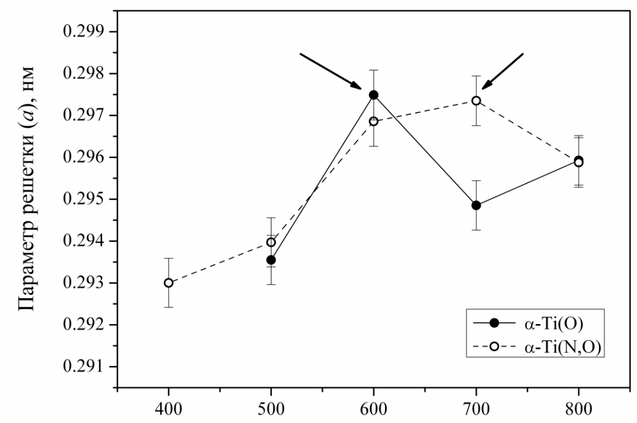
1 – до термического отжига; 2 – T=400 ° C; 3 – T=500 ° C; 4 – T=600 °C

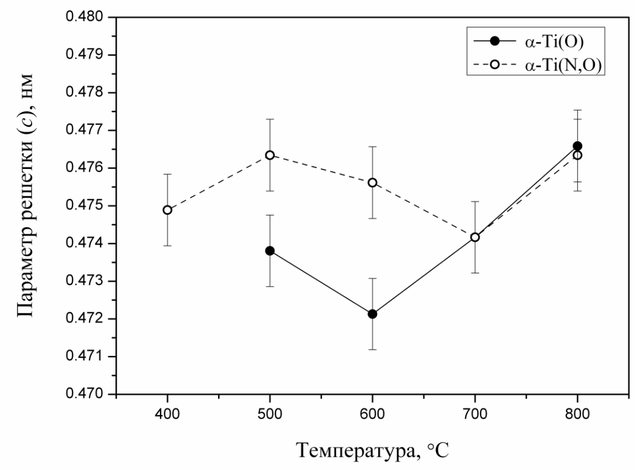


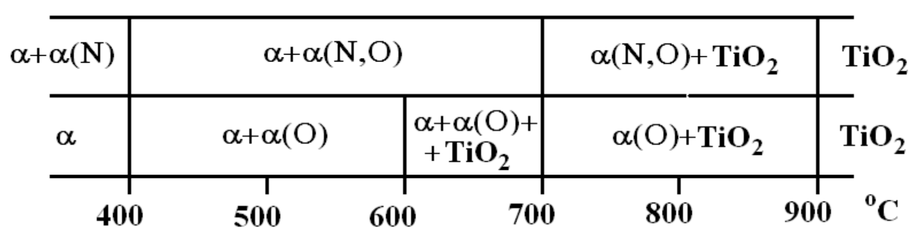


1 – T=700 ° C; 2 – T=800 ° C; 3 – T=900 °C

Параметры кристаллической решетки





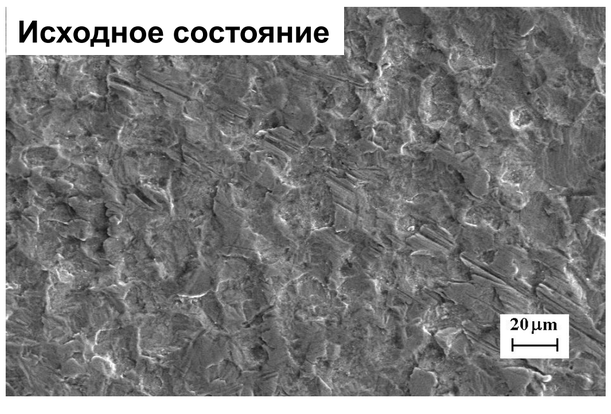


В результате проведения термического отжига на воздухе при температуре 400°С титана без предварительной обработки компрессионными плазменными потоками сохраняется гексагональная низкотемпературная α-фаза титана, о чем свидетельствуют результаты фазового анализа. При увеличении температуры отжига до 600°С происходит образование твердого раствора на основе низкотемпературной фазы титана и кислорода α-Ti(O), который часто интерпретируется как один из низших оксидов титана Ti_3O или Ti_2O, обладающих такой же кристаллической структурой, как и α-Ti. Дифракционные признаки фазы твердого раствора α-Ti(O) обнаруживаются вплоть до температуры 800°С. При температуре отжига 600°С в приповерхностном слое титана начинает формироваться фаза оксида TiO_2 (рутил). При температурах отжига 700–800°С происходит интенсивное увеличение объемного содержания оксида TiO_2, который становится преобладающей фазой после термического воздействия при температуре 900°С. Параметры тетрагональной решетки данной фазы составляют *a* = 0.4596 и *c* = 0.2964 нм. Сопоставление параметров решетки твердого раствора α-Ti(O) и оксида титана TiO_2 показывает, что с увеличением температуры отжига вследствие повышения концентрации кислорода в приповерхностном слое параметр решетки *a* твердого раствора α-Ti(O) увеличивается до тех пор, пока не достигнет (или не превзойдет) значение параметра решетки оксида. Это условие реализуется при температуре 600°С.

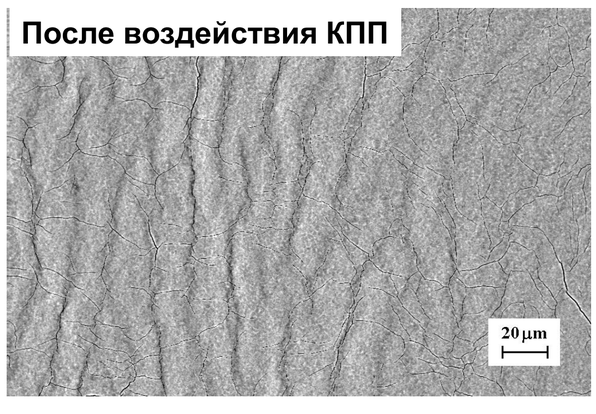
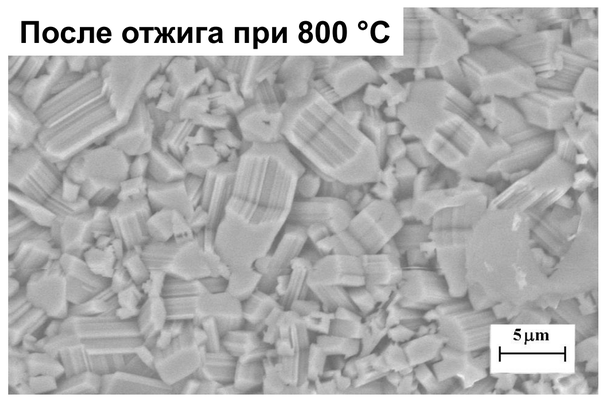
Термическое воздействие при температурах 400–600°С на титан после предварительной обработки компрессионными плазменными потоками приводит к формированию твердого раствора α-Ti(N,O). На образование именно такого твердого раствора указывает более высокое значение его параметра решетки по сравнению с соответствующим параметром твердого раствора α-Ti(O), сформировавшегося в титане в отсутствие воздействия компрессионных плазменных потоков. С увеличением температуры отжига до 700°С наблюдается рост параметра решетки *a* твердого раствора α-Ti(N,O), указывающий на повышение в нем концентрации кислорода. При температуре 700°С параметр *a* больше значения 0.2956 нм, соответствующего параметру решетки фазы оксида титана TiO_2, который начинает формироваться при данной температуре. Более того, как и в случае образования оксида титана без предварительного воздействия компрессионными плазменными потоками, начало роста оксидной фазы TiO_2 отмечается минимальным значением параметра *c* решетки твердых растворов α-Ti(O) и α-Ti(N,O). Именно при таких параметрах решетки твердые растворы характеризуются минимальным значением параметра гексагональности 1.58, что близко к параметру тетрагональности фазы оксида титана TiO_2 1.55. Таким образом, локальные области такого твердого раствора с соответствующими параметрами решетки могут быть эффективными зародышами, на которых происходит дальнейший рост фазы оксида титана TiO_2. Из полученных закономерностей видно, что величина параметра решетки твердого раствора α-Ti(O) либо α-Ti(N,O) является показателем начала фазового перехода, связанного с образованием оксида титана.

Морфология поверхности

Исходное состояние



После воздействия КПП



После отжига при 800 °С