

УДК 669.295

А. А. Зыкова*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**annakedrovka@mail.ru*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *М. С. Карбаналов*

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА VT18U

Исследования проведены на экспериментальном сплаве типа VT18U с применением методов электронной микроскопии и термогравиметрии.

Цель – изучить кинетику окисления сплава при различных температурах в течение 24 часов.

Ключевые слова: сплав, масса образца, электронная микроскопия, термогравиметрия, скорость окисления.

А. А. Zyкова

KINETICS OF OXIDATION OF THE ALLOY VT18U

Work was carried out on an experimental alloy type VT18U using the methods of electron microscopy and thermogravimetry.

The purpose of this work is to study the kinetics of oxidation of the alloy at different temperatures for 24 hours.

Keywords: alloy, sample weight, electron microscopy, thermogravimetry, oxidation rate.

Рациональный выбор для использования тех или иных титановых сплавов во многих областях современного производства неразрывно связан с анализом их поведения при конкретных условиях эксплуатации. Наиболее часто встречающимися критическими параметрами при эксплуатации являются работа в условиях высоких и низких температур, а также – при циклических нагрузках. В связи с этим, наиболее важными эксплуатационными свойствами титановых сплавов можно считать хладостойкость в условиях работы при криогенных температурах, жаропрочность – при эксплуатации в области повышенных температур и усталостную выносливость – при знакопеременном нагружении [1].

Исследование жаропрочности методом термогравиметрии позволяет оценить зависимость изменения массы образца во времени. В частности, производная от ТГ-сигнала (скорость изменения массы), представляемая кривой ДТГ, позволяет установить момент времени или температуру, при которой изменение веса происходит наиболее быстро.

Определить степень развития процесса окисления во времени при постоянной температуре можно исследуя увеличение массы твердой фазы (привеса) по мере развития окисления. Определить увеличение массы образцов можно в случае, когда продукты реакции, образующиеся при поглощении окислителя, остаются в реакционном пространстве [2].

Материалом исследования являлся титановый сплав ВТ18У. Химический состав и критические точки представлены в следующих табличных формах:

Марочный химический состав сплава ВТ18У, мас.%

Ti	Al	Zr	Sn	Mo	Nb	Si	N	Fe	C	O	H	Примесей
Осн.	6,2– 7,3	3,5– 4,5	2– 3	0,4– 1	0,5– 1,5	0,1– 0,25	< 0,04	< 0,2	< 0,1	< 0,14	< 0,015	< 0,3

Эквиваленты легирующих элементов по алюминию и молибдену

Средний химический состав	[Al]стр экв	[Mo]стр экв	[Al] пр экв	[Mo] пр экв
6,5 Al–4Zr–2,5Sn–0,6Mo–1Nb–0,15Si	9,0	1,0	13,6	0,9

Критические температуры для сплава ВТ18У, °С

Температура A_{c3}	Температура рекристаллизации		Температура отжига
	Начало	Конец	Прутки, поковки, штамповки
990–1030	900	980	900–980

Для определения локального химического состава применялся метод растровой электронной микроскопии. Использовался дуолучевой электроно-ионный микроскоп *ZEISS CrossBeam AURIGA* (ускоряющее напряжение $U = 20$ кВ, источник электронов – автоэмиссионный катод, с приставкой для энергодисперсионного микрорентгеноспектрального анализа *IE 350 X-MAX-80*, разрешение – не ниже 124 эВ).

Анализ изменения массы в исследуемых образцах при непрерывном нагреве проводился методом термогравиметрии (ТГА) на приборе синхронного термического анализа *NETZSCH “STA449 C Jupiter”*. Испытывались два образца цилиндрической формы, диаметром $d = 5,16 \pm 0,004$ мм, высотой $h_1 = 3,35 \pm 0,004$ мм, $h_2 = 5,15 \pm 0,004$ мм.

Съемка нетравленного шлифа проводилась во вторичных и обратно-рассеянных электронах. При регистрации обратно-рассеянных электронов кольцевым полупроводниковым детектором был сформирован композиционный контраст. Количество обратно-рассеянных электронов

прямо пропорционально среднему атомному номеру материала, поэтому на формируемом изображении участок с более высоким атомным номером выглядит более светлым, а с более низким – темным.

На рис. 1 видны темные пластины α -фазы, длина которых составляет порядка 100 мкм, толщина – порядка 1–5 мкм, светлые границы пластин представляют собой области, обогащенные элементом с большим атомным номером – остаточную β -фазу.

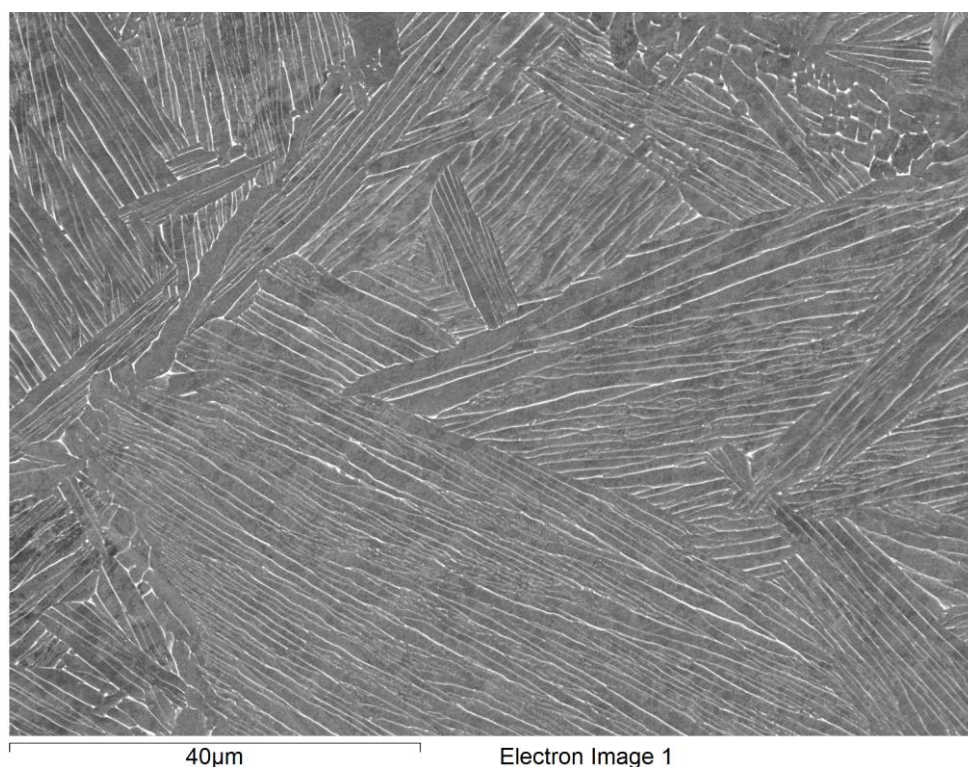


Рис. 1. Структура поверхности образца

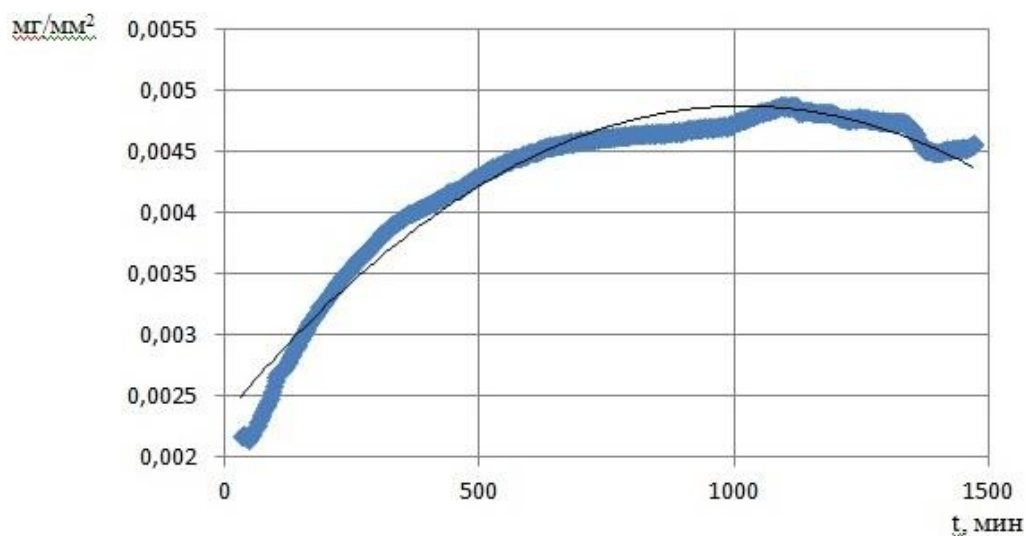


Рис. 2. Изменение массы образца на единицу площади в течение 24 часов при $T = 650\text{ °C}$

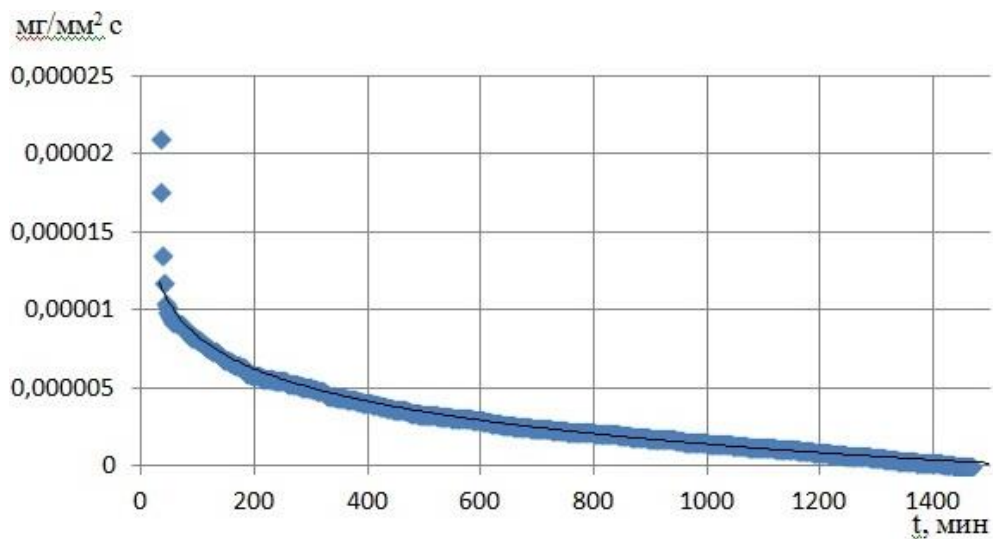


Рис. 3. Изменение скорости окисления образца при $T = 650 \text{ }^\circ\text{C}$

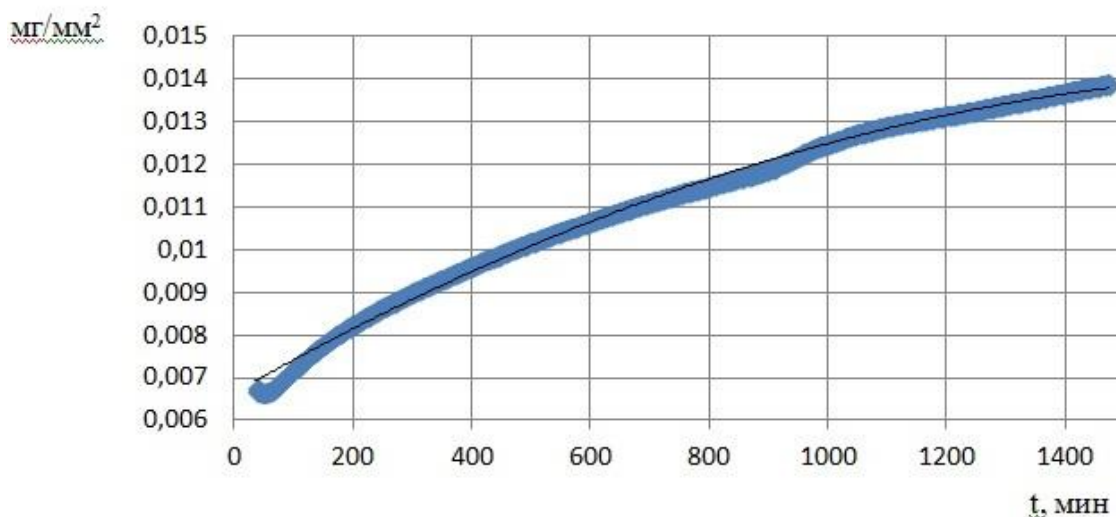


Рис. 4. Изменение массы образца на единицу площади в течение 24 часов при $T = 750 \text{ }^\circ\text{C}$

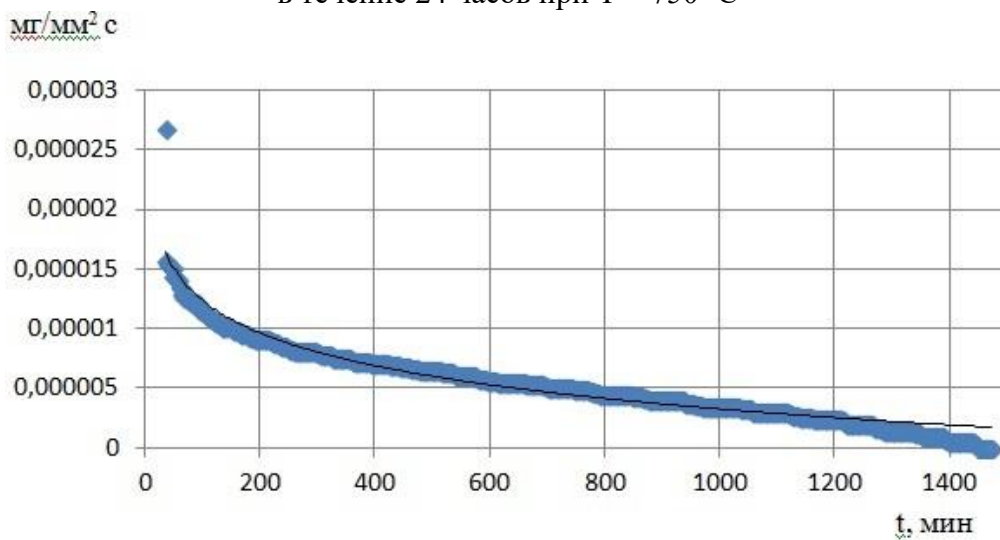


Рис. 5. Изменение скорости окисления образца при $T = 750 \text{ }^\circ\text{C}$

Изменение массы образца (рис. 2, 4) при обеих температурах окисления не подчиняется линейному закону. Изменение массы

подчиняется степенному закону, показатель степени равен 2. Таким образом, скорость окисления предположительно подчиняется логарифмическому закону. Это явление связано со сложным характером окисления, включающим в себя диффузию ионов через окалину и реакции на границах фаз [2].

На образце, окисляемом при 650 °С, изменение массы образца происходит менее заметно, чем при температуре 750 °С. Это связано с тем, что процессы диффузии кислорода в металл при температуре 650 °С происходят медленнее, чем при температуре 750 °С, об этом свидетельствует анализ кривых скорости окисления (рис. 3, 5). Уменьшение скорости окисления образца связано с наличием пленки продуктов реакции, которая закрывает поверхность металла, отделяя ее от газовой фазы. В этих условиях с течением времени реакция все более замедляется, это значит, что пленка обладает защитными свойствами [2]. Таким образом, можно сделать вывод, что когда происходит отрыв пленки окисла титана с поверхности образца, процесс окисления возобновляется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илларионов А. Г., Попов А. А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2014. С. 137.
2. Бай А. С. Окисление титана и его сплавов. М. : Metallurgia, 1970. С. 320.