

УДК:669.295.04

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ВТ6 И ВТ3-1**

к. т. н. И. А. Маркова, к. т. н. Т. И. Ивченко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

Титан и его сплавы находят все более широкое применение в Украине и за ее пределами в самых различных отраслях промышленности благодаря уникальному сочетанию физико-химических и механических характеристик: от имплантатов и инструментов в медицине до крупногабаритных изделий авиа-, ракето-, судостроения, а также в химической, пищевой и других отраслях промышленности.

Для титановых сплавов характерна многокомпонентность с различными набором компонентов, их концентрацией и растворимостью в α - и β -фазах. Влияние каждого из основных компонентов на механические свойства титана в двойных системах исследовано достаточно хорошо, обзор этих результатов приведен в [1; 2]. Совместное влияние легирующих элементов в промышленных сплавах практически не изучалось.

Анализировали влияние изменения концентрации легирующих элементов и примесей на механические свойства широко применяемых титановых сплавов ВТ6 и ВТ3-1. Сплав ВТ6 относится к псевдо α -сплавам; содержит α -стабилизаторы Al и O (как примесь), изоморфный β -стабилизатор V, в качестве примесей эвтектоидообразующие β -стабилизаторы Fe и Si. Сплав ВТ3-1 является двухфазным и легирован алюминием, изоморфным β -стабилизатором молибденом и эвтектоидообразующими β -стабилизаторами хромом, железом, кремнием.

Задача данной работы состояла в исследовании влияния изменения концентрации компонентов на механические характеристики сплавов ВТ6 и ВТ3-1.

На машиностроительных заводах были отобраны статистические данные по химическому составу и механическим свойствам промышленных прутков из сплава ВТ6 и штамповок из сплава ВТ3-1.

В таблице 1 приведен химический состав исследуемых сплавов.

Таблица 1

Концентрация компонентов в сплавах ВТ6 и ВТ3-1

Концентрации компонентов, %					
ВТ6					
	Al	V	Fe	Si	O
ГОСТ	5,3–6,8	3,5–5,3	н.б. 0,60	н.б. 0,10	н.б. 0,20
Массив данных	5,8–6,3	4,3–5,2	0,26–0,50	0,01–0,08	0,11–0,16
ВТ3-1					
	Al	Mo	Cr	Fe	Si
ГОСТ	5,5–7,0	2,0–3,0	0,8–2,3	0,2–0,7	0,15–0,40
Массив данных	5,6–6,7	2,0–2,5	1,1–1,9	0,32–0,7	0,27–0,38

Как следует из таблицы 1, содержание всех компонентов соответствовало требованиям нормативной документации.

В результате анализа массива статистических данных определены коэффициенты корреляции (K) каждой из механических характеристик исследуемых сплавов (предел прочности, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость) с концентрациями каждого из компонентов, их значения представлены в таблице 2.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции механических свойств с химическим составом титановых сплавов BT6 и BT3-1

Элементы	Коэффициенты корреляции							
	BT6				BT3-1			
	σ_b	δ	ψ	KCU	σ_b	δ	ψ	KCU
Al	0,456	-0,343	0,005	-0,202	-0,366	0,351	0,066	0,119
V	0,103	0,288	0,738	0,015	-	-	-	-
Mo	-	-	-	-	-0,153	0,169	0,056	0,159
Cr	-	-	-	-	0,494	0,044	0,094	-0,03
Fe	0,275	-0,244	0,238	0,031	0,316	-0,119	0,282	-0,158
Si	0,039	-0,015	-0,18	0,064	0,126	-0,123	-0,136	-0,145
O	0,689	-0,365	-0,385	-0,571	-	-	-	-
Cr+Fe+Si	0,248	-0,215	0,157	0,044	0,664	0,056	0,036	-0,115
Al + O	0,509	-0,366	-0,032	-0,251	-	-	-	-

Из анализа приведенных данных следует:

- на предел прочности сплава BT6 наибольшее влияние оказывало изменение концентраций α -стабилизаторов кислорода (K = 0,689) и алюминия (K = 0,456), упрочняли сплав и β -стабилизаторы – железо (K = 0,275) и ванадий (K = 0,103). Кремний считается одним из сильных упрочнителей титановых сплавов, но ввиду малого содержания в сплаве он не оказывал существенного воздействия;

- на относительное удлинение положительно влиял только ванадий (K = 0,246), увеличение концентраций кислорода, алюминия и железа вызвали снижение его значений;

- величина относительного сужения, структурно-чувствительной характеристики, возрастала при увеличении содержания изоморфного β -стабилизатора ванадия (K = 0,545), в меньшей степени – эвтектоидообразующего β -стабилизатора Fe (K = 0,153), что связано с увеличением количества пластичной β -фазы по границам зерен; этот показатель не зависел от изменения содержания алюминия, повышение концентраций кремния и кислорода приводило к его снижению;

- изменение концентраций β -стабилизаторов не влияло на ударную вязкость, существенно снижало ее повышение содержания кислорода (K = -0,387) и алюминия (K = -0,126);

- для сплава BT3-1 возрастание концентрации алюминия приводило к снижению прочности (K = -0,366) и повышению относительного удлинения

($K = 0,351$), подобное влияние оказывал и изоморфный β -стабилизатор молибден, коэффициенты корреляции всех механических свойств с его содержанием имели небольшие значения, что, вероятно, связано с малым интервалом изменения концентраций (0,5 %);

- эвтектоидообразующие элементы, хром, железо и кремний оказывали упрочняющее действие, наиболее существенно влияло изменение содержания хрома ($K = 0,494$), влияние кремния было более слабым;
- высокое значение ($K = 0,664$) имел коэффициент корреляции предела прочности с суммой эвтектоидообразующих элементов; на характеристики пластичности эта группа элементов практически не влияла, несколько снижая ударную вязкость ($K = -0,115$).

Таким образом, влияние изменения содержания α -стабилизатора алюминия и изоморфных β -стабилизаторов (V и Mo) в псевдо α -сплаве ВТ6 и $\alpha+\beta$ -сплаве ВТ3-1 было различным. В сплаве ВТ6 увеличение концентрации алюминия вызывало существенное упрочнение с одновременным снижением пластичности и ударной вязкости. В сплаве же ВТ3-1 повышение содержания алюминия приводило к некоторому снижению предела прочности и повышению относительного удлинения и ударной вязкости. Ванадий в сплаве ВТ6 несколько повышал предел прочности, оказывал заметное положительное влияние на характеристики пластичности. Увеличение концентрации молибдена в сплаве ВТ3-1 способствовало некоторому увеличению пластических характеристик при снижении прочности. Характер действия эвтектоидообразующих β -стабилизаторов был аналогичным в обоих сплавах.

На рисунке 1 показана зависимость предела прочности от концентрации алюминия в обоих исследованных сплавах, аппроксимированная в виде линейных трендов.

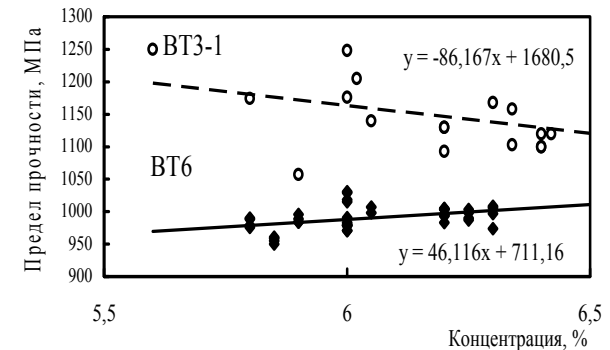
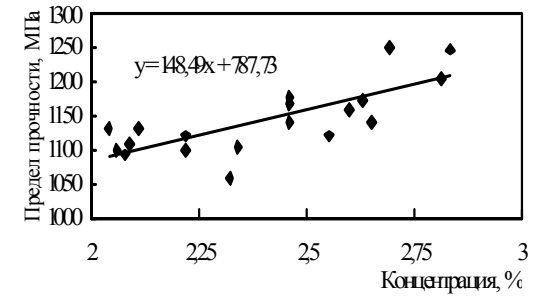
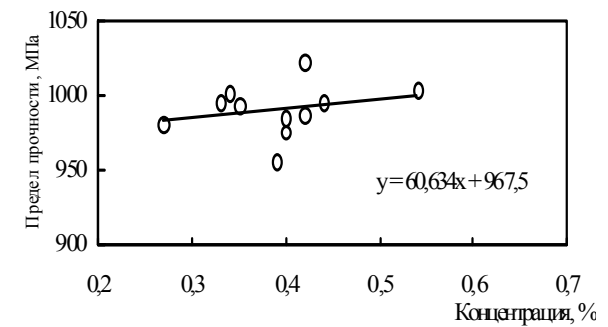


Рис. 1. Зависимость предела прочности сплавов ВТ6 и ВТ3-1 от содержания алюминия

На рисунке 2 представлены графики зависимости предела прочности от содержания эвтектоидообразующих β -стабилизаторов.



a



б

Рис. 2. Зависимость предела прочности сплавов ВТЗ-1 (а) и ВТ6 (б) от суммы концентраций эвтектоидообразующих β -стабилизаторов

Представленные графики наглядно подтверждают результаты определения коэффициентов корреляции предела прочности и концентрации компонентов титановых сплавов ВТ6 и ВТЗ-1.

Было рассчитано упрочнение титанового сплава ВТ6 при увеличении концентрации легирующего элемента на 1 % и примеси на 0,1 %. Эти данные в сравнении с литературными по повышению прочности титана легированием приведены в таблице 3.

Таблица 3

Упрочнение титана и его сплавов от введенного элемента

Упрочнение от 1 % компонента, МПа					
Элемент	Al	V	Fe	Si	О для 0,1 %
Данные [1]	50	35	75	120	120
ВТ6	46	9,7	68	57	70

Как следует из таблицы 3, величины упрочнения от 1 % алюминия для титана и титанового сплава ВТ6 практически совпадают. Для β -стабилизаторов значения прироста предела прочности меньше для сплава ВТ6 по сравнению с титаном. По-видимому, это связано с наличием в сплаве менее прочной β -фазы, в которой они преимущественно располагаются.

Для двухфазного сплава ВТ3-1 рассчитанное значение упрочнения от 1 % железа составило 76 МПа, что близко к известному, для кремния и хрома соответствующие значения превышали приведенные в литературе.

Таким образом, показано, что для псевдо α -сплава ВТ6 характер зависимости механических свойств от изменения концентраций легирующих элементов и примесей был таким же, как и в двойных системах «титан – легирующий элемент». В двухфазном титановом сплаве ВТ3-1 увеличение концентраций таких упрочнителей, как алюминий и молибден способствовало снижению значений предела прочности, характер действия эвтектоидообразующих β -стабилизаторов хрома, железа, кремния был аналогичным для двойных систем.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в реальных сплавах зависимость механических характеристик от изменения концентраций вводимого компонента отличается от аналогичных зависимостей в двойных системах «титан – легирующий элемент», в большей степени для двухфазного сплава ВТ3-1. Это обусловлено взаимодействием компонентов сплава и различиями в фазовом составе.

Литература

1. С. Г. Глазунов, В. Н. Моисеев. Конструкционные титановые сплавы. – М. : Металлургия, 1974. – 366 с.
2. У. Цвиккер. Титан и его сплавы. – М. : Металлургия, 1979. – 540 с.

УДК:669.295.04

Влияние химического состава на механические свойства титановых сплавов BT6 и BT3-1 / И. А. Маркова, Т. И. Ивченко // Металлознавство та термічна обробка металів : науков. та інформ. журнал / Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2014. – № 3. – С. –. – Табл. 3. – Рис. 2. – Бібліогр. : (2 назви).

Проанализировано влияние основных компонентов на механические свойства титановых сплавов BT6 и BT3-1. Показано, что в реальных сплавах зависимость механических характеристик от изменения концентраций вводимого компонента отличается от аналогичных зависимостей в двойных системах «титан – легирующий элемент», в большей степени для двухфазного сплава BT3-1. Это обусловлено взаимодействием компонентов сплава и различиями в фазовом составе.

Проаналізований вплив основних компонентів на механічні властивості титанових сплавів BT6 і BT3-1. Показано, що в реальних сплавах залежність механічних характеристик від зміни концентрацій компоненту, який вводиться, відрізняється від аналогічних залежностей в подвійних системах «титан – легуючий елемент», більшою мірою для двофазного сплаву BT3-1. Це обумовлено взаємодією компонентів сплаву і відмінностями у фазовому складі.

Influence of basic components is analysed on mechanical properties of titanium alloys BT6 and BT3-1. It is rotined that in the real alloys dependence of mechanical properties on the change of concentrations of the component differs from analogical dependences in the double systems «titanium – alloying element», in a greater degree for the $\alpha+\beta$ -alloy BT3-1. It contingently co-operation of components of alloy and distinctions in phase composition