

УДК:669.295.04

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6**

**д.т.н., проф. О. М. Шаповалова, к.т.н. И. А. Маркова,
к.т.н. Т. И. Ивченко**

Днепропетровский Национальный Университет им. Олеся Гончара

Титан и его сплавы находят все более широкое применение в Украине и за ее пределами в различных отраслях промышленности благодаря уникальному сочетанию физико-химических и механических свойств: высокой удельной прочности при удовлетворительной пластичности, высокому сопротивлению коррозии в средах повышенной агрессивности, немагнитности, бактерицидности и др.

Эти и другие особые свойства титановых сплавов обуславливают широкий спектр использования: 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 различным набором легирующих элементов и примесей, их концентраций и растворимостью в α - и β -фазах. Влияние каждого из основных компонентов на механические свойства титана в двойных системах исследовано достаточно хорошо, обзор результатов различных авторов приведен в [1; 2]. Совместное влияние легирующих элементов в промышленных сплавах практически не изучалось.

Сплав ВТ6, один из наиболее широко применяемых, содержит α -стабилизаторы Al и O (как примесь), изоморфный β -стабилизатор V, в качестве примесей эвтектоидообразующие β -стабилизаторы Fe и Si.

Задачей данной работы являлось исследование влияния легирующих элементов и примесей на механические характеристики сплава ВТ6.

На одном из машиностроительных заводов были отобраны статистические данные по химическому составу и механическим свойствам промышленных прутков из сплава ВТ6.

В таблице 1 приведены концентрации легирующих элементов (ЛЭ) и примесей в исследуемом титановом сплаве.

Таблица 1

Концентрация компонентов в сплаве ВТ6					
Концентрации компонентов, %					
	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

Как следует из таблицы, содержание всех легирующих элементов и примесей соответствовало требованиям ГОСТ.

В результате анализа массива статистических данных определены коэффициенты корреляции (K) каждой из механических характеристик прутков (предел прочности, относительное удлинение, относительное

сужение, ударная вязкость) с концентрациями каждого из компонентов сплава ВТ6.

На рисунке 1 представлены соответствующие гистограммы.

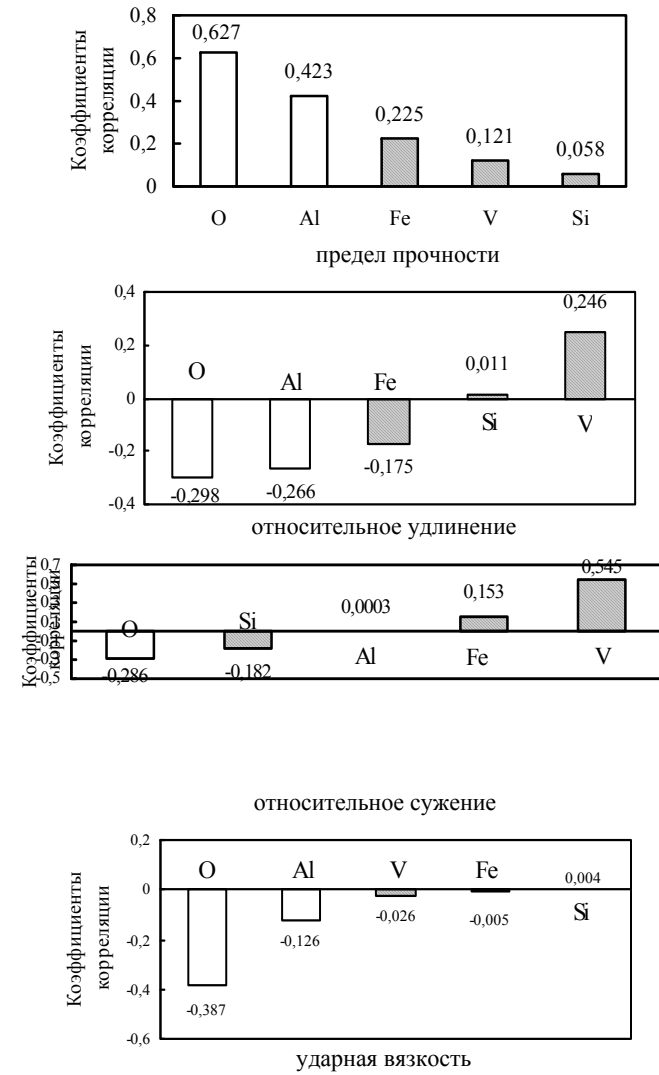


Рис. 1. Гистограммы коэффициентов корреляции механических свойств сплава ВТ6 с химическим составом

Из анализа приведенных данных следует:

- на предел прочности наибольшее влияние оказывали α -стабилизаторы кислород ($K = 0,627$) и алюминий ($K = 0,423$), упрочняли сплав и β -стабилизаторы железо ($K = 0,225$) и ванадий ($K = 0,121$), кремний считается одним из сильных упрочнителей титановых сплавов, но ввиду малого содержания в данном случае он не оказывал существенного воздействия;
- на относительное удлинение положительно влиял только ванадий ($K = 0,246$), увеличение концентраций кислорода, алюминия и железа вызывало снижение его значений;
- величина относительного сужения, структурно-чувствительной характеристики возрастала при увеличении содержания изоморфного β -стабилизатора V ($K = 0,545$), 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 снижали ее значения кислород ($K = \text{минус } 0,387$) и алюминий ($K = \text{минус } 0,126$).

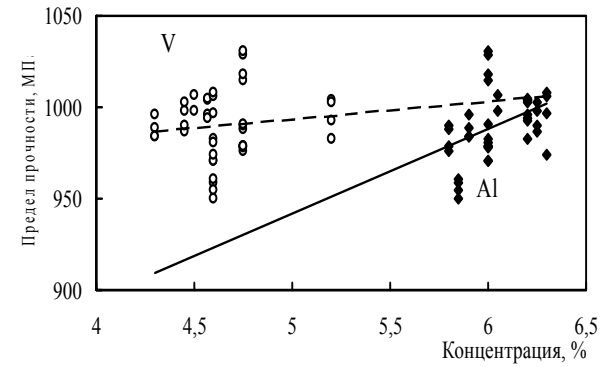
По результатам определения коэффициентов парной корреляции в порядке убывания влияния компонентов на механические свойства (по абсолютному значению коэффициентов корреляции) были построены следующие ряды:

для предела прочности	$O \rightarrow Al \rightarrow Fe \rightarrow V \rightarrow Si$;
для относительного удлинения	$O \rightarrow Al \rightarrow V \rightarrow Fe \rightarrow Si$;
для относительного сужения	$V \rightarrow O \rightarrow Si \rightarrow Fe \rightarrow Al$;
для ударной вязкости	$O \rightarrow Al \rightarrow (V, Fe, Si)$.

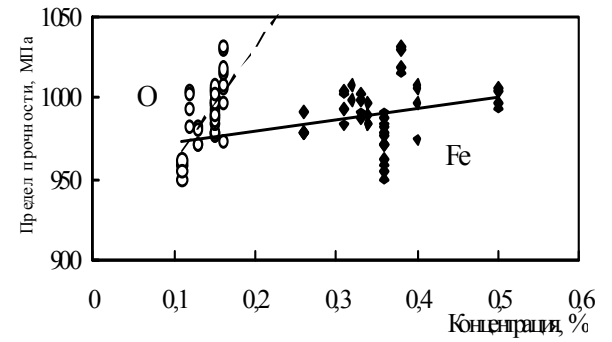
Таким образом, увеличение концентрации α -стабилизаторов (Al, O) вызывало существенное упрочнение, но, вместе с тем, снижение пластичности и ударной вязкости сплава ВТ6. Рост содержания ванадия обуславливал повышение пластических характеристик при небольшом повышении предела прочности. Железо, даже при таких малых концентрациях (0,2–0,5 %), упрочняло сплав, одновременно снижая относительное удлинение. Кремний практически не оказывал влияния на механические свойства, несколько снижая относительное сужение.

На рисунке 2 показаны зависимости предела прочности от концентрации основных легирующих элементов (Al, V) и примесей (Fe, Si, O), аппроксимированные в виде линейных трендов.

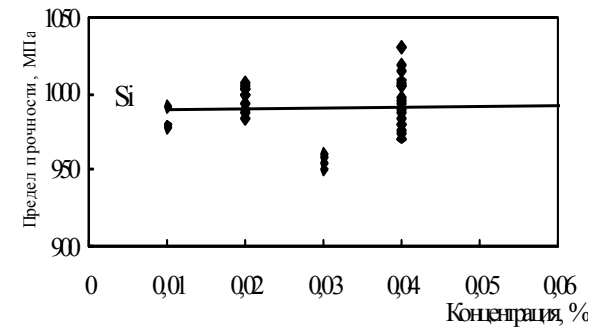
Было рассчитано упрочнение титанового сплава ВТ6 при увеличении концентрации легирующего элемента на 1 %. Эти данные в сравнении с литературными по повышению прочности титана легированием приведены в таблице 2.



a)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость предела прочности сплава ВТ6 от содержания Al, V (а), Fe, O (б), Si (в)

Таблица 2

Упрочнение титана и сплава ВТ6 от введенного элемента*

Упрочнение от 1 % компонента, МПа					
Элемент	Al	V	Fe	Si	O
Данные [1]	50	35	75 (20)	120 (26)	(120)
Полученные данные	46	9,7	68	57	700

* В скобках приведены данные для 0,1 % элемента.

Представленные графики наглядно подтверждают результаты определения коэффициентов корреляции предела прочности и концентрации компонентов титанового сплава ВТ6. По величине упрочнения легирующие элементы и примеси располагаются в убывающем ряду почти так же, как и коэффициенты корреляции: $O \rightarrow Al \rightarrow Fe \rightarrow Si \rightarrow V$.

Как видно из данных таблицы 2, величины упрочнения от 1 % алюминия для титана и титанового сплава ВТ6 практически совпадают. Для β -стабилизаторов значения прироста предела прочности существенно 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.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в реальных сплавах действие легирующих элементов и примесей может несколько отличаться от традиционно принятого их влияния в двойных системах из-за различий в фазовом составе и взаимодействия компонентов сплава.

Литература

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