

О ВЛИЯНИИ ВАНАДИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ TiAl

В.О. Абрамов, А.Н. Белоконов, С.М. Баринов, С.Б. Масленков, В.А. Миляев, А.В. Ширков

Получены оже-спектры титана и алюминия в чистых металлах и интерметаллиде титан – алюминий. Проанализированы изменения, происходящие в электронной и зеренной структурах и механических свойствах при легировании этого сплава ванадием.

Перспективными материалами для применения при высоких температурах являются интерметаллидные упорядоченные фазы на основе алюминида титана TiAl со структурой $L1_0$, имеющие высокие жаропрочность и жаростойкость [1, 2]. Одной из основных проблем, возникающих при создании таких материалов, является преодоление хрупкости, которая в TiAl, как полагают в [1 – 3], связана с тетрагональностью решетки ($c/a = 1,02$; $c = 4,074$) и, вследствие этого, с ограниченностью числа независимых систем скольжения. Проведены исследования по влиянию легирования на свойства TiAl [1, 2, 4 – 6]. Наибольший успех в повышении пластичности достигнут при легировании TiAl ванадием, который, по мнению авторов работы [6], является наиболее подходящим легирующим элементом для TiAl в области небольших его концентраций в пределах образования твердого раствора. Однако существо данного эффекта не выяснено. В настоящей работе исследовано влияние ванадия на состояние межатомной связи, структуру сплава и механические свойства TiAl при сжатии.

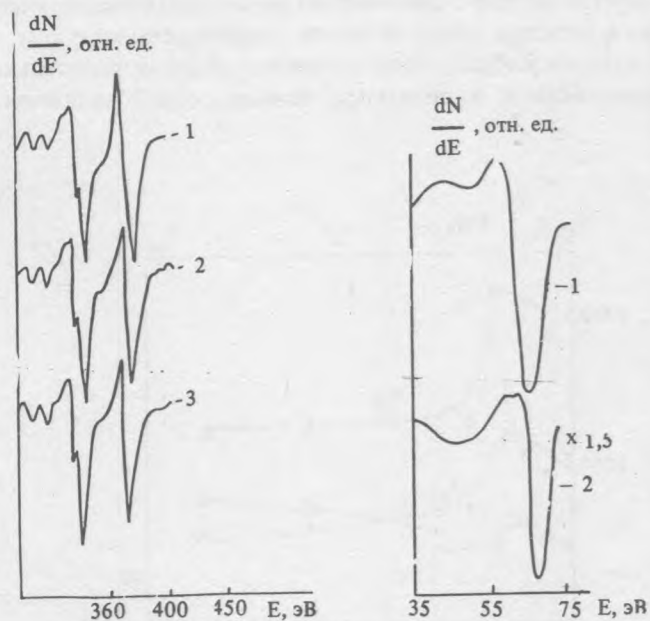


Рис. 1. Оже-спектры, соответствующие LMM и LMV переходам в титане, для чистого металла (1); для сплава Ti – Al (2); для сплава Ti – Al – 7 ат.% V (3).

Рис. 2. Оже-спектры, соответствующие LVV переходу в Al, для чистого металла (1); в сплаве Ti – Al (2).

Образцы сплавов состава Ti — Al — (0 — 7) ат.% V получали дуговой плавкой с последующей отливкой в медные водоохлаждаемые кристаллизаторы. Отжиг для гомогенизации проводили при 1100 °С в течение 0,5 ч. Механические испытания выполняли на цилиндрических образцах диаметром и высотой 6 мм, нагружаемых осевым сжатием со скоростью $1,6 \cdot 10^{-5}$ м/с. Для получения качественной информации о химическом взаимодействии проведено сравнительное изучение LVV спектров алюминия, а также LMM и LMV спектров Ti. Исследования проводились на оже-спектрометре LAS-2200. Непосредственно перед съемкой поверхность образца очищали травлением ионами аргона с энергией 4 кэВ. Все спектры записывались в одном режиме работы усилительного тракта. Рентгеновские исследования сплавов проводились на дифрактометре ДРОН-3М. Изменение зеренной структуры образцов определялось с помощью металлографических методов.

На рис. 1 показаны оже-спектры титана в дифференциальной форме. В спектре чистого титана отношение интенсивностей линий, соответствующих LMM и LMV переходам, составляет $I_1/I_2 = 0,9$, а в спектре Ti в образце TiAl $I_1/I_2 = 1,14$. Различий в энергетическом положении и в ширинах спектральных линий в сплаве не обнаружено. На рис. 2 приведены LVV оже-спектры алюминия для чистого металла и в сплаве. Заметных изменений энергетического положения этих линий также не происходит, однако видны различия в соотношениях верхних и нижних дифференциальных частей спектра.

Оже-спектры Ti имеют четко разделенные спектральные линии, обусловленные переходами с участием внутреннего (2p) и валентного уровней. Согласно [7], наблюдаемые изменения спектров Ti можно связать с изменением числа электронов на уровне 3d. Соотношение интенсивностей LMM и LMV линий в спектрах титана в TiAl изменилось по сравнению со спектром чистого Ti и приблизилось к соотношению соответствующих линий в Sc. Таким образом, структура оже-спектра указывает на уменьшение заселенности 3d уровня Ti в этом соединении по сравнению с чистым металлом.

В отличие от оже-спектра титана, LVV спектр алюминия не имеет четкой структуры. Изменение заселенностей s- и p-состояний sp-гибридизованной валентной зоны приводит к трансформации формы спектра, проявляющейся в уменьшении или увеличении величины верхней дифференциальной части. Если предположить, что вероятности переходов с участием s и p электронов не меняются, то, согласно [7], увеличение интенсивности верхней части dN/dE спектра связано с увеличением заселенности p-состояний.

Таким образом, изменения в спектрах обоих металлов свидетельствуют о том, что в сплаве имеет место перенос заряда от Ti к Al и о наличии у образующейся химической связи значительной ионной составляющей. Характер межатомного взаимодействия, по-видимому, является одной из причин, приводящих к высокой хрупкости такого материала.

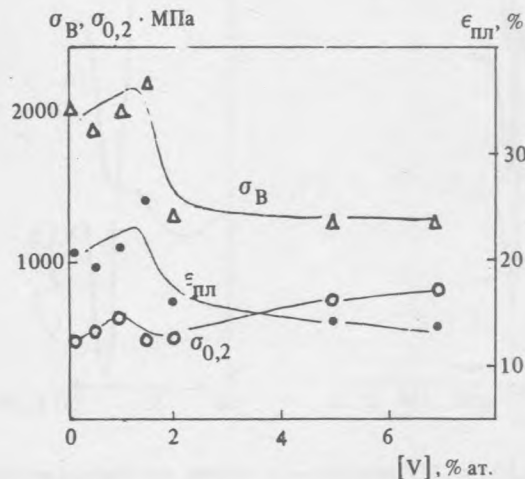


Рис. 3. Зависимости прочности σ_B , предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предельной пластической деформации до разрушения $\epsilon_{пл}$ от концентрации ванадия в сплаве.

На рис. 3 представлены зависимости прочности σ_B , предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предельной пластической деформации до разрушения $\epsilon_{пл}$ от содержания ванадия в сплавах. Введение ванадия до 1,5 ат.% приводит к повышению σ_B и $\epsilon_{пл}$, а при последующем увеличении содержания ванадия эти свойства снижаются. Предел текучести сплавов повышается при введении ванадия.

Приведенная зависимость с экстремумом, очевидно, не может быть объяснена влиянием одного какого-нибудь фактора. Рассмотрим изменения в структуре сплава, которые могут привести к описанному выше изменению физико-механических характеристик.

Металлографические исследования сплавов показали, что структура сплава TiAl без легирующей добавки в литом состоянии неравноосная, имеет выраженный дендритный характер. Введение ванадия приводит к резкому уменьшению характерных размеров элементов дендритной структуры в 2 – 5 раз. Измельчение структуры может приводить к повышению пластичности упорядоченных фаз /1/. Введение этой легирующей добавки приводит и к изменению электронной структуры сплава. Отношение интенсивностей оже-спектров, соответствующих переходам с участием валентных и остовных электронов Ti в сплаве, содержащем 7 ат.% V, составляет 1,07. Это свидетельствует об уменьшении переноса заряда с атомов в таком материале. Кроме того, в /8/ было показано, что перетекание заряда в системе Ti – V незначительно. Приведенные результаты указывают на уменьшение ионной составляющей связи в легированном сплаве. Такие изменения характера межатомного взаимодействия также должны приводить к увеличению пластичности материала.

При введении примеси наблюдается заметный рост периода кристаллической решетки для сплава, содержащего 7% V, $c = 4,180$ и $c/a = 1,13$. Такое изменение должно приводить к заметному падению пластичности сплава. Одновременное влияние всех трех перечисленных выше факторов и определяет ход зависимости механических характеристик от состава для изучаемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sauthoff G. Zs. f. Metalkund, 77, 654 (1986).
2. Andrew J. B., Kessler H. D. Trans. AIME, 206, 1348 (1956).
3. Регель Е. И., Яковлева Э. С. ФММ, 40, 129 (1975).
4. Tsujimoto T. J. Jap. Inst Light Metals, 36, 162 (1986).
5. Bagahara K., Hushimoto K. J. Jap. Inst Light Metals, 51, 278 (1987).
6. Blackbum M. J., Smith M. P. UK Pat. Appl N 206069, jun 10, 1980.
7. Дементьев А. П., Джибути Т. М., Раховский В. И. Поверхность, № 3, 96 (1987).
8. Сливко В. Л. Автореферат кандидатской диссертации. ИМЕТ АН СССР, М., 1987.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 6 декабря 1988 г.