

7. Kuzumaki T. Processing of carbon nanotube reinforced aluminum composites / Kuzumaki T., Miyza W., Ichinose H., Ito K. // Mater Res. 1998. – Vol. 13. – P. 2445–2449.

УДК 669.295

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ СПЕКАНИЯ
НА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ
ГИДРИРОВАННОГО ТИТАНА**

И. О. Быков, А. В. Овчинников

Запорожский национальный технический университет

На сегодняшний день изделия, полученные методом порошковой металлургии, нашли применение во многих областях промышленности. Наибольший интерес представляет применение этих изделий в авиастроении. На ОАО «Мотор Сич» применяется более 50 наименований изделий из титановых сплавов, получаемых методом порошковой металлургии. В качестве основы для этих деталей используется титановый порошок ПТ5-1, который дополнительно легируют алюминием и молибденом (сплав 2М2А). Изделия из сплава 2М2А применяются в различных условиях эксплуатации при нормальных и повышенных температурах. При этом легирование, в большинстве случаев, применяют для повышения прочностных свойств. Наиболее технологичным и экономически целесообразным для изделий, получаемых методом порошковой металлургии, является применение порошков гидрида титана. Данный материал имеет ряд существенных преимуществ над обычными титановыми порошками. В то же время для обеспечения заданного уровня механических свойств необходимо легирование, что усложняет технологию получения сплавов методом порошковой металлургии и, как следствие, повышает их стоимость.

Для снижения содержания дорогостоящих легирующих элементов возможно применение элементов внедрения, в частности кислорода. Повысить концентрацию кислорода в спеченных титановых сплавах путем легирования кислородсодержащими лигатурами достаточно сложно. Поэтому заданная концентрация кислорода должна быть в гидрированном титане, а это возможно при условии, что используемый для его получения титан губчатый содержит необходимую концентрацию кислорода. На КП «ЗТМК» разработана технология, позволяющая получать гидрированный титан с заданным содержанием кислорода. В основе этой технологии лежит производство титана губчатого с заданным содержанием кислорода. Для обеспечения высокого уровня механических свойств изделий, полученных на основе гидрированного титана, необходима оптимизация режимов спекания.

В настоящей работе ставилась цель получения титановых сплавов на основе легированного кислородом гидрированного титана с уровнем механических свойств, соответствующим свойствам серийного титанового сплава 2М2А. Для достижения цели проводили исследование влияния режимов вакуумного спекания на структуру и свойства сплавов. В качестве

основы сплава использовали порошок гидрированного титана производства КП «ЗТМК» с повышенным содержанием кислорода от 0,1 % до 0,5 % мас.

Исследовали влияние концентрации кислорода в гидрированном титане от (0,10 до 0,5 %) и режимов спекания в диапазоне 1200–1340 °С на структуру и механические характеристики спеченных сплавов. Анализ результатов механических испытаний позволил установить, что повышение концентрации кислорода в указанном диапазоне привело к повышению уровня статической прочности с $\sigma_b = 500$ МПа до $\sigma_b = 740$ МПа, при снижении показателей пластичности с $\delta = 16$ % до $\delta = 8$ % и $\psi = 27$ % до $\psi = 14$ %. Такое изменение уровня механических свойств можно объяснить эффектом твердорастворного упрочнения титана атомами внедрения кислорода. Не менее важным фактором влияния температуры спекания на свойства титана показал, что с повышением температуры спекания от 1200 до 1310 °С возрастал уровень прочностных и пластических свойств. При этом предел прочности повышался в среднем на 17 %, а показатели пластичности повышались на 7...10 %.

Дальнейшее увеличение температуры спекания не обеспечило заметного повышения прочностных характеристик, но в то же время привело к существенному снижению показателей пластичности на 8...20 %. Такая тенденция отмечена для всего диапазона концентраций кислорода, что позволило сделать вывод о влиянии структурных факторов на свойства титановых сплавов. Анализ микроструктуры (и поверхностей разрушения) образцов показал, что при температуре спекания до 1310 °С формируются зерна α -фазы и уменьшается количество пор, а также меняется морфология последних, что в конечном итоге повышает энергоёмкость процесса разрушения материала. Это подтвердило изучение поверхностей разрушения образцов по уменьшению количества пор и увеличению доли ямок вязкого разрушения. Повышение температуры спекания с 1310 до 1340 °С привело к увеличению размеров зерен α -фазы и, как следствие, увеличению доли хрупкой составляющей в виде фасеток хрупкого разрушения по механизму межзеренного разрушения.

Таким образом, оптимальными температурами спекания, по уровню механических свойств, являлся диапазон 1280...1310 °С. С учетом необходимости получения максимального уровня прочностных свойств и уровня относительного удлинения, соответствующего сплаву 2М2А ($\delta \geq 6$ %), концентрацию кислорода в исследуемом сплаве ограничивали на уровне 0,4 % мас. В результате проведенных исследований разработан состав сплава на основе порошка гидрированного титана, легированного кислородом, который по уровню механических свойств соответствует титановому сплаву 2М2А, получаемому на основе порошка титана ПТ5-1.

Предварительные технико-экономические расчеты показывают существенную эффективность предложенной технологии.