

УДК 669.295

**ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГИДРИРОВАННОГО ТИТАНА В СМЕСИ
ПОРОШКОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЕННОГО
СПЛАВА VT1-0**

**А. А. Скребцов, А. В. Овчинников, д. т. н., В. Г. Шевченко, к. т. н.,
А. Е. Капустян, н. с., А. А. Джуган**

«Запорожский национальный технический университет»

Актуальность

Метод порошковой металлургии (ПМ) активно внедряется в области промышленности, где используются конструкционные титановые сплавы. Главными преимуществами этого метода являются отсутствие операции переплава титана губчатого и высокий коэффициент использования материала. Однако уровень свойств титана, изготовленного методом ПМ, соизмерим с литым и существенно ниже деформируемого сплава аналогичного состава. Причиной этого являются структурные особенности спеченных сплавов, а именно несплошности металла в виде пор. При промышленном использовании порошков титана марок ПТ, ПТХ в структуре металла формируются поры неправильной формы с острыми краями, которые являются концентраторами напряжений. Для повышения уровня свойств необходимо стремиться к снижению количества и размеров таких пор. Отдельной проблемой является уменьшение вероятности образования трещин в остроугольной поре. Решить такую проблему можно за счет формирования пор сферической формы. Согласно работы [1] обеспечить формирование сферических пор можно применяя порошки гидрированного титана (TiH_2). Однако применение таких порошков усложняет технологию прессования и спекания титановой продукции. Для решения перечисленных проблем нами [2] предложено использовать смеси порошка ПТ5-1 и порошка гидрированного титана.

Таким образом, целью данной работы являлось исследовать влияние содержания в порошковой смеси порошка TiH_2 на формирование структуры для повышения свойств спеченного титана.

Материалы и методики

Для исключения влияния легирующих элементов на порообразование в качестве исследуемого материала был выбран нелегированный титановый сплав состава VT1-0. Для его получения методом ПМ использовали порошки ПТ5-1 и промышленный порошок гидрированного титана с содержанием водорода в титане 3,2% масс, изготовленные по ТУ У 14-10-026-98. Исследовали смеси этих порошков с 0 - 100% содержанием TiH_2 . Порошки смешивали при помощи специального смесителя. Формообразование образцов, размером 11×11×55 мм осуществляли на гидравлическом прессе ДБ 2432А с давлением прессования 700 МПа без связующего. Спекание проводили в лабораторной печи модели СНВЭ-1.3.1/16И₃ по следующему режиму: нагрев со скоростью 20°С/мин, изотермическая выдержка при температуре 1250°С±10°С в течение 180 мин, защитная среда вакуум 13,3 Па и охлаждение образцов с печью в вакууме. Предварительную дегазацию

проводили в температурном интервале 300...400°C. Химический состав определяли на приборе SPECTROMAX по стандартным методикам ГОСТ 19863.1-91 ... ГОСТ 1986.12-91.

Для металлографического анализа использовали микроскопы НЕОФНОТ-32 и JSM-6360LA. Количественную оценку структур проводили методом «Л» в соответствии с ГОСТ 1778-70. Степень сфероидизации определяли, как отношение суммы максимальных к сумме минимальных размеров пор исследуемой области. Сфероидизированными считали поры, отношение максимальной к минимальной длине которых находилось в пределах 0,7...1. Механические испытания проводили по стандартным методикам: на растяжение - ГОСТ 1497-84, образец типа III №7; на сжатие - ГОСТ 25.503-97, образец типа III; микротвердость измеряли в соответствии с ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3.

Результаты исследований и их обсуждение

При прессовании смесей на некоторых образцах имело место ухудшение их прессуемости с повышением содержания TiH_2 (рис. 1). Образцы с содержанием TiH_2 до 30% выпрессовывались без разрушения. Такой характер прессуемости смесей с повышенным содержанием TiH_2 можно объяснить следующим: хрупкие порошинки при прессовании накапливали упругую деформацию и разрушали заготовку, когда усилие прессования снималось [3]. Поэтому для получения качественных прессовок из смесей с содержанием порошка гидрированного титана более 30% необходимо использование связующего, например, парафина, что усложняет технологию их получения методом ПМ.

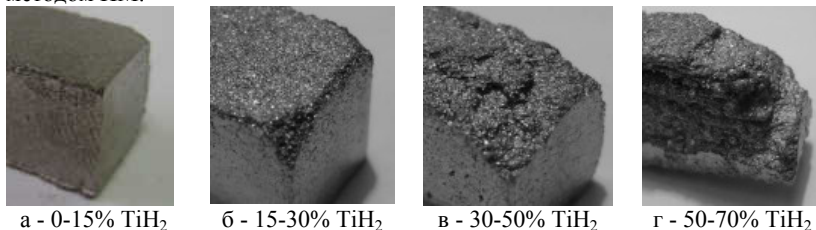


Рис. 1 - Вид образцов после прессования

Особенностью операции спекания порошка гидрированного титана является необходимость выдержки при температуре ~300...400°C [4] для дегазации сплава, что увеличивает продолжительность процесса. Так при спекании на используемом оборудовании промышленного порошка TiH_2 , стадия дегазации достигала 72 часов. При спекании опытных смесей время дегазации снизилось. Например, для смеси с 5% TiH_2 оно составило 1 час.

Металлографический анализ спеченных опытных сплавов (рис. 2) на основе смесей порошков ПТ5-1 и TiH_2 позволил установить, что независимо от содержания в смеси порошка гидрированного титана структура представляла собою характерные для однофазных спеченных титановых сплавов зерна α -фазы с порами по границам и в теле зерен. При повышении содержания TiH_2 в

смеси размер пор уменьшался, при этом происходило увеличение количества сфероидизированных пор. Так количественная оценка структур (рис. 3) позволила установить, что при содержании в порошковой смеси 5...15% порошка гидрированного титана происходило снижение числа пор около двух раз с одновременным повышением количества сферических пор на 65% в сравнении со сплавом без порошка гидрированного титана. При этом в структуре имели место еще не сфероидизированные поры, но с отсутствием остроугольных форм. Дальнейшее увеличение содержания TiH_2 приводило к повышению количества сферических пор. При содержании в смеси свыше 30% TiH_2 существенных отличий в форме и размерах пор не было обнаружено.

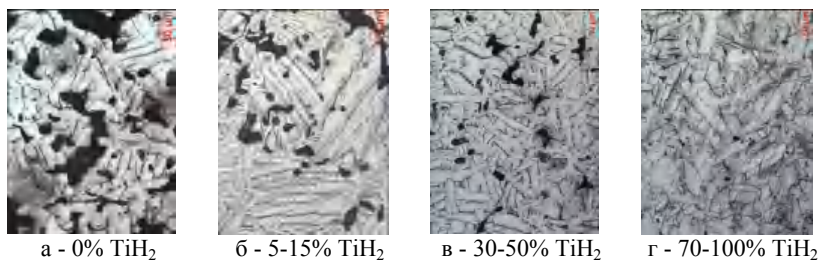


Рис. 2 - Характерные микроструктуры спеченного титана на основе опытных смесей

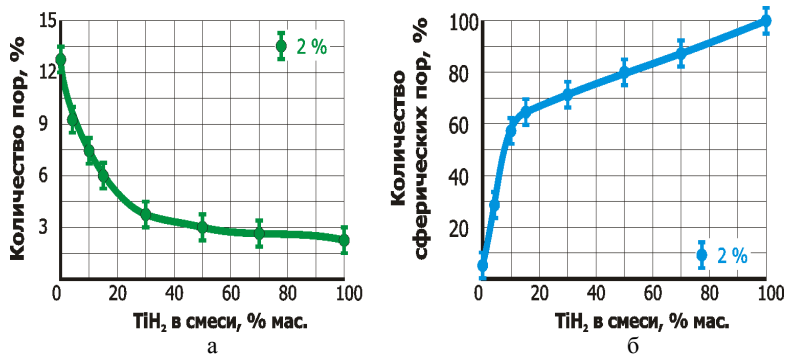


Рис. 3 - Количественная оценка структурных составляющих опытных сплавов на поверхности шлифов спеченных образцов: а - зависимость: количества пор от содержания TiH_2 в смеси, %; б - зависимость: количества сферических пор от содержания TiH_2 в смеси, %

Из анализа данных рис. 3 следует, что при содержании в смеси более 30% порошка гидрированного титана количество пор продолжало снижаться и составило 4,5%. Число сферических пор при этом составило 70% от их общего количества. Дальнейшее увеличение содержания в смеси TiH_2 приводило к

Строительство, материаловедение, машиностроение

повышению числа сферических пор, но без значительного уменьшения их количества.

Не зависимо от состава порошковой смеси химический состав сплавов и их микротвердость находились на одном уровне (табл. 1). Установлено незначительное снижение содержания кислорода. Это, согласно работы [5], являлось следствием проходящих реакций восстановления оксидных пленок водородом при спекании. Среднее значение предела прочности (таб. 2) при этом изменилось с 325 МПа до 425 МПа для сплава без порошка гидрированного титана и для сплава с содержанием в порошковой смеси 100% TiH_2 соответственно.

Таблица 1

Химический состав и микротвердость спеченных титановых сплавов на основе опытных смесей

Содержание порошка TiH_2 в смеси, %	Химический состав сплава после спекания				Микротвердость H_{μ} , МПа
	O	H	N	C	
0	0,20	0,010	0,042	0,07	1390
5	0,19	0,011	0,041	0,07	1410
10	0,18	0,011	0,040	0,07	1410
15	0,16	0,013	0,041	0,07	1420
30	0,15	0,014	0,040	0,07	1420
50	0,15	0,014	0,041	0,07	1440
70, 100	0,15	0,015	0,040	0,07	1450

Таблица 2

Механические свойства спеченных титановых сплавов на основе опытных смесей

Содержание порошка TiH_2 в смеси, %	Растяжение	
	σ_{B_2} , МПа	δ_2 , %
0%	325	7,5
5	380	7,6
10	390	7,5
15	410	7,5
30	420	7,6
50, 70, 100	425	7,6

Таким образом, в результате повышения содержания порошка TiH_2 в смеси происходило повышение предела прочности при растяжении. Из анализа данных табл. 1 следует, что повышение предела прочности происходило без увеличения микротвердости опытных сплавов. Тенденция

увеличения прочностных свойств без изменения микротвердости металлической матрицы характерна для всех составов опытных сплавов на основе смесей порошков ПТ5-1 и гидрированного титана. Анализ данных табл. 1 показал, что по мере увеличения содержания в порошковой смеси порошка TiH_2 имело место повышение содержания водорода и одновременное снижение кислорода. Так в работе [6] показано, что увеличение содержания примесей кислорода обусловлено снижением примесей водорода и наоборот. Известно [7, 8], что наличие водорода в пределах 0,3...0,6% может привести к увеличению прочности сплава. При его концентрациях в опытных спеченных сплавах до 0,015% он не мог существенно влиять на их прочность [8]. При этом снижение содержания кислорода, который оказывает более значимое влияние на прочность титановых сплавов [8], должно было сопровождаться уменьшением прочности опытного титана. Следовательно, можно сделать вывод, что повышение прочности происходило в основном из-за изменения формы и количества пор в металле, а не из-за изменения свойств металлической матрицы.

Из анализа данных рис. 1 и табл. 2 следует, что содержание в смеси 5...15% порошка гидрированного титана обеспечило повышение сфероидизации и снижения количества пор, что привело к повышению механических свойств, а также позволило уменьшить время спекания.

Выводы

1. Для повышения уровня механических свойств предложено использовать смеси порошков ПТ5-1 и TiH_2 . Экспериментально установлено, что использование смесей порошков, содержащих гидрированный титан, позволяет управлять количеством, формой и размером пор. Так для смеси порошков ПТ5-1 с 5...15% TiH_2 установлено снижение содержания пор с 12% до 6% при увеличении до 65% количества сфероидизированных.
2. Изменение формы пор, выраженной их сфероидизацией, а также снижение их количества в 2 раза позволило повысить прочностные свойства при растяжении спеченного сплава ВТ1-0 на 25%. При этом уровень микротвердости исследуемых сплавов и их химический состав не изменился.
3. Применение разработанных смесей порошков ПТ5-1 с 5...15% TiH_2 для получения спеченного сплава ВТ1-0 позволяет решить ряд технологических сложностей, а именно снизить время дегазации сплава при спекании до 1 часа и улучшить прессуемость без усложнения операции прессования применением связующего.

Список использованных источников

1. Аprobация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, М.И. Матвийчук [и др.] // Ti-2007 в СНГ: сб. науч. тр. / Международная конференция Ti-2007 в СНГ 15-18 апреля 2007, г. Ялта – Киев. – с. 73 – 77.
2. Скребцов А.А. Влияние характеристик порошков титана на механизмы разрушения спеченных титановых сплавов / А.А. Скребцов, А.В. Овчинников // Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок: междунар. науч.-техн. конф., 24-29 сен. 2012 г.: тезисы докл. – Алушта, 2012. – С. 108 – 110.
3. Ермаков С.С. Порошковые стали и изделия / С.С. Ермаков, Н.Ф. Вязников 4-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленинг. Отд-ние, 1990. - 319 с.
4. Ivasishin O.M. Fatigue resistance of powder metallurgy Ti-6Al-4V alloy / O.M. Ivasishin, K.A. Bondareva, V.I. Bondarchuk [and others] // Plenum Publishing Corporation. – 2004. – P. 225 – 230.
5. Влияние водорода и легирующих элементов на особенности синтеза титановых сплавов с использованием гидрированного титана / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, Н.М. Гуменяк, М.В. Матвийчук // Титан-2011 в СНГ: сб. науч. тр. / Международная конференция Ti-2011 в СНГ 25-28 апреля 2011, г. Львов. – Киев. – с. 322 – 328.
6. Шаповалова О.М. Поглощение примесей при производстве титановых порошков / О.М. Шаповалова, Е.П. Бабенко // Вісник ДНУ. - 2003. - С. 23 - 26
7. Ильин А.А. Водородная технология титановых сплавов / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, В.К. Носов, А.М. Мамонов; под общей редакцией чл.-кор. РАН А.А. Ильина. – М.: «МИСиС», 2002. – 392 с.
8. Филянд М.А. Свойства редких элементов: справочник / М.А. Филянд, Е.И. Семёнова. - 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1964. - 912 с
9. Петров А.И. Кинетика залечивания пор и упрочнения меди при всестороннем сжатии / А.И. Петров, М.В. Разуваева // Физика твердого тела. - 2002. - № 8 (том 72). - С.130 - 132.