

МЕТАЛЛУРГ

3-2015

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ПРОИЗВОДСТВО

ПОКРЫТИЯ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

ПРОКАТ

ЭКОНОМИКА

ТЕХНИКА

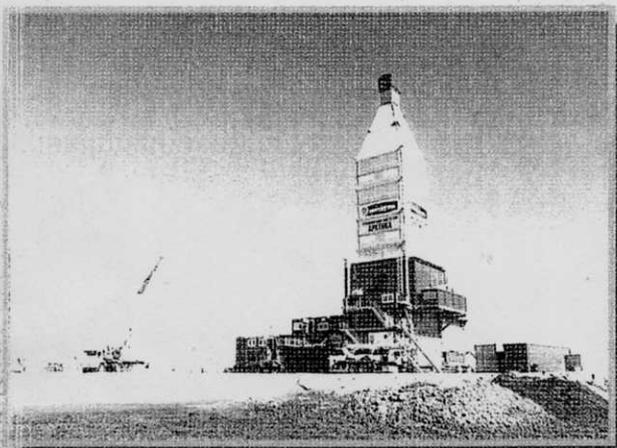
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ПОДГОТОВ

ТРУБЫ

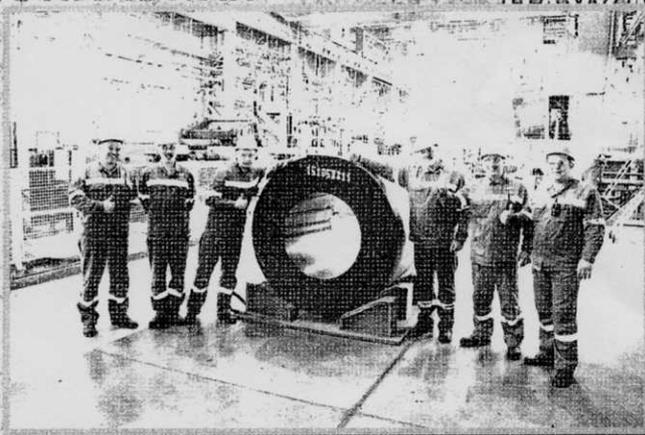
МЕДИ

ПРОКАТ

ПОКРЫТИЯ



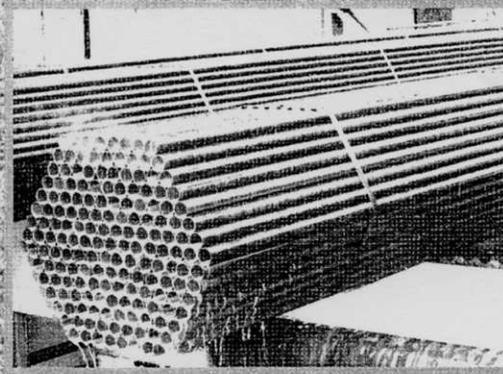
МЕТАЛЛУРГИЯ



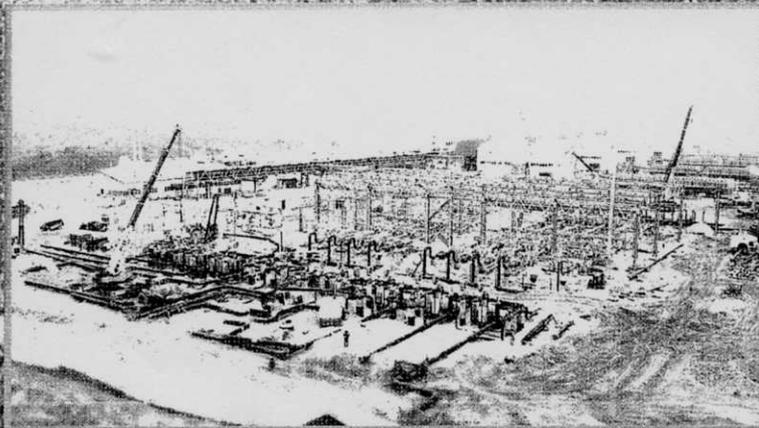
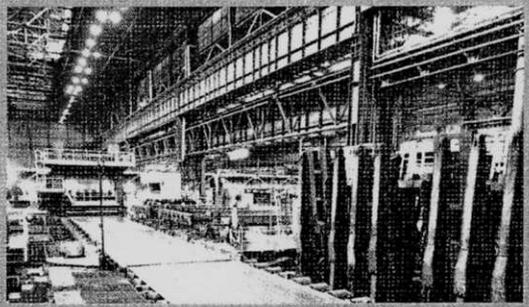
ПРОКАТ

ТРУБЫ

МЕДИ



СОЦИАЛЬНОЕ ПАРТНЕРСТВО



ЭНЕРГОСЭКОНОМИЧНОСТЬ
В ОТРАСЛИ
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

МЕТАЛЛУРГ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Журнал «Металлург» переводится на английский язык фирмой SPRINGER/www.springerlink.com

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней. Журнал представлен в информационных системах: Web of Science, SCOPUS, РИНЦ и "Science Index".

УЧРЕДИТЕЛИ:

ФГУП «ЦНИИчермет им.И.П.Бардина», Центральный Совет Горно-металлургического профсоюза России, Профцентр «Союзметалл», Ассоциация промышленников горно-металлургического комплекса России (АМРОС)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

- А.А. Безымянных** – председатель Горно-металлургического профсоюза России
Н.Н. Гугис – президент ООО «Корпорация производителей черных металлов»
С.А. Гурова – заместитель директора Департамента металлургии, станкостроения и тяжелого машиностроения Минпромторга России
К.Л. Косырев – Председатель Ассоциации сталеплавильщиков
А.М. Окуньков – исполнительный директор Ассоциации промышленников горно-металлургического комплекса России
Ю.Н. Райков – генеральный директор ОАО «Цветметобработка»
А.Г. Романов – президент Российского Союза поставщиков металлопродукции
Б.А. Сивак – первый заместитель генерального директора ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ им. академика А.И.Целикова»
Г.В. Скопов – заместитель технического директора по металлургии ООО «УГМК-Холдинг»
М.В. Тарасенко – депутат Госдумы ФС РФ, секретарь ЦС ГМПР по связям с Федеральным Собранием и международными объединениями профсоюзов
В.А. Углов – первый заместитель генерального директора ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»

РЕДАКЦИЯ:

- О.Н. Новоселова** – главный редактор
Е.Х. Иванова – заместитель главного редактора
И.Я. Паршина – научный редактор
Е.А. Гавриченко – ответственный секретарь
И.М. Мартынова – корректор

Издание зарегистрировано в Комитете РФ по печати 15.04.1997 г. Регистрационный номер 015957

Номер подписан в печать 25.03.2015 г.
Формат 60×88 1/8. Печать офсетная.

Отпечатано в ОАО «Алга-Принт»
105103, Москва, 12-я Парковая ул., д. 11/49

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- В.Ж. Аренс** – вице-президент РАЕН, проф., д-р техн. наук
В.Ю. Бажин – декан химико-металлургического факультета, проф., д-р техн. наук, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
В.И. Большаков – директор ИЧМ им. З.И.Некрасова НАН Украины, акад. НАНУ
С.В. Вестфаль – заведующий социально-экономическим отделом ЦС ГМПР
С.М. Горбатиук – зав. кафедрой «Инжиниринг технологического оборудования» МИСиС, проф., д-р техн. наук
А.И. Зайцев – директор Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии (ЦФМК) ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д-р физ.-мат. наук
Я.А. Кац – зам. начальника отдела ОАО АХК «ВНИИМЕТМАШ им. акад. А.И.Целикова», канд. техн. наук
Г.В. Кашакашвили – проф. Грузинского технического университета, д-р техн. наук
А.А. Кондратов – консультант Департамента базовых отраслей промышленности Минпромторга России
Н.А. Коротченко – директор информационно-аналитического центра МИСиС
И.Ф. Курунов – главный доменщик ОАО НЛМК, проф. МИСиС, д-р техн. наук
А.П. Макаров – зам. директора Института экономики черной металлургии ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», канд. экон. наук
М.Ю. Матросов – директор ЦТСК ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», канд. техн. наук
Ю.Д. Морозов – научный руководитель ЦТСК ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», канд. техн. наук
С.Ю. Настич – зам. директора ЦТСК ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д-р техн. наук
А.М. Неменов – начальник ПТО ООО «МетПромГрупп», канд. техн. наук
А.Н. Никулин – старший научный сотрудник ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д-р техн. наук
А.М. Окуньков – исполнительный директор Ассоциации промышленников горно-металлургического комплекса России
Е.П. Потоцкий – зав. кафедрой «Техносферная безопасность» МИСиС, проф., канд. техн. наук
В.А. Прохоров – заведующий отделом охраны труда и окружающей среды ЦС ГМПР
И.Ю. Пышминцев – генеральный директор ОАО «РосНИТИ», д-р техн. наук
А.Н. Серегин – директор Института ферросплавов и техногенного сырья ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», канд. хим. наук
В.В. Сидоров – начальник сектора лаборатории «Металлургия жаропрочных и специальных сплавов» ФГУП «ВИАМ», д-р техн. наук
В.В. Тиняков – старший научный сотрудник ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», канд. техн. наук
С.В. Тютюник – главный специалист Дирекции по технологии ОАО ТМК, канд. техн. наук
Г.А. Филиппов – директор Института качественных сталей ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д-р техн. наук, проф.
Р.А. Шаталов – зав. кафедрой МиОМД Московского государственного открытого университета им. В.С.Черномырдина, д-р техн. наук
А.И. Эфрон – научный руководитель Инженерно-технологического центра ЗАО ОМК, д-р техн. наук

Перепечатка материалов журнала «Металлург» допускается только с письменного разрешения редакции. При цитировании ссылка обязательна.

Адрес редакции журнала «Металлург»: 105005 Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2, офис 474.

Тел.: +7 (495) 777-9561. Тел./факс: +7 (495) 777-9524, +7 (495) 926-3881

E-mail: metallurg_izd@mtu-net.ru, info@metallurgizdat.com, www.metallurgizdat.com

УДК 669.295:621.72.40

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ ВОЛОКОН И ПРОВОЛОКИ

© Коллеров Михаил Юрьевич¹, д-р техн. наук, проф.,

e-mail: Kollerov@gmail.ru;

Шляпин Сергей Дмитриевич¹, д-р техн. наук, проф.,

e-mail: sshliapin@yandex.ru;

Сенкевич Кирилл Сергеевич¹, канд. техн. наук,

e-mail: senkevichks@yandex.ru;

Казанцев Антон Анатольевич², e-mail: kaa7171@mail.ru;Рунова Юлия Эдуардовна¹, e-mail: Runova_Julia@mail.ru¹ ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э.Циолковского». Россия, Москва² ООО НПФ «Темп». Россия, г. Екатеринбург

Статья поступила 01.10.2014 г.

Исследована возможность повышения механических характеристик пористого материала из спеченных волокон и проволоки титана термоводородной обработкой. Показано, что применение термоводородной обработки позволяет повысить прочность отдельных соединений волокон и всего материала в целом. Это позволяет получать прочный материал с высокой объемной долей пор, имеющих поперечный размер 100–500 мкм, и обладающий высокой остеointеграционной способностью. Такой материал перспективен для изготовления имплантатов, замещающих костные дефекты, или создания функциональных покрытий на элементах эндопротезов.

Ключевые слова: титан; пористый материал; волокно; проволока; имплантаты; структура; свойства; термоводородная обработка.

Пористые материалы (ПМ) широко применяются в машиностроении и медицине. Из них изготавливаются различные фильтрующие элементы, тепло-, шумоизолирующие и демпфирующие материалы. В медицине используются остеointегрирующие свойства таких материалов, позволяющие значительно сократить сроки формирования новой костной ткани и обеспечить фиксацию имплантатов, на поверхности которых нанесен пористый материал. В последнее время ПМ рассматриваются как носители при использовании клеточных технологий. Они представляют собой каркас, в котором в биореакторе выращивают определенные клетки для последующего их помещения в организм человека.

Основа ПМ должна обеспечивать хорошую коррозионную стойкость в агрессивной среде газа или жидкости, которые он должен очищать, биологическую инертность к тканям организма, обладать высоким комплексом механических свойств, которые должны сохраняться в пористом состоянии. Кроме того, сами поры должны иметь определенные размеры и объемную долю в материале. Для обеспечения этого широкого комплекса характеристик использу-

ют различные материалы (металлы, полимеры, керамику) и технологии (напыление, спекание, самораспространяющийся синтез и др.). Каждый из этих материалов и технологий обладает своими преимуществами и недостатками, что обуславливает их выбор в зависимости от конкретного назначения.

Одними из наиболее перспективных материалов для основы ПМ являются титан и его сплавы, которые уже широко применяются в химической промышленности и медицине в качестве коррозионностойкого и биологически инертного материала. В этом качестве он выгодно отличается от нержавеющей сталей, кобальтовых сплавов, а по удельной прочности и стоимости превосходит сплавы на основе благородных металлов, ниобия, тантала и др. По сравнению с керамическими материалами ПМ на основе титана обладают высокими пластичностью, ударной вязкостью, а также и более широкой технологической способностью к формованию изделия и его соединения с другими элементами конструкций.

Формирование ПМ из титана и его сплавов возможно плазменным распылением, спеканием гранул или порошков, самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (для интерметаллидов титана, например, никелида титана), электролучевой или лазерной сваркой при послойном формировании изделия [1, 2]. Из указанных технологий СВ-синтез используется ограниченно, так как не полностью прореагировавшие материалы снижают коррозионную стойкость и

биологическую инертность материала. Для других технологий проблемой является обеспечение достаточно высокого комплекса механических свойств при большой объемной пористости материала. Это связано с тем, что механические свойства титана и его сплавов очень чувствительны к структуре, и для ее оптимизации, как правило, применяется значительная деформация, которая не может быть реализована при сохранении высокой объемной пористости.

В то же время развиваемая в последние 30 лет термоводородная обработка (ТВО) титановых сплавов [3, 4] является мощным технологическим фактором, позволяющим преобразовывать структуру титановых сплавов без приложения деформации и изменения формы изделия или полуфабриката. ТВО успешно применяется для преобразования структуры и повышения прочностных и усталостных свойств фасонных отливок [5], улучшения деформируемости полуфабрикатов и формирования в них субмикроструктурной структуры [6–10] и др.

В этой работе рассмотрены возможности применения ТВО для повышения комплекса механических свойств ПМ, полученного путем спекания проволоки или волокон из технического чистого

титана. Выбор полуфабриката исходного материала был обусловлен, в первую очередь, исходя из применения разрабатываемого ПМ в медицине. Одним из основных требований к таким материалам является высокая объемная доля пор (70–90%) с размерами 100–500 мкм. Это связано с обеспечением их остеоинтеграционных характеристик для прорастания остеообластов со средним поперечным размером 150–250 мкм. В отличие от гранул из волокон можно получать образцы в широком диапазоне объемной пористости, а варьируя размер их сечения, добиваться необходимого размера пор. Кроме того, волоконная структура ПМ позволяет снизить вероятность разрушения материала при сжатии и/или растяжении по сравнению с гранульным или порошковым ПМ.

В качестве исходного сырья для изготовления ПМ использовали проволоку из сплава ВТ1-00 diam. 0,2–1,2 мм и волокна со средним поперечным размером 10–50 мкм, полученные методом высокоскоростного затвердевания расплава [11]. Из проволоки изготавливали пористые образцы в виде цилиндров и полотна. Цилиндрические образцы получали в виде навитых спиралей, витки которой заваливали, прокатывали и свертывали в спираль большего диаметра (рис. 1, а) [12],

а полотно получали сатиновым переплетением. Фрагменты полотна складывали слоями так, чтобы направления проволоки в смежных слоях располагались под углом 45° (рис. 1, б). Цилиндрические и плоские образцы из волокон получали прессованием в пресс-формах требуемого сечения (рис. 1, в и г). Заготовки, полученные различными методами, спекали под нагрузкой, обеспечивающей давление 0,1–5 МПа, при 800–960 °С. Спеченные заготовки подвергали ТВО, включающей наводороживание при температуре 800 °С, предварительную дегазацию при этой же или более низкой температуре и окончательный вакуумный отжиг в интервале 600–800 °С в течение 1–4 ч.

Полученные таким образом образцы исследовали с применением металлографического анализа и измерения механи-

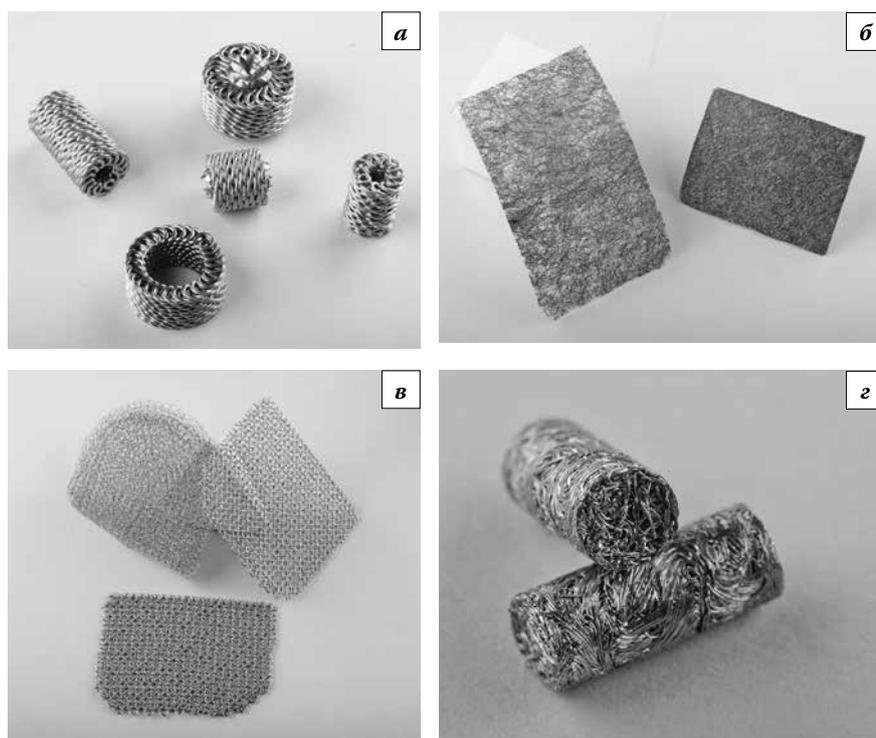


Рис. 1. Варианты применения пористых материалов из сплава ВТ1-00:

а – протезы тел позвонков из проволоки diam. 1,2 мм; б – сетчатый материал из проволоки diam. 0,4 мм; в – лист из волокон с размером поперечного сечения 20 мкм; г – цилиндрический образец из проволоки diam. 0,4 мм

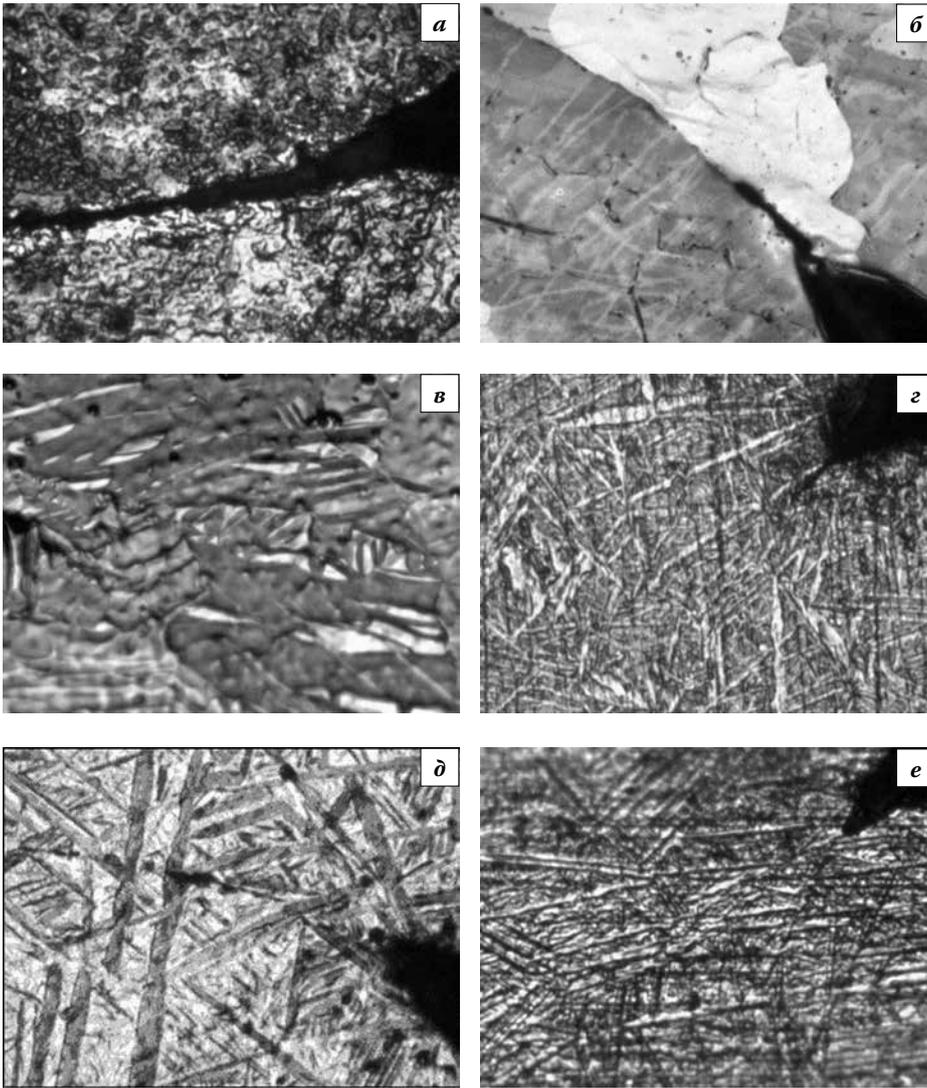


Рис. 2. Микроструктура зоны контакта проволоочных образцов после спекания при 820 (а, б), 870 (в, г), 920 °С (д, е) и термоводородной обработки (б, г, е), $\times 350$

ческих характеристик. Исследования структуры и свойств спеченных заготовок показали, что формирование физического контакта между проволоками или волокнами происходит при температурах выше 900 °С. При более низких температурах спекания контакты носят механический характер с четкой границей стыка поверхностей волокон (рис. 2, а). При этом прочность таких контактов очень низкая и возрастает по мере увеличения температуры спекания в β -области и увеличения доли физического контакта (рис. 2, б и в). Для повышения прочности контактов волокон и всего ПМ была применена ТВО. Принципы выбора режимов такой обработки можно сформулировать следующим образом:

- температурно-концентрационные условия наводороживания должны обеспечивать условия полной фазовой перекристаллизации $\alpha \rightarrow \beta$;
- температура наводороживания должна быть как можно ниже, чтобы не приводить к росту β -зерна при переходе в однофазную область;
- объемный эффект превращения $(\alpha + \beta) \leftrightarrow \beta$ при введении водорода и дегазации должен быть достаточно высоким, чтобы обеспечить фазовый наклеп и условия для развития рекристаллизации α - и β -фаз;
- нежелательно использовать перекристаллизацию, связанную с образованием гидридов, так как это может привести к образованию микротрещин в материале.

В соответствии с этими принципами и диаграммой состояния системы Ti–H (рис. 3) [7] проводили выбор режимов ТВО. Температуру наводороживания (см. рис. 3, линия 1) ограничи-ли 800 °С. При этой температуре сплав с исходным содержанием водорода представлен только α -фазой и при увеличении его концентрации

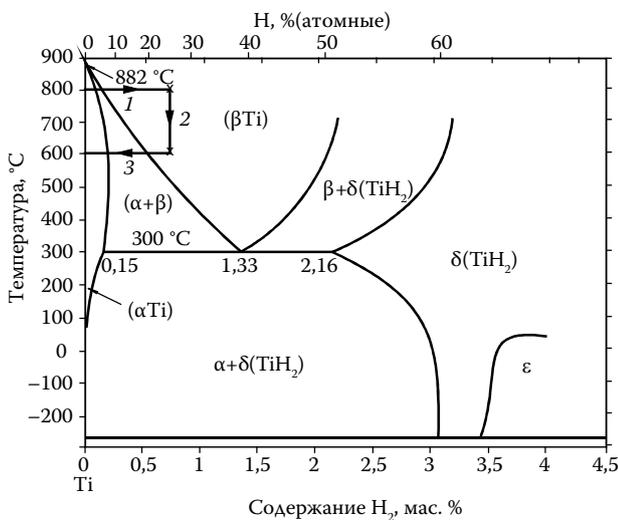


Рис. 3. Диаграмма состояния системы Ti–H [7] и схема выбора режимов ТВО

происходит $\alpha \rightarrow \beta$ -превращение в сплаве. При содержании водорода свыше 0,2% сплав переходит в однофазное состояние. При этом температура 800 °С недостаточно высока для развития интенсивного роста β -зерна.

На следующем этапе возможны два варианта обработки: охлаждение наводороженного сплава до нормальной температуры с последующим вакуумным отжигом; дегазация при 800 °С или несколько меньшей температуре.

В случае первого варианта при охлаждении титанового сплава в нем могут развиваться $\beta \rightarrow \delta$ - и $\beta \rightarrow \alpha + \delta$ -превращения, в процессе которых происходит интенсивный фазовый наклеп из-за высокого различия атомных объемов сосуществующих фаз. Однако образование гидридов может приводить к появлению в структуре материала микротрещин, которые под действием термических или других напряжений будут развиваться в макротрещины и приводить к «самопроизвольному» разрушению заготовок или изделий. Поэтому предпочтительным можно считать второй вариант, при реализации которого по мере снижения концентрации водорода развивается $\beta \rightarrow \alpha$ -превращение, вызывающее дополнительный фазовый наклеп. В процессе обезводороживания возможно снижение температуры (см. рис. 3, линия 2), но не ниже температурной границы выделения вторичного гидроксида и эвтектидного превращения. Для обеспечения формирования дисперсных частиц α -фазы удаление водорода целесообразно проводить при 550–650 °С (см. рис. 3, линия 3). При этой температуре исходная концентрация водорода должна обеспечивать однофазное β -состояние (т.е. материал должен быть наводорожен до концентрации больше 0,6% H_2), а после обезводороживания только α -фазу. Так как при таких условиях полного обезводороживания может не произойти, то заготовки и изделия необходимо подвергнуть дополнительному вакуумному отжигу при 650–700 °С в течение 4 ч. Такой отжиг может проводиться в обычных вакуумных печах при большей массе садки. Это повысит экономичность всего процесса, так как будет минимизировано время рабочего цикла специализированного оборудования для наводороживания и позволит обеспечить безопасное (с точки зрения возможного развития водородной хрупкости) содержание водорода в готовых изделиях.

В соответствии с изложенными выше технологическими принципами спеченные заготовки наводороживали при 800 °С до концентрации 0,8 мас. % H_2 , после получасовой выдержки сни-

жали температуру до 600 °С и откачивали из рабочего пространства водород в течение 0,5 ч. После этого заготовки охлаждали до нормальной температуры и подвергали вакуумному отжигу при 600 °С в течение 4 ч или при 800 °С 1 ч.

В первой серии экспериментов использовали образцы проволоки из сплава ВТ1-00 диам. 1,2 мм. Отрезки проволоки укладывали друг на друга крестообразно и проводили спекание с постоянным увеличением нагрузки на 10 Н. После этого часть образцов подвергали ТВО и проводили микроструктурный анализ зоны соединения. Механические испытания на сдвиг осуществляли путем определения силы разрушения соединения проволоки при протаскивании крестообразного образца через матрицу с отверстием диам. 3 мм. В некоторых случаях при нагружении происходил разрыв одной из проволок вблизи границы их контакта.

Эти испытания показали (рис. 4), что при низких температурах спекания (820 °С) площадь контакта невысока, а его граница представляет собой механическое соединение без образования общих зерен (см. рис. 2, а). При этом усилие разрушения этого соединения не превышает 60 Н. По мере повышения температуры спекания увеличивается площадь контакта, на границе появляются общие для двух образцов проволоки зерна, а усилие разрушения достигает 250 Н после спекания при 920 °С. Однако структура материала изменяется – происходит укрупнение β -превращенного зерна, а α -фаза представлена крупными пластинами (см. рис. 2, д).

Термоводородная обработка позволяет существенно повысить усилия разрушения образ-

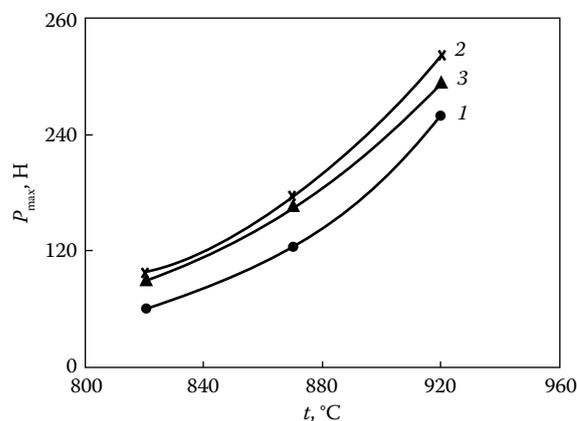


Рис. 4. Зависимость усилия разрушения «крестообразных» образцов из проволоки сплава ВТ1-00 от температуры спекания: 1 – после спекания; 2 – после дополнительной термоводородной обработки с вакуумным отжигом при 600 °С (2) и 800 °С (3)

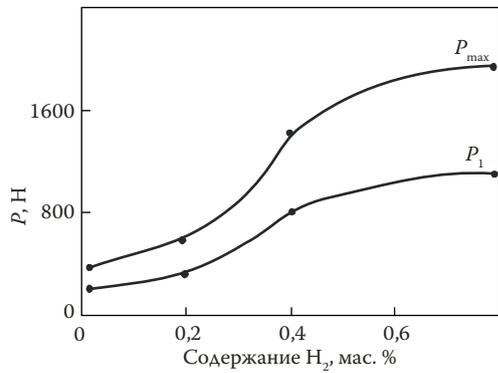


Рис. 5. Влияние концентрации водорода при термоводородной обработке на максимальное (P_{\max}) и первое (P_1) усилие разрушения контакта соединения проволок из сплава VT1-0 в пористом материале

цов (до 340 Н), которое во многих случаях происходит не по зоне контакта, а по основному материалу. При этом в микроструктуре контакта проволок, спеченных при 870 °С и выше, образуются общие зерна, и бывшая граница микроструктурно не выявляется. Следует также отметить, что после спекания при 920 °С крупные α -пластины при термоводородной обработке становятся значительно мельче, особенно при низкой (600 °С) температуре окончательного вакуумного отжига. Это приводит к упрочнению не только зоны контакта, но и всего основного материала.

Для проверки эффективности применения термоводородной обработки образцов медицинских изделий на основе пористого материала из проволоки сплава VT1-00 был проведен эксперимент, в котором эндопротез тела позвонка испытывали на срез. При записи усилия от перемещения захватов испытательной установки фиксировали серию пиков, характеризующих усилия разрушения отдельных контактов проволок в поперечном сечении цилиндрического образца (см. рис. 1, а). На рис. 5 показаны изменения усилия, отвечающее первому пику (P_1), и максимальная величина усилия в цикле нагружения образца (P_{\max}) в зависимости от концентрации водорода, вводимого в процессе термоводородной обработки. Установлено, интенсивное увеличение P_1 и P_{\max} при повышении концентрации водорода до 0,4% и более плавное – от 0,4 до 0,8%. При этом необходимо отметить, что в образцах, прошедших ТВО, резко возрастает количество пиков на кривой нагружения. Это свидетельствует об увеличении количества контактов, имеющих физический, а не механический характер.

Так, для образцов, не подвергнутых ТВО, количество пиков нагрузки не превышает 100, а после ТВО с использованием 0,8% H₂ их число возрастает до 340. Используя интегрирование по нагрузке всех усилий разрушения контактов, можно говорить об увеличении энергии разрушения образца, прошедшего ТВО, в 4,5 раза по сравнению с образцом без ТВО.

Таким образом, использование термоводородной обработки позволяет существенно увеличить прочность спеченных пористых материалов из сплавов на основе титана.

Заключение. Проведенные исследования показали, что применение термоводородной обработки (ТВО) позволяет повысить механические свойства спеченных волокнистых пористых материалов (ПМ) из титана. При этом достаточно высокий комплекс механических свойств ПМ может быть достигнут при использовании спекания ниже температуры A_{c_3} , что позволяет сохранить мелкозернистую структуру исходного материала. Это является важным фактором, поскольку позволяет использовать процесс получения ПМ для создания пористых покрытий на имплантатах. В этом случае важно, чтобы процесс обработки проходил при температуре ниже 900 °С, дабы не ухудшить структуру имплантата и сохранить его механические характеристики.

Применение термоводородной обработки позволяет не только снизить температуру, но и давление при спекании. Это обеспечивает получение ПМ с максимально возможной объемной пористостью (80–90%).

Использование при получении ПМ волокон или проволоки из титана различного сечения дает возможность варьировать размеры пор в широком диапазоне, в том числе в интервале 100–500 мкм для обеспечения высокой остеинтеграционной способности материала. Наличие в пределах одного волокна или отрезка проволоки множества физических контактов с другими элементами материала снижает риск выкрашивания частиц ПМ и обеспечивает высокую надежность его использования в качестве имплантируемого материала при закрытии костных дефектов.

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что ТВО можно эффективно использовать для улучшения структуры и повышения механических свойств пористых материалов, полученных не только спеканием гранул и волокон, но и аддитивными технологиями, в частно-

сти 3D-прототипированием с применением электролучевой или лазерной сварки порошка титана и его сплавов [13–15].

Результаты работы получены в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0013 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57714X0013).

Библиографический список

1. Garrett R., Abhag P., Dimitrios P.A. Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. *Biomaterials* 27. 2006. P. 2651–2670.
2. Thieme M., Wieters K.R., Bergner F. et al. Titanium powder sintering for preparation of a porous functional graded material destined for orthopedic implants // *J. Mater. Sci. Mater. in Med.* 2001. No. 12. 225–231.
3. Ильин А.А., Мамонов А.М., Скворцова С.В. Области и перспективы применения термоводородной обработки титановых сплавов // *Металлы*. 2001. № 5. С. 49–56.
4. Ильин А.А., Скворцова С.В., Мамонов А.М., Карпов В.Н. Применение материалов на основе титана для изготовления медицинских имплантатов // *Металлы*. 2003. № 3. С. 97–104.
5. Ильин А.А., Скворцова С.В., Мамонов А.М. и др. Влияние термоводородной обработки на структуру и свойства отливок из титановых сплавов // *МиТОМ*. 2002. № 5. С. 10–13.
6. Ильин А.А., Скворцова С.В., Спектор В.С. и др. Взаимосвязь структуры и комплекса механических свойств в титановом сплаве ВТ6 // *Титан*. 2011. № 1 (31). С. 26–29.
7. Ильин А.А., Колачев Б.А., Носов В.К., Мамонов А.М. Водородная технология титановых сплавов. М. : МиСИС. 2002. 392 с.
8. Сенкевич К.С., Скворцова С.В. Влияние термоводородной обработки на процессы порошковой металлургии и твердофазного соединения титановых сплавов // *Технология легких сплавов*. 2012. № 2. С. 70–77.
9. Gusev D.E., Senkevich K.S., Shlyapin S.D., Kollerov M.Yu. Special features of production of porous implants by diffusion welding and thermal hydrogen treatment // *Welding International*. 2011. Vol. 25, Is. 6. P. 466–471.
10. Feng J.C., Liu H., He P., Cao J. Effects of hydrogen on diffusion bonding of hydrogenated Ti6Al4V alloy containing 0.3 wt. % Hydrogen at fast heating rate // *Int. J. of Hydrogen Energy*. 2007. No. 32 (14). P. 3054–3058.
11. Коллеров М.Ю., Серов М.М., Шляпин С.Д., Рунова Ю.Э. Исследование возможности получения пористого материала из волокон титана // *Технология машиностроения*. 2013. № 9 (135). С. 5–9.
12. Шляпин С.Д., Коллеров М.Ю., Гусев Д.Е. и др. Получение пористых медицинских имплантатов с использованием диффузионной сварки // *Технология легких сплавов*. 2007. № 3. С. 138–143.
13. He G., Liu P., Tan Q. Porous titanium materials with entangled wire structure for load-bearing biomedical applications // *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 2012. No. 5. P. 16–31.
14. Rubshtein A.P., Trakhtenberg I.Sh., Makarova E.B. et al. Porous material based on spongy titanium granules: Structure, mechanical properties, and osseointegration // *Materials Science and Engineering*. 2014. Vol. 35. P. 363–369.
15. Parthasarathy J., Starly B., Raman S., Christensen A. Mechanical evaluation of porous titanium (Ti6Al4V) structures with electron beam melting (EBM) // *J. of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2010. No. 3 (3). P. 249–259.

USE OF THERMO-HYDROGEN TREATMENT AT PRODUCTION OF POROUS MATERIALS AND PRODUCTS FROM TITANIUM FIBRE AND WIRE

© Kollerov M.Yu., Shlyapin S.D., Senkevich K.S., Kazantsev A.A., Runova Yu.E.

A possibility of improving of mechanical properties of titanium porous material made of sintered fibres and wires was studied. In order to do that, thermo-hydrogen treatment was applied. It is shown that the temporary alloying by hydrogen increases the binding strength of fibres and the strength of the whole material. As a result, the material with high volume fraction of porosity (100–500 microns in size) known for high osteointegration capacity was obtained. This material is prospective choice for using in implants for the substitution of bone defects or for the creation of functional coatings on the prostheses surface.

Keywords: titanium; porous material; fibre; wire; implants; structure; properties; thermo-hydrogen treatment.

Scopus - Metallurgist - Windows Internet Explorer

http://www.scopus.com/source/sourceInfo.url?sourceId=27360&origin=recordpage

Преобразовать Выбрать

GAME NETWORK Search Top Games Upcoming Games New Games Adding Games Premium Games Search Games Special Offers

Избранное Рекомендуемые узлы Коллекция веб-фрагм...

Scopus - Metallurgist

Scopus Activate Personalization Logout

Search Alerts My list Settings Live Chat Help and Contact Tutorials

Journal Homepage

Metallurgist

Subject Area: Engineering: Mechanics of Materials
Materials Science: Materials Chemistry
Materials Science: Metals and Alloys
Physics and Astronomy: Condensed Matter Physics

Publisher: Springer New York
ISSN: 0026-0894
E-ISSN: 1573-8892

Scopus Coverage Years: from 1957 to Present

Follow this source Receive emails when new documents are available in Scopus

SNIP and SJR

SJR = SCImago Journal Rank is weighted by the prestige of a journal. Subject field, quality and reputation of the journal have a direct effect on the value of a citation. SJR also normalizes for differences in citation behavior between subject fields.

SNIP = Source Normalized Impact per Paper measures contextual citation impact by weighting citations based on the total number of citations in a subject field.

Journal Metrics

Scopus Journal Metrics offer the value of context with their citation measuring tools. The metrics below allow for direct comparison of journals, independent of their subject classification. To learn more, visit www.journalmetrics.com.

SJR (SCImago Journal Rank) (2013): 0.187
SNIP (Source Normalized Impact per Paper) (2013): 0.291

[Compare with other journals](#)

Documents available from

Ошибка на странице.

Интернет | Защищенный режим: выкл. 100%

RU 18:24 07.10.2014

Journal Format For Print Page: ISI - Windows Internet Explorer

http://ip-science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi

Преобразовать Выбрать

GAME NETWORK Search Top Games Upcoming Games New Games Addicting Games Premium Games Search Games Special Offers

Избранное Рекомендуемые узлы Коллекция веб-фрагм...

Journal Format For Print Page: ISI

Страница Безопасность Сервис

Thomson Reuters Master Journal List JOURNAL LIST

Search terms: METALLURGIST
Total journals found: 1

1. **METALLURGIST** Bimonthly ISSN: 0026-0894
SPRINGER, 233 SPRING ST, NEW YORK, USA, NY, 10013
 1. [Science Citation Index Expanded](#)
 2. [Current Contents - Engineering, Computing & Technology](#)

Готово Интернет | Защищенный режим: выкл. 100%

EN 19:00 07.10.2014



Springer

the language of science

Consent to Publish

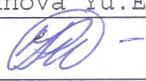
The Author confirms:

- that the work described has not been published before (except in the form of an abstract or as part of a published lecture, review, or thesis);
- that it is not under consideration for publication elsewhere;
- that its publication has been approved by all co-authors, if any;
- that its publication has been approved (tacitly or explicitly) by the responsible authorities at the institution where the work is carried out.

The Author agrees to publication in the Journal indicated below and also to publication of the article in English by Springer in Springer's corresponding English-language journal.

The copyright to the English-language article is transferred to Springer effective if and when the article is accepted for publication. The author warrants that his/her contribution is original and that he/she has full power to make this grant. The author signs for and accepts responsibility for releasing this material on behalf of any and all co-authors. The copyright transfer covers the exclusive right to reproduce and distribute the article, including reprints, translations, photographic reproductions, microform, electronic form (offline, online) or any other reproductions of similar nature.

After submission of the agreement signed by the corresponding author, changes of authorship or in the order of the authors listed will not be accepted by Springer.

Journal:	
Title in Russian	Металлург
Title in English	Metallurgist
Title of article:	Application of thermo-hydrogen treatment for the production of porous materials and devices of titanium fibre and wire.
Names of ALL contributing authors:	Kollerov M.Yu., Shlyapin S.D., Senkevich K.S., Kazantcev A.A., Runova Yu.E.
Corresponding author's signature:	
Date:	24.09.2014г.