

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ\*

С.Д. Шляпин, докт. техн. наук, М.Ю. Коллеров, докт. техн. наук, Д.Е. Гусев, канд. техн. наук, К.С. Сенкевич, аспирант, Е.А. Степанова (МАТИ – РГТУ им. К.Э. Циолковского)

Получение пористых медицинских имплантатов с использованием диффузионной сварки. С.Д. Шляпин, М.Ю. Коллеров, Д.Е. Гусев, К.С. Сенкевич, Е.А. Степанова.

Исследованы возможности получения пористых медицинских имплантатов с использованием способа диффузионной сварки. Изучено влияние дополнительной термоводородной обработки на прочность сварного соединения и эксплуатационную надежность изделия. Показано, что, варьируя режимы диффузионной сварки и термоводородной обработки, можно получить пористые изделия с различными параметрами пористости и механическими характеристиками.

**Production of Porous Medical Implants with the Use of Diffusion Bonding.**  
S.D. Shlyapin, M.Yu. Kollerov, D.Ye. Gusev, K.S. Senkevich, Ye.A. Stepanova.

The possibility of production of porous medical implants with the use of a diffusion bonding technique and the effect of additional thermo-hydrogen treatment on weld strength and failure-free service of the components have been studied. It was shown that it is possible to produce porous components with various porosity parameters and mechanical properties due to variations in diffusion bonding and thermo-hydrogen treatment parameters.

При разработке нового типа эндопротезов была поставлена задача получения пористого изделия с механическими свойствами, максимально приближенными к свойствам костной ткани человека, что необходимо для лучшей биологической и механической совместимости имплантата и кости. В настоящее время существуют различные способы получения пористых имплантатов, в том числе с использованием методов порошковой металлургии [1, 2, 3]. Полученные таким образом изделия могут обладать необходимой пористостью и хорошими прочностными свойствами, но их применение в качестве эндопротезов может сопровождаться осложнениями из-за значительного различия в механических характеристиках, в первую очередь в жесткости, указанных изделий и в связи с опасностью выкрашивания отдельных частиц в процессе эксплуатации. Анализ существующих типов пористых материалов показал, что наибольшие возможности для варьирования характеристик пористых изделий (пористости, прочности и жесткости) обеспечиваются при использовании волоконных или сетчатых материалов [4, 5]. Перспективным способом получения по-

ристых изделий является диффузионная сварка (ДСВ) [6, 7]. Однако следует отметить, что изготовление изделий с обеспечением необходимой пористости является наименее изученной областью диффузионной сварки.

В связи с вышесказанным на кафедре материаловедения и технологии обработки материалов МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского была разработана технология изготовления пористого эндопротеза позвонка человека. Разработанный эндопротез представляет собой конструкцию из единого куска проволоки диаметром 0,5–1,5 мм в виде спирали, сваренной послойно (рис. 1). В качестве

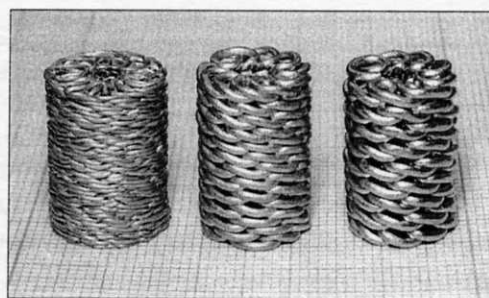


Рис. 1. Внешний вид конструкций эндопротеза тела позвонка из сплава ВТ1-0 с различной пористостью

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 06-04-90812-Мол\_а.

материала был выбран титан ВТ1-0, обладающий хорошей свариваемостью и соответствующий требованиям, которые предъявляются к материалам, используемым в медицине в качестве имплантатов. Из-за малой активности такого материала его спекание проблематично. Поэтому в работе для получения требуемого изделия изучена возможность использования диффузионной сварки.

На начальном этапе разработки для исследования диффузионного соединения были использованы модельные образцы крестообразной формы, полученные спеканием двух кусков проволоки ВТ1-0 диаметром 1 мм. Диффузионную сварку проводили при различных температурах (820, 870 и 920 °С) в течение 0,5; 1 и 1,5 ч при давлениях 8,5 и 11,5 Н. После сварки образцов определяли прочность контактов на разрыв и изучали структуру материала в зоне диффузионной сварки.

На рис. 2, а показана зависимость усилия, необходимого для разрушения контакта, от температуры диффузионной сварки. Из рис. 2, а

видно, что с увеличением температуры растет и усилие разрушения. Как показали исследования, переход к более низким значениям внешней нагрузки при сварке (от 11,5 к 8,5 Н) практически не влияет на величину разрушающего усилия.

После диффузионной сварки определяли изменение высоты контакта  $\Delta h$  под действием внешней нагрузки. При температуре диффузионной сварки материал становится более пластичным (из-за снижения предела текучести) и деформируется под действием внешней нагрузки. Таким образом, воздействие прикладываемой нагрузки обеспечивает не только плотность контакта свариваемых образцов, но и приводит во время диффузионного спекания к деформации металла, что благоприятствует протеканию диффузионных процессов в зоне контакта.

Увеличение времени выдержки при одной и той же температуре способствует повышению усилия разрушения и величины  $\Delta h$  (рис. 2, б). При выдержке более 1 ч скорость роста этих характеристик замедляется. После испытания поверхность разрушения образцов исследовали с помощью оптического микроскопа. Было выявлено, что рельеф поверхности излома образцов, сваренных при температуре 820 °С, развит незначительно. Это, по-видимому, свидетельствует о плохом контакте соединяемых поверхностей. С увеличением температуры диффузионной сварки поверхность разрушения становится более развитой: наблюдаются участки пластической деформации материала во время отрыва, что является признаком интенсивной диффузии вещества из одной части образца в другую.

Таким образом, наиболее оптимальным режимом сварки можно считать следующий:  $t=920$  °С,  $\tau=1$  ч и  $P=11,3$  Н. Анализ микроструктуры в зоне диффузионного соединения подтверждает результаты, полученные при испытании образцов на разрыв. При температуре диффузионной сварки 820 °С на границе контакта в зоне диффузионного соединения наблюдается большое количество пор, свидетельствующих о плохом протекании процессов диффузионной сварки и приводящих к снижению прочностных свойств. При 870 °С количество и размер пор резко сокращаются, а при

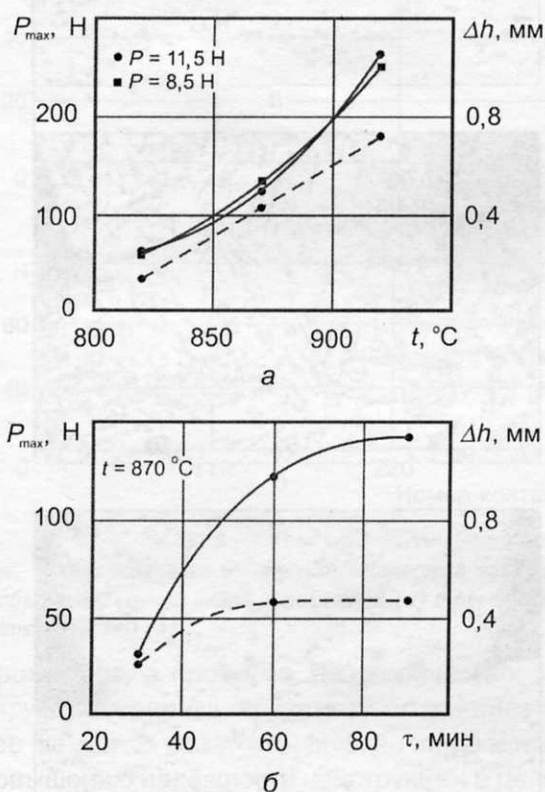


Рис. 2. Влияние температуры (а) и времени (б) диффузионной сварки на усилие разрушения  $P_{max}$  (сплошные линии) и на изменение высоты контактного участка при нагрузке 11,5 Н (штриховая линия)

