

В.А. Калининченко, М.Л. Калининченко, А.Н. Григорчик

НОВЫЙ МЕТОД КРЕПЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ И КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА

Цель работы – оценка возможности изготовления компактно-пористых материалов на основе пористого титана, получаемого методом порошковой металлургии, и компактной основы (подложки) из беспористого титана или нержавеющей стали с использованием клеевых соединений. В настоящее время в Республике Беларусь такое направление исследований и разработок представлено слабо, хотя мировой опыт автомобилестроения и авиастроения свидетельствует о перспективности подобных работ. Для определения электропроводности и деформационно-прочностных свойств связки компактного материала с пористой составляющей, скрепленной на основе промышленного клея, были подготовлены две группы образцов. Испытания образцов первой группы были проведены для предварительного отбора промышленных марок клея, а образцов второй группы – для оценки исследуемых параметров склейки компактов с порошком титана. С учетом результатов проведенных испытаний подтверждена возможность применения клеевых составов для производства изделий промышленного назначения на основе пористого и компактного титана.

Ключевые слова: компактно-пористые материалы, двухкомпонентные клеи, титановый порошок, компактная подложка, электросопротивление, прочность на разрыв, пористость, толщина клеевого состава.

Введение. В настоящее время стабильным остается спрос на титаносодержащие материалы [1; 2], как пористые, так и компактно-пористые. Для изготовления последних необходимо создавать прочное соединение компактной (беспористой) основы с пористым рабочим слоем, что обеспечивается обычно методами холодного или горячего прессования. С другой стороны, представляется перспективным оценить возможность использования для этих целей промышленных клеев, сфера применения которых постоянно расширяется. В частности, лидеры авиастроения и автомобилестроения, такие как «Боинг» и «Ауди», используют клеи для создания высокотехнологических изделий (в настоящее время внедрены цельноклеевые автомобили, а также самолет «Боинг 737» является примером клеенно-свинченной конструкции). Однако в настоящее время в Республике Беларусь такое направление исследований и разработок представлено слабо.

Целью работы являлась оценка возможности изготовления компактно-пористых материалов на основе пористого титана, получаемого методом порошковой металлургии, и компактной основы (подложки) из беспористого титана или нержавеющей стали с использованием клеевых соединений.

Методика проведения исследований. Для определения свойств связки компактного материала и пористой составляющей, скрепленной на основе промышленного клея, были подготовлены 2 группы образцов. Испытания группы № 1 были проведены для обоснования выбора клея; группы № 2 – для оценки влияния склейки компактов с порошком титана, также обе группы исследовали на электросопротивление. В качестве

Калининченко Владислав Александрович, канд. техн. наук, зав. научной инновационной исследовательской лабораторией «Промышленная теплофизика», доц. каф. охраны труда БНТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: kvlad@bntu.by

Калининченко Мария Львовна, науч. сотрудник каф. технологии машиностроения БНТУ (Минск).

Адрес для корреспонденции: пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: m.kalinichenko@mail.ru

Григорчик Александр Николаевич, аспирант НТЦ «Технологии машиностроения и технологического оборудования» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (Минск); науч. рук. – В.А. Кукарко, д-р физ.-мат. наук, начальник НТЦ «Технологии машиностроения и технологического оборудования» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (Минск).

Адрес для корреспонденции: ул. Академическая, 12, 220072, г. Минск, Беларусь; e-mail: Grigorchik_a_n@mail.ru

пористого материала использовался порошок титана марки ТПП5 (ТУ 14-22-57-98), а в качестве материала подложки – коррозионно-стойкая сталь марки Х18Н9 и титановый сплав ВТ-1 (ОСТ 9045-72). Данные образцы являлись моделью для последующего изготовления фильтрующих элементов и взрывных размыкателей. Как вариант рассматривалась возможность крепления с помощью клеев спрессованной таблетки к компактному материалу. По анализу представителей крупных зарубежных компаний на рынке республики (Bosch, 3M, Henkel и др.) было предложено начать работу с материалами компании 3M, как наиболее приспособленными для склейки сложных металлических сплавов.

Подготовка поверхности экспериментальных образцов первой и второй групп проводилась в соответствии со стандартными методиками, разработанными предприятием-изготовителем клеев для склейки металла. Для получения прочного соединения все поверхности в сухом, неокрашенном, без оксидных пленок, масел, пыли, релизов и т.п. виде прошли обезжиривание раствором 3M *Surface cleaner* 60/40 50/50 с последующей обработкой наждачной бумагой Scotch-Brite и протиркой очистителем поверхности 3M. Такая обработка создает условия для хорошей адгезии металлов к клеевым составам.

Испытания образцов первой и второй групп проводили на базе сертифицированного центра структурных исследований и трибомеханических испытаний материалов и изделий машиностроения Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (ЦКП – ЦСИМИ ОИМ НАН Беларуси) с помощью разрывной машины Instron 300LX, данные обрабатывались с помощью программы Bluehill 2 (Великобритания).

На первом этапе был проведен микроструктурный анализ формы и размеров частиц порошка титана марки ТПП5 промышленного использования, выпускаемого в соответствии с ТУ 14-22-57-98 для изготовления изделий различного назначения, который показал высокую неоднородность зерен титанового порошка (рисунок 1).

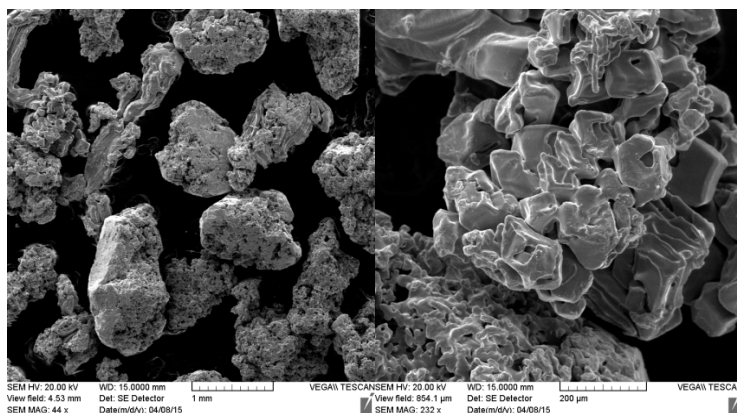


Рисунок 1 – Форма частиц порошкового титана ТПП-5, соответствующего ТУ 14-22-57-98

Далее был произведен выбор клеевых составов, применимых к условиям эксплуатации соединений титана с титаном и титана с коррозионно-стойкой сталью. В первом случае изделия могут использоваться как в сухой, так и во влажной среде (фильтры), во втором – должны быть электропроводящими (взрывные размыкатели-предохранители). Для крепления образцов первой группы применялись 2-компонентные клеи марок DP 270, DP 490, DP 810 и DP 8805NS производства компании 3M.

По данным предприятия-изготовителя клеев, максимальную прочность образцы достигают через 2 недели после склеивания. В связи с этим к дальнейшим исследованиям приступили после истечения указанного времени для получения максимально достоверных результатов.

Результаты экспериментов и их обсуждение. Проведенные измерения показали, что все испытанные клеевые составы, кроме DP 8805NS, обладают повышенным, при прочих равных условиях, электрическим сопротивлением, что объясняется недостаточным количеством металлических частиц в клеевом составе. Исключением является склейка прессованной таблетки к компактному материалу.

При анализе влияния вида подложки на проводимость клеевого состава было определено, что наилучшую проводимость имеет соединенный клеем DP 810 порошок титана, заключенный между подложкой из нержавеющей стали, а также склеенный порошок титана, заключенный между подложкой из монолитного (беспористого) титана.

Результаты экспериментов по определению прочности при разрыве образцов первой группы представлены на рисунках 2 и 3.

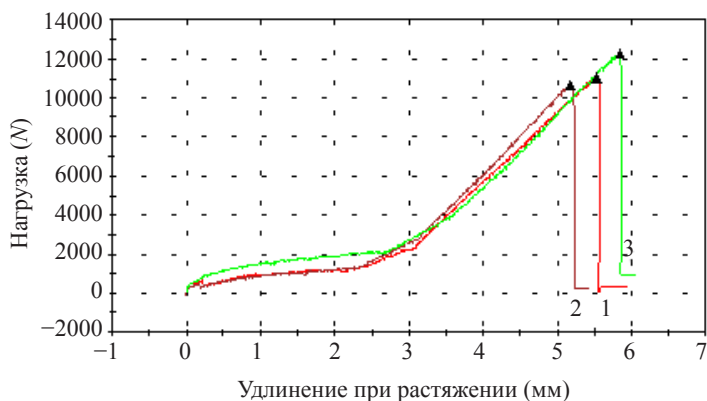


Рисунок 2 – Диаграммы испытания на разрыв образцов № 1, 2, 3 клеевых соединений на базе клеев: DP 8805NS (1); DP 490 (2); DP 810 (3)

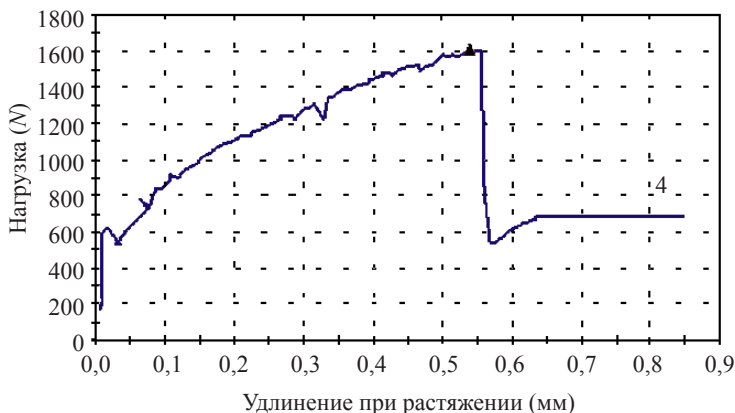


Рисунок 3 – Диаграмма испытания на разрыв образца № 4, склеенного клеем DP 270

При этом взятый для сравнения образец состава нержавеющая сталь – спрессованная таблетка – клей – нержавеющая сталь, изготовленный с использованием клея DP 8805NS, разрушился в зажимах испытательного оборудования в момент юстировки (при нагрузке менее 10 Па) по плоскости спекания компактной подложки с пористым материалом. В связи с этим данные о механизме его разрушения не могли быть

обработаны используемым программным обеспечением. Как результат, на рисунках 2 и 3 представлены данные по 1, 2, 3 и 4 образцам.

Таблица 1 – Прочностные характеристики образцов первой группы

Номер эксперимента (образца)	Предел прочности, МПа	Пластичность, %
1	14,7	1,5
2	14,2	1,4
3	16,4	1,6
4	2,2	0,1

Из анализа рисунка 2 видно, что для образцов группы 1 характерна практически одинаковая схема разрушения, причем наиболее высокие показатели были достигнуты на образце № 3 из титана, соединенного клеем DP 810.

При растяжении наблюдается удлинение около 6 мм, достигнутое при нагрузке 12000 Н, что в пересчете соответствует пределу прочности 16,4 МПа. Максимальная остаточная деформация до разрушения (пластичность) составляет около 1,6 % (таблица 1).

При этом, как видно из рисунка 4, в образцах данной группы наблюдается равномерное разрушение клеевого состава, т.е. около 50 % клея осталось на каждой половинке образца.

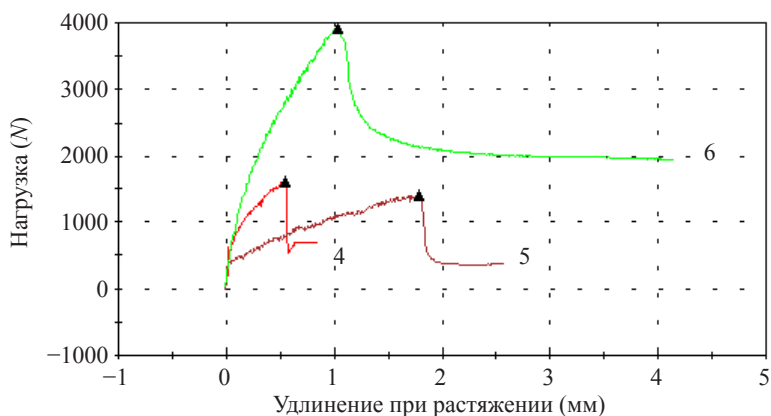


Рисунок 4 – Вид образца № 1 (клей DP 8805NS) после разрыва

Наихудшие результаты получены с использованием клея DP 270. Было установлено, что образец разрушается при нагрузке 1600 Н, что соответствует пределу прочности 2,2 МПа и пластичности 0,1 %. К тому же 100 % нанесенного клеевого состава осталось на одной из половин разрушенного образца, что указывает на недостаточное адгезионное взаимодействие клея с поверхностью подложки.

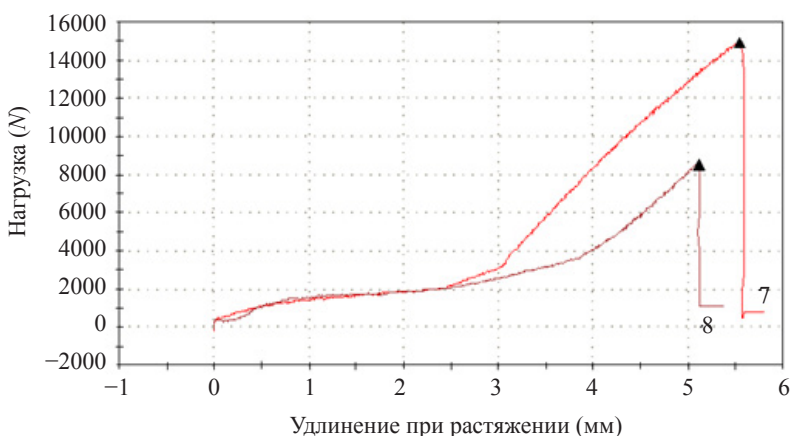
Вторыми по скрепляющей способности оказались клеи 8805, лишь немного опередив клей DP 490 (рисунок 2 и таблица 1). При этом данные клеи имеют схожие адгезивные характеристики и схему разрушения (приблизительно 50 % клеевого состава осталось на половинках разрушенного образца).

С учетом проведенных экспериментов и основываясь на предпосылках, что требуется клеевой состав, обеспечивающий получение наиболее высоких механических свойств, а в отдельных случаях и электропроводящих, для второй группы экспериментов были отобраны клеи DP 810 и DP 8805NS, а также аналог последнего DP 8810NS. Были изготовлены образцы на основе данных клеев и частиц титана (ТПП5).



Пояснения: образец № 4 – клеем DP 270; образец № 5 – клеем DP 8810NS (таблетка получена методом порошковой металлургии); образец № 6 – клеем DP 8810NS (таблетка получена методом склейки).

Рисунок 5 – Прочностные испытания склеенных клеем образцов на разрыв



Пояснения: образец № 7 – клеем DP 810 (полированная поверхность склейки); образец № 8 – клеем DP 810 (поверхность с нанесенными бороздками для усиления адгезии).

Рисунок 6 – Прочностные испытания склеенных клеем образцов на разрыв

Наряду с порошковым исходным титаном (ТПП5) в образце № 5 использовалась также спрессованная таблетка, полученная методом порошковой металлургии. При этом, в отличие от предыдущей серии, образец № 6 был представлен фильтрующим элементом (габаритные размеры: $d_{\text{фильтра}} = 19,1$ мм, $H = 29,1$ мм, $S_{\text{контакта}} = 1,54$ см², $d_{\text{внутренний}} = 13$ мм), приклеенный клеем DP 8810NS. Результаты испытаний приведены в таблице 2 и на рисунке 7.

Таблица 2 – Прочностные характеристики образцов второй группы

Номер эксперимента	Предел прочности, МПа	Пластичность, %
5	2,0	0,5
6	5,5	0,3
7	21,1	1,5
8	12,1	1,4

Макроскопический анализ образца показал (рисунок 7), что заполнение клеевым составом составляло около 99,9 % пор. При этом толщина клеевой основы составляет от 380 до 420 мкм. В некоторых случаях заметно захватывание воздуха клеевым составом с порами диаметром около 240 мкм. Расстояние между порами варьируется от 16 до 600 мкм.

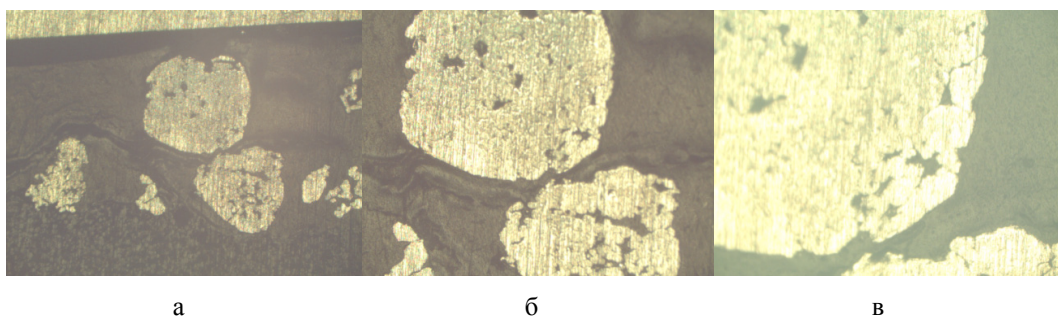


Рисунок 7 – Микроструктура клеевой композиции на примере образца № 7: порошок титана (светлые включения) в клее DP 810 (компактный материал без бороздок); увеличение × 50 (а), 103 (б) и 200 (в)

Заключение. Результаты проведенных испытаний подтвердили возможность применения клеевых составов для производства изделий промышленного назначения на основе пористого и компактного титана.

Дальнейшее развитие и оптимизация данной технологии позволит отказаться в ряде случаев от применения дорогостоящего оборудования, основанного на реализации процессов холодного и горячего прессования при производстве компактно-пористых материалов, ускорить и удешевить процесс производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bram, M.* Pulvermetallurgische Herstellung von porösen Titan und NiTi-Legierungen für biomedizinische Anwendungen / M. Bram // Forschungszentrum Jülich GmbH. – 2012. – Vol. 171. – 259 s.
2. *Александров, В.М.* Анализ производства и использования порошков титана в технологии порошковой металлургии / В.М. Александров, М.Л. Калиниченко // Порошковая металлургия: Инженерия, новые порошковые композиционные материалы. Сварка : сб. докладов 9 Междунар. симпозиума, Минск, 8–10 апр. 2015 г. – Минск : Ин-т порошковой металлургии. – Ч. 1. – С. 258–267.

Поступила в редакцию 02.06.15.

The aim of the study was to evaluate the possibility of manufacturing a compact-porous materials based on porous titanium produced by powder metallurgy, and compact base (substrate) of non-porous titanium or stainless steel using adhesive joints. Currently in the Republic of Belarus such a direction of research and development are poorly represented, although world experience in the automotive and aircraft industry indicates the prospects of such works. Two groups of samples were prepared to determine the conductivity and deformation-strength properties of bundles of compact material with a porous component, bonded with the help of industrial adhesives. Tests of samples of the first group were conducted for the pre-selection of industrial grades of glue, and samples of the second group is to estimate the studied parameters of gluing compacts with the titanium powder. The possibility of application of the adhesive compositions for the manufacture of products for industrial use on the basis of porous and compact titanium was confirmed taking into account the results of the tests.

Keywords: compact-porous materials, two-component adhesives, titanium powder, compact substrate, resistivity, tensile strength, porosity, thickness of the adhesive composition.

