

УДК 669

Перспективы применения высокоэнергетических методов воздействия для формирования заданного комплекса механических и теплофизических свойств композиционных материалов

Первухин Л.Б., Крюков Д.Б., Кривенков А.О., Чугунов С.Н., Казанцев И.А., Гуськов М.С.

Показана актуальность разработки комплексных технологий высокоэнергетического воздействия на компоненты композиционных материалов при их получении. Установлено, что наиболее перспективной является технология, основанная на использовании сварки взрывом и микродугового оксидирования, обеспечивающая направленное формирование структуры и свойств композиционного материала. Показаны основные преимущества сварки материалов взрывом при получении композиционных металлических материалов по сравнению с другими методиками создания композитов. Показано, что при воздействии на материалы ударных волн существенно повышается их износостойкость, прочность, твердость и выносливость. Дана характеристика технологии микродугового оксидирования, которой получают многофункциональные композиционные материалы с широким комплексом свойств, таких как износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, электроизоляционные характеристики, декоративность, и уникальным их сочетанием. Показано, что по сравнению с такими методами как термическое, химическое и электрохимическое окисление, микродуговое оксидирование является наиболее перспективным, поскольку позволяет получать оксидо-керамические покрытия любой толщины, практически без ограничений по функциональному назначению и на любом этапе технологического передела.

Ключевые слова: композиционный материал, высокоэнергетическое воздействие, сварка материалов взрывом, микродуговое оксидирование, механические и теплофизические свойства.

Future application of high-energy impact methods for the development of a specified set of mechanical and thermal properties of composite materials

Pervukhin L.B., Kryukov D.B., Krivenkov A.O., Chugunov S.N., Kazantsev I.A., Guskov M.S.

The paper considers the importance of developing a complex technology of high energy effect on the components of composite materials in their manufacture. The paper proves that the most promising technology is the one based on the use of explosion welding and micro-arc oxidation, providing the specified composite material structure and properties. The major advantages of explosion welding for producing composite metallic materials, compared to other methods of composite manufacture, are presented. Under the action of impact waves, materials significantly increase their durability, strength, toughness and fatigue resistance. The characteristic of micro-arc oxidation technology used for producing multi-functional composite materials featuring a wide range of properties including wear resistance, corrosion resistance, heat resistance, electrical insulation properties, decorativeness and their unique combination is given. In comparison with such methods as thermal, chemical and electrochemical oxidation, micro-arc oxidation is the most promising, because it allows the oxide-ceramic coatings of any thickness, without any restrictions for the purpose intended and in any stage of processing.

Keywords: composite material, a high-energy impact, explosion welding, micro-arc oxidation, mechanical and thermal properties.

Введение

Условия эксплуатации современной техники обуславливают жесткие требования к материалам, которые должны обеспечивать прочность конструкции при минимальной массе и габаритах, надежность и длительный ресурс, при воздействии переменных и значительных силовых нагрузках, чередования повышенных и пониженных температур, коррозионно-активных сред, корпускулярных, электромагнитных излучений. В этой связи современные условия эксплуатации изделий требуют создания принципиально новых высокоэффективных и дешевых композиционных материалов многофункционального назначения. Одним из направлений получения таких материалов является разработка комплексных технологий высокоэнергетического воздействия на компоненты композиционных материалов при их получении. К их числу относится технология, основанная на использовании сварки взрывом и микродугового оксидирования, обеспечивающая направленное формирование структуры и свойств композиционного материала. Работы в данном направлении ведутся на кафедре «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» в рамках соглашения № 14-19-00251 от 26 июня 2014 года с Российским научным фондом.

Цель работы – рассмотреть перспективы применения высокоэнергетических методов воздействия для формирования заданного комплекса механических и теплофизических свойств композиционных материалов.

Высокоэнергетические методы воздействия

При сварке взрывом материалы претерпевают ряд глубоких структурных и фазовых превращений, протекающих в результате действия высоких давлений и скоростей нагруже-

ния при одновременно малой длительности происходящих процессов, что приводит к образованию высокопрочных неразъемных соединений и упрочнению поверхности [1].

Посредством взрывного нагружения возможно проведение высококачественной сварки подавляющего большинства однородных и разнородных металлов и сплавов, не свариваемых или плохо свариваемых между собой известными методами. Сварка взрывом практически не имеет ограничений по площади свариваемых элементов. Неограничена возможность получения соединений широкого спектра назначения из разнообразных металлов и сплавов, что является одним из главных ее достоинств. При воздействии на материалы ударных волн существенно повышается их износостойкость, прочность, твердость и выносливость, что связано с возникновением локальных напряжений и увеличением плотности дислокаций, снижается электросопротивление за счет достижения более совершенного физического контакта, исключения интерметаллидных включений, увеличивается срок службы элементов [2-3].

Основные преимущества сварки взрывом по сравнению с другими методами (холодной сваркой, пластической деформацией и др.) заключаются в том, что в материале возникает:

- более глубокая упрочненная зона, например, после упрочнения взрывом срок службы сердечников стрелочных крестовин из стали 110Г13Л увеличивается в два-три раза, предел текучести образцов из стали 12Х18Н9Т повышается на 70 %, а предел прочности – на 20 %. Также существенно увеличивается поверхностная твердость. Твердость поверхности изделий из стали 110Г13Л повышается с 175-180 НВ до 400 НВ. Твердость изделий из меди повышается с 35 НВ до 100 НВ;

- снижается электросопротивление переходной зоны (в частности по паре Cu-Al от 3 до 6 раз, по сравнению с аналогичными изделиями, полученными холодной сваркой),

упрощается технология изготовления изделий, повышается производительность, появляется возможность увеличения одновременно нескольких характеристик.

Микродуговое оксидирование – один из новых видов электрохимической обработки поверхности преимущественно металлических материалов, берущих начало от традиционного анодирования. Микродуговым оксидированием получают многофункциональные композиционные материалы с широким комплексом свойств, таких как износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, электроизоляционные характеристики, декоративность, и уникальным их сочетанием [4].

В естественных условиях на поверхности изделий из металлов вентильной группы (например, алюминии, титане, цирконии) образуется оксидная пленка малой толщины (4-5 нм), сообщающая некоторую пассивность и выполняющая защитные функции [5-6]. Однако вследствие малой толщины и низких механических и технологических свойств она не в состоянии обеспечить надежную защиту материала основы от внешних неблагоприятных воздействий и не обеспечивает требуемых характеристик изделий. Поэтому на поверхности изделий из рассматриваемых материалов необходимо создавать оксидные покрытия значительной толщины (до 100 мкм и более). Наряду с такими методами как термическое, химическое и электрохимическое окисление (анодирование), микродуговое оксидирование является наиболее перспективным, поскольку позволяет получать оксидо-керамические покрытия любой толщины, со скоростью 20-30 мкм в минуту, практически без ограничений по функциональному назначению и на любом этапе технологического передела.

Установлено, что оксидное покрытие имеет тонкий, твердый и плотный барьерный слой, примыкающий к материалу основы. При применении нерастворяющихся электролитов наблюдается наличие только такого слоя, толщина которого исчисляется нанометрами.

Применение растворяющих электролитов (электролиты, способные слабо растворять оксид материала основы и оксидируемый материал) позволяет гарантированно создавать на поверхности материала оксидные слои значительной толщины (300-360 мкм), а в ряде случаев до 1,5-2,0 мм.

Износостойкость стекловидных оксидо-керамических покрытий, полученных на титане ВТ1-0 в 8-10 раз больше по сравнению с исходным материалом. [4]. При этом микротвердость находится в пределах 15-20 ГПа.

Результаты испытаний гильзо-поршневых групп двигателей внутреннего сгорания с оксидо-керамическими покрытиями свидетельствуют об эффективной защите поршней от воздействия высокотемпературных потоков – термостойкость увеличилась в 6-8 раз [7].

Таким образом, перспективность применения методов высокоэнергетического воздействия для создания композиционных материалов, путем реализации комплексных технологий, очевидна и обоснована. Однако, при всем многообразии инновационных разработок комплексные технологии находятся на стадии развития и становления. Многие аспекты взаимосвязи состава, структуры, физико-механических характеристик, температурно-временных параметров, условий формирования композиционного материала и режимов его технологических переделов остаются пока не раскрытыми, нет систематических сведений о влиянии внутренних и внешних факторов на процесс получения композиционных материалов с применением комплексных технологий.

Основу инновационных технологий составляют разработки, связанные с реализацией принципа управления структурным и фазовым состоянием различных систем, исследования физико-химических взаимодействий компонентов в металлических и неметаллических материалах, разработки новых принципов и систем, позволяющих получать композиционные материалы с требуемым комплексом свойств.

Выводы

1. При всем многообразии новейших разработок существует ряд основных проблем, которые требуют решения. Они связаны с необходимостью создания композиционных материалов, сочетающих в себе высокие показатели удельной прочности и удельной жесткости в условиях эксплуатации при повышенных температурах и знакопеременных нагрузках.

2. Изучение возможности применения методов высокоэнергетического воздействия для создания композиционных материалов повышенной механической прочности, износостойкости и теплозащитных свойств является актуальной задачей.

3. Использование композиционных материалов, обладающих повышенной механической прочностью, износостойкостью и теплозащитными свойствами, позволят существенно сэкономить дорогостоящие высоколегированные специальные сплавы за счет применения армирования на основе интерметаллического упрочнения и создания на их поверхности оксидо-керамических покрытий.

Литература

1. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222 с.
2. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д., Кудинов В.М. Сварка взрывом. – М.: Машиностроение, 1987. – 216 с.
3. Розен А.Е., Лось И.С., Крюков Д.Б., Первухин Л.Б., Гордолопов Ю.А., Первухина О.Л., Кирич Е.М., Хорин А.В., Денисов И.В. Способ получения композиционного материала. Патент на изобретение RUS 2407640 от 29.07.2008.
4. Казанцев И.А., Кривенков А.О., Чугунов С.Н., Крюков Д.Б. Теплофизические свойства материалов, полученных микродуговым оксидированием. // Материаловедение. 2011. № 3. С. 22-27.

5. Францевич И.Н., Лавренко В.А. Анодные окисные покрытия на легких сплавах. – Киев: Наук. Думка, 1977. – 259 с.

6. Аверьянов Е.Е. Справочник по анодированию – М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

7. Казанцев И.А., Кривенков А.О., Чугунов С.Н., Хохлов А.Л., Степанов В.А., Сафаров К.У. Способ обработки поршней двигателей внутреннего сгорания из алюминия, титана и их сплавов. Патент на изобретение RUS 2439211 от 04.10.2010.

References

1. Deribas A.A. Fizika uprochneniya i svarki vzryvom [Physics of hardening and explosion welding]. – Novosibirsk: Nauka, 1980. – 222 p.
2. Konon Y.A., Pervukhin L.B., Chudnovsky A.D., Kudinov V.M. Svarka vzryvom [Explosion welding]. – Moscow: Mashinostroenie, 1987. – 216 p.
3. Rozen A.E., Los I.S., Kryukov D.B., Pervukhin L.B., Gordopolov Y.A., Pervukhina O.L., Kirin E.M., Khorin A.V., Dennisov I.V. Sposob polucheniya kompozitsionnogo materiala [A method for producing a composite material] // Patent for the invention RUS 2407640 from 29.07.2008.
4. Kazantsev I.A., Krivenkov A.O., Chugunov S.N., Kryukov D.B. Teplofizicheskie svoystva materialov, poluchennykh mikrodugovym oksidirovaniem [Thermal properties of materials prepared by microarc oxidation] // Materialovedenie [Materials science], 2011, № 3. – Pp. 22-27.
5. Frantsevich I.N., Lavrenko V.A. Anodnye okisnye pokrytija na legkih splavah [Anodic oxide coatings on light alloys]. – Kiev: Sciences Dumka, 1977. – 259 p.
6. Aver'yanov E.E. Spravochnik po anodirovaniyu [Directory anodizing] – Moscow: Mashinostroenie, 1988. – 224 p.
7. Kazantsev I.A., Krivenkov S.A., Chugunov S.N., Khokhlov A.L., Stepanov V.A., Safarov K.U. Sposob obrabotki porshnej dvigatelej vnutrennego sgoraniya iz aljuminija, titana i ih splavov [The method of treating internal combustion engine pistons of aluminum, titanium and their alloys] // Patent for the invention RUS 2439211 from 04.10.2010.

Статья поступила в редакцию 4 августа 2014 г.

Первухин Леонид Борисович – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина», г. Москва, Россия. E-mail: bitrub@mail.ru

Крюков Дмитрий Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: demonisimus@yandex.ru

Кривенков Алексей Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: npctitan@yandex.ru

Чугунов Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: chugunow80@yandex.ru

Казанцев Игорь Алексеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: kazancev678@mail.ru

Гуськов Максим Сергеевич – аспирант кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия. E-mail: metal@pnzgu.ru

Pervukhin Leonid Borisovich – Professor, I.P.Bardin Central Research Institute for Ferrous Metallurgy, Moscow, Russia. E-mail: bitrub@mail.ru

Kryukov Dmitriy Borisovich – Ph.D., Penza State University, Penza, Russia. E-mail: demonisimus@yandex.ru

Krivenkov Aleksey Olegovich – Ph.D., Penza State University, Penza, Russia. E-mail: npctitan@yandex.ru

Chugunov Sergey Nikolaevich – Ph.D., Penza State University, Penza, Russia. E-mail: chugunow80@yandex.ru

Kazantsev Igor Alekseevich – Ph.D., Penza State University, Penza, Russia. E-mail: kazancev678@mail.ru

Guskov Maksim Sergeevich – Graduate Student, Penza State University, Penza, Russia. E-mail: metal@pnzgu.ru