

ПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Д. А. Сыч, К. В. Ефременко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: И. Ю. Ухарцева, С. Н. Бобрышева

Приведен анализ тенденций в развитии аддитивных технологий. Представлена характеристика современных методов 3D-печати, отмечены их преимущества и недостатки, области применения. Проанализированы особенности композиционных материалов, применяемых в аддитивных технологиях.

Ключевые слова: композиционные материалы, аддитивные технологии, 3D-печать.

Современные материалы подразделяются на две ключевые категории: пористые и монолитные. Каждая из них обладает уникальными структурными характеристиками и функциональными свойствами, определяющими их использование в науке и технике.

Целью настоящего исследования является анализ особенностей свойств современных пористых материалов, основных путей их создания и областей применения.

Пористые материалы представляют собой твердые тела, имеющие внутреннюю структуру в виде слипшихся или сросшихся частиц разной формы и размеров, между которыми образуются поры, которые могут быть открытыми или закрытыми. Система закрытых пор внутри тела в отличие от открытых не сообщается с внешней средой. Подобная структура обуславливает их уникальные свойства.

Согласно современной классификации, пористые тела по своей структуре делят на корпускулярные и губчатые. Корпускулярные пористые тела, или пористые тела первого типа, (например, силикагели) состоят из сросшихся частиц разной формы и размера, а порами являются промежутки между этими частицами и их ансамблями. В губчатых телах – телах второго типа (например, пористых стеклах) невозможно выделить отдельные первичные частицы, и поры в них представляют собой сеть каналов и полостей различной формы и переменного сечения. Такая структура значительно влияет на физико-химические характеристики материала. Комбинированные материалы сочетают в себе черты обоих типов пористости, что позволяет добиться еще большего разнообразия свойств и применений. В большинстве случаев пористая структура задается при синтезе и зависит от условий его проведения. Модифицирование материалов после их синтеза может также приводить к изменению размера пор [1].

Наиболее распространенный метод получения пористых материалов – осаждение, сопровождающееся переходами золь-гель-ксерогель. Каждый из этих переходов вносит определенный вклад в общий процесс порообразования. Для получения оксидных пористых материалов применяют термическое разложение различных соединений: гидроксидов, карбонатов, оксалатов, гидридов и т. д. В результате этого процесса получают высокодисперсные вещества с широко развитой системой капилляров.

Методом избирательного растворения отдельных компонентов вещества с помощью химических реакций получают пористые металлические катализаторы (никелевый, кобальтовый, железный), а также пористые стекла

Метод выжигания одного из компонентов, например, составляющей гидрогелей различных гидроксидов используется для формирования пористости некоторых сорбентов (силикагели) с пористой структурой строго определенного размера.

Для получения пористой структуры при подготовке биологических образцов для анализа их обрабатывают неравновесной плазмой с целью удаления органических веществ без изменения структуры неорганических составляющих [1].

Вопрос выбора пористого материала напрямую связан с пониманием его характеристики и требований области применения.

Пористые металлические материалы представляют собой тип металлического материала с очень пористой структурой. Для изготовления различных конструкций выбираются различные материалы – пористые тантал, титан, сплавы на его основе, ниобий, Co–Cr–Mo. Эффективная площадь поверхности этих материалов намного больше, чем их фактический объем. Пористые металлические материалы обладают хорошей реакционной активностью и адсорбционной способностью в каталитических реакциях и процессах адсорбции. Связанная структура пор пористых металлических материалов позволяет свободно переносить жидкости или газы в материале, что делает их идеальным выбором для фильтрации, разделения и передачи материалов [2].

Пористые металлические материалы широко используются в различных областях. В энергетике они используются в качестве носителей катализатора, материалов для электродов и материалов для хранения водорода. В области окружающей среды такие материалы применяют для очистки сточных вод и воздуха, разделения газов. В медицине они используются для получения искусственных костей, в тканевой инженерии и доставке лекарств. Наиболее перспективным металлическим пористым материалом медицинского назначения сегодня является никелид титана и сплавы на его основе. Пористый никелид титана обладает уникальной биохимической и биомеханической совместимостью с тканями организма и в связи с этим способен длительное время существовать в организме, сохраняя свои функциональные способности [3].

Широкое применение в различных областях находят пористые полимеры и композиционные материалы на их основе. Пористые полимеры позволяют использовать преимущества материалов с высокой удельной поверхностью. Они могут быть изготовлены множеством способов, легко осуществимых на практике, а разнообразие методов получения пористых полимеров позволяет регулировать их структуру и функциональность поверхности пор.

Одними из самых востребованных типов полимерных материалов, благодаря их уникальным свойствам, являются ПТФЭ (политетрафторэтилен) и СВМПЭ (сверхвысокомолекулярный полиэтилен). ПТФЭ – наиболее термохимически стойкий полимер. Диапазон рабочих температур изделий из пористого ПТФЭ – от 193 до +160 °С, ограниченно – до +250 °С. Данный материал обладает уникальной для известных полимеров химической инертностью, не разрушается и не выделяет никаких примесей при взаимодействии даже с высокоагрессивными веществами, имеет высокую степень гидрофобности. По химической стойкости СВМПЭ приближен к ПТФЭ, хотя рабочая температура материала лежит в диапазоне от –60 до 100 °С.

Пористая структура и свойства данных порошков открывают новые возможности для использования в различных областях. В микроэлектронике ПТФЭ используют в качестве сепараторов, фильтров и гермовыводов для защиты от загрязнений, СВМПЭ – как подложку для хрупких мембран. Из-за своей высокой термостойкости

и химической инертности ПТФЭ применяют для фильтрации высокоагрессивных жидких и газообразных сред, а СВМПЭ – в химических установках и в качестве защитных покрытий для оборудования [4].

В аккумуляторах и химических источниках тока ПТФЭ служит полупроницаемой перегородкой, защищая электроды от разрушения. В области высокочастотной техники, благодаря своим отличным диэлектрическим свойствам и низкому уровню поглощения энергии, ПТФЭ используют в антеннах и других высокочастотных устройствах. Для снижения шума и повышения эффективности работы оборудования в пневматических системах используют пористый СВМПЭ. В текстильной, автомобильной и мебельной промышленности поропласты из СВМПЭ могут применяться в качестве вакуумных прижимных листов для разделочных столов. Материалы на основе смеси СВМПЭ и цеолитов обладают различной степенью смачивания водой, связанной с твердой пористой структурой полученных пленок.

Поропласты из ПТФЭ и СВМПЭ широко применяют и в медицине. Из них изготавливают имплантаты, биопротезы, мембраны для оксигенаторов, материалы и фильтры для нужд биотехнологии. Такие материалы используют для аналитических целей, при диагностике *in vitro* и молекулярных диагностических процедурах. В медицине находят применение также пористый полиметилметакрилат, полиуретановая пена, силиконовая резина, гидрофильные гели, полиамидные сети, пористый полиэтилен высокой плотности, полисульфон и др. Эти пористые материалы используют в основном для заполнения пространств, замещения и реконструкции различных дефектов и деформаций [3].

С целью получения пористых каркасов для инженерии костной ткани в последнее десятилетие наиболее интенсивно развивается метод 3D-печати с использованием PLA (полилактид). Метод 3D-печати получения пористых материалов на основе PLA в сочетании со вспениванием в сверхкритическом CO₂ позволяет создавать каркасы, содержащие поры размером от 10 до 300–700 мкм. Такой комбинированный метод перспективен для создания матриц с иерархической структурой и их использования в тканевой инженерии [5].

Таким образом, пористые материалы с их уникальной структурой и свойствами представляют собой инновационное направление в материаловедении, открывающее новые горизонты для создания высоких технологий. Развитие этих технологий в будущем приведет к расширению применения пористых материалов и созданию новых продуктов, что, в свою очередь, позволит значительно повысить эффективность различных процессов. А современные подходы, объединяющие пористые и монолитные материалы, дадут возможность вырабатывать решения, которые будут учитывать особые свойства этих материалов и способствовать развитию технологий, соответствующих требованиям самых различных отраслей.

Л и т е р а т у р а

1. Кудрявцев, П. Г. Основные пути создания пористых композиционных материалов – URL: https://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-5-2020/256-269.pdf (дата обращения: 21.03.2025).
2. Пористые металлические материалы – URL: <https://ru.qyxtitanium.com/porous-metal-materials/> (дата обращения: 21.03.2025).
3. Ходоренко, В. Н. Биосовместимые пористые проницаемые материалы / В. Н. Ходоренко, Ю. Ф. Ясенчук, В. Э. Гюнтер. – URL: <https://stati34521.narod.ru/NiTi/24.pdf> (дата обращения: 21.03.2025).
4. Астахов, Е. Ю. Характеристики пористых пленок политетрафторэтилена, полученных из суспензий порошков в спирте / Е. Ю. Астахов, Н. М. Больбит, Э. Р. Клишпонт // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2007. – Т. 49, № 2. – С. 296–302.

5. Пористые материалы на основе полилактида: получение, особенности гидролитической деструкции и области применения / Е. С. Трофимчук, В. В. Поцелеева, М. А. Хавпачева [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия С. – 2021. – Т. 63, № 2. – С. 190–211. – URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=vmse&year=2021&vol=63&iss=2&file=VMSC2102010Trofimchuk.pdf> (дата обращения: 22.03.2025).

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ 45

В. Н. Панфилов, Е. Г. Акунец

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: И. В. Царенко, Е. М. Акулова

Исследовано влияние технологических параметров лазерной обработки на триботехнические характеристики стали 45. Проведена оценка влияния технологических режимов лазерной обработки (тока накачки I , длительности импульса τ) на значения энергии в импульсе E , передаваемой на обрабатываемую поверхность. Изменение силы тока в диапазоне 60–120 А и времени импульса от 5 до 25 мс позволило получать изменение энергии в импульсе в пределах от 0,3 до 4,1 Дж. Установлено, что триботехнические свойства поверхности, обработанной одинаковой энергией, но различными режимами воздействия отличаются. Износостойкость образца оценивали по ширине дорожки трения. Определено, что при токе накачки 60 А минимальный коэффициент трения и максимальная износостойкость получены при длительности импульса 20 мс.

Ключевые слова: триботехнические характеристики, углеродистая сталь, лазерная обработка, энергия в импульсе, длительность импульса, ток накачки, упрочнение, износостойкость, коэффициент трения.

Технология локального лазерного упрочнения быстроизнашивающихся участков поверхностей деталей дает возможность повысить износостойкость и срок службы деталей без применения дорогостоящих расходных материалов, без необходимости трудоемких и энергоемких подготовительных и последующих доводочных операций [1]. Повышение износостойкости поверхности после лазерной закалки достигается за счет структурно-фазовых изменений поверхностного слоя на глубину 0,3–1,0 мм без оплавления поверхности, без нарушения макро- и микрогеометрии поверхности детали. В случае оплавления поверхности глубина структурно-фазовых изменений может достигать 3,0 мм. Такая возможность обеспечивается за счет заданного распределения плотности мощности в пятне излучения многолучевого лазера. Благодаря возможности локального упрочнения только быстроизнашивающихся участков (а не всей детали), высокой линейной скорости обработки и автоматизации управления технологическим процессом, лазерное поверхностное термоупрочнение отличается коротким технологическим циклом, оперативностью выполнения работ, относительно низкой удельной энерго-трудо-материалоемкостью и соответственно низкой стоимостью. Однако, несмотря на многолетние исследования в области лазерного упрочнения поверхности, и на сегодня остается актуальной задача оптимизации режимов лазерной обработки, изучения особенностей воздействия лазерного импульса на структуру поверхности и ее свойства.

Цель данной работы – оценить влияние технологических параметров процесса лазерной обработки поверхности стали на ее триботехнические характеристики.

Исследуемые образцы – сталь 45. Лазерную обработку проводили на экспериментальной лазерной технологической установке (разработка ГГУ им. Ф. Скорины,