ГРАДИЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

В. С. Сурма

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

Научный руководитель С. Н. Бобрышева

Рассмотрены особенности применения аддитивных технологий при создании изделий из функционально-градиентных материалов. Показано, что их использование позволяет управлять физико-механическими свойствами материалов в различных зонах изделия, обеспечивая требуемые характеристики эксплуатации.

Ключевые слова: функционально-градиентные материалы, аддитивные технологии, композиционные материалы, селективное лазерное плавление, численное моделирование.

Развитие материаловедения и технологий производства привело к появлению функционально-градиентных материалов (ФГМ), которые стали важным направлением современной инженерной деятельности. Эти материалы характеризуются постепенным изменением состава, структуры и свойств в пределах одного изделия, что позволяет получать конструкции с заданными и улучшенными эксплуатационными характеристиками. В настоящее время использование ФГМ в аддитивных технологиях рассматривается как перспективный путь повышения эффективности производства и создания изделий нового поколения.

Концепция функционально-градиентных материалов была впервые разработана в Японии в 1980-х гг. для решения конкретной задачи аэрокосмической отрасли – создания термостойких материалов, способных выдерживать экстремальный перепад температур (более 1000 °С) на поверхности и внутри космического аппарата. Сегодня же благодаря развитию аддитивных технологий мы можем не только воспроизводить, но и значительно расширять возможности градиентных материалов.

Функционально-градиентные материалы представляют собой композиционные или однофазные материалы, свойства которых изменяются по определенному направлению. Они могут состоять из нескольких компонентов, например, металлической матрицы и упрочняющих частиц, содержание которых изменяется в объеме изделия. Такая структура обеспечивает сочетание высокой прочности, твердости и устойчивости к механическим нагрузкам. В отличие от традиционных композитов, где свойства материалов изменяются скачкообразно, ФГМ обладают плавным переходом характеристик, что снижает вероятность возникновения внутренних напряжений и разрушения конструкции.

Природные объекты служат наглядным примером использования градиентных структур. Например, бамбук имеет градиентное распределение сосудистых пучков целлюлозы: их объемная доля увеличивается, а размер уменьшается от внутренней поверхности стебля к внешней. Это обеспечивает оптимальное сочетание прочности и жесткости. Аналогично костная ткань человека характеризуется плавным переходом от плотной кортикальной внешней структуры к пористой губчатой внутренней, что обеспечивает ее устойчивость к нагрузкам. Изучение таких природных систем позволяет разрабатывать новые инженерные решения и применять их в промышленности.

Современные области применения функционально-градиентных материалов охватывают широкий спектр отраслей промышленности. В авиационно-космической технике они используются для создания элементов тепловой защиты, компонентов реактивных двигателей и других деталей, работающих в условиях высоких темпера-

тур. В автомобильной промышленности ФГМ применяются для изготовления деталей двигателей, трансмиссий и тормозных систем, где требуется высокая прочность и устойчивость к износу. В медицине такие материалы используются при создании имплантатов и протезов, поскольку их структура может быть адаптирована к особенностям человеческого организма. В настоящее время области применения ФГМ ограничены технологическими возможностями, однако их востребованность постоянно увеличивается, что активизирует поиск инновационных решений.

Аддитивные технологии обладают уникальным преимуществом перед традиционными методами получения градиентных материалов: они позволяют формировать изделие по заранее заданной компьютерной модели, управлять составом материала по траектории любой формы.

Одним из наиболее распространенных методов аддитивного производства является селективное лазерное плавление. Этот процесс заключается в последовательном расплавлении порошкового материала с помощью лазерного излучения и формировании изделия слой за слоем. Параметры процесса, такие как мощность лазера, скорость сканирования и толщина слоя, оказывают значительное влияние на структуру и свойства материала. Изменяя эти параметры, можно создавать изделия с различными характеристиками в разных зонах, формируя тем самым градиентные структуры.

Важную роль в разработке изделий из функционально-градиентных материалов играет численное моделирование. Методы компьютерного анализа позволяют прогнозировать поведение материалов под действием нагрузок и оптимизировать их структуру еще на этапе проектирования. Использование метода конечных элементов позволяет учитывать изменение свойств материала в различных частях конструкции и определять ее прочность и долговечность. Это значительно сокращает время разработки новых изделий и повышает их надежность.

На рис. 1 представлены результаты моделирования эксперимента на растяжение составного образца, различные части которого изготовлены при двух различных мощностях лазера и соответственно имеют различные механические свойства (предел текучести, модуль упругости).

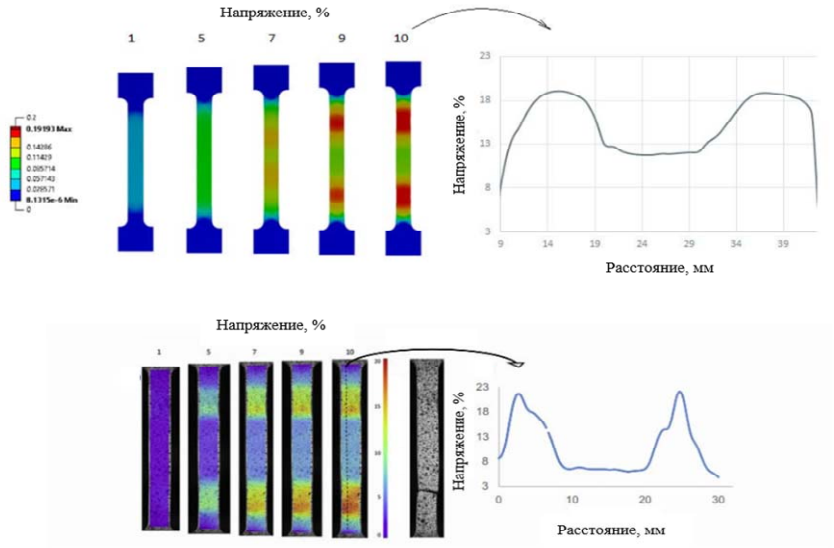


Рис. 1. Результаты моделирования градиентного образца

Примером практического применения численного моделирования является разработка протеза бедренного сустава с градиентной структурой, который соответствовал бы механическим свойствам бедренной кости. Поскольку протезы, изготовленные традиционными методами, сплошные по своей структуре, их жесткость по сравнению с жесткостью кости велика, что в процессе эксплуатации влечет за собой разрушение кости. Избежать подобных проблем позволит изготовление протеза с улучшенными механическими характеристиками. Использование функционально-градиентных материалов позволяет создавать протезы, механические свойства которых максимально приближены к свойствам кости. Это повышает срок службы изделия и снижает риск осложнений после имплантации. На рис. 2 показана разработанная модель протеза, она имеет градиентную плотность и соответствует механическим характеристикам обеих частей кости.

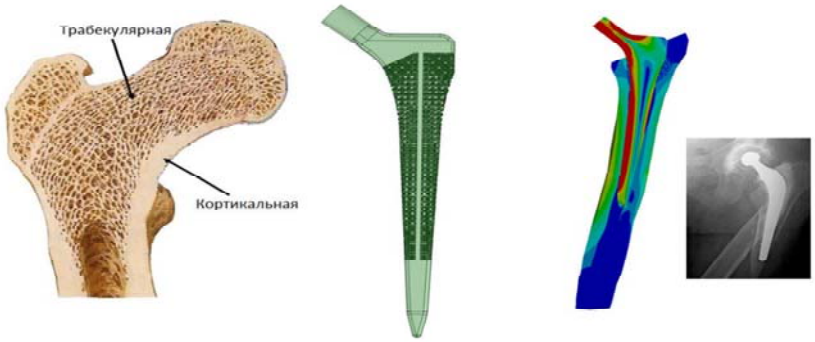


Рис. 2. Модель протеза

Аддитивные технологии позволяют управлять не только геометрией изделия, но и его внутренней структурой. Такой подход обеспечивает более равномерное распределение нагрузок, снижение массы конструкции и повышение ее надежности, а использование градиентных материалов способствует уменьшению расхода сырья и снижению затрат на производство.

К преимуществам аддитивных технологий с использованием ФГМ можно отнести кроме высокой точности изготовления изделий возможности создания сложных геометрических форм, снижения количества отходов, повышения эффективности использования материалов, а также возможность реализовывать специальные требования к создаваемому объекту в соответствии с условиями эксплуатации. Эти технологии позволяют ускорить внедрение инновационных решений в современную промышленность.

Таким образом, аддитивные технологии в сочетании с ФГМ являются перспективным направлением развития современной промышленности. Они обеспечивают создание изделий с заданными свойствами, повышают эффективность производства и открывают новые возможности для разработки инновационных материалов. В будущем ожидается дальнейшее расширение применения этих технологий в авиации, медицине, энергетике и других областях техники. Их внедрение позволит создавать более надежные, долговечные и экономичные конструкции, отвечающие требованиям современной промышленности.

Литературыа

1. Градиентные полимерные материалы / А. А. Аскадский, Л. М. Голенева, К. А. Бычко [и др.] // Обзор. журн. по химии. – 2012. – Т. 2, № 4. – С. 263–318.
2. Миньк, Д. В. Теория и практика получения функциональноградиентных материалов импульсными электрофизическими методами / Д. В. Минько, К. Е. Белявин, В. К. Шелег. – Минск : БНТУ, 2020. – 450 с.

КРИОГЕННАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

А. О. Гуща

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

Научный руководитель Г. В. Петришин

Рассмотрены основные материалы осевого инструмента до и после криогенной обработки. Проанализированы разные методологии криогенной обработки в сравнении с другими обработками и в их комбинациях. Получены результаты сравнения и сделаны выводы о преимуществах и недостатках криогенной обработки для упрочнения осевого инструмента.

Ключевые слова: PVD-покрытие, криогенная обработка, износостойкость.

Более 30 % от общего объема продукции инструментального производства занимает осевой инструмент (сверла, зенкеры, развертки). В силу конструктивных особенностей такой инструмент является малопроизводительным и лимитирует производительность технологического процесса механической обработки деталей. Для синхронизации операций и обеспечения заданной производительности технолог вынужден интенсифицировать режимы резания осевого инструмента, что, в свою очередь, ведет к увеличению себестоимости обработки за счет преждевременного выхода из строя инструмента и увеличения доли времени на участившуюся смену инструмента.

Значительно повысить ресурс, стойкость и режущие свойства осевого инструмента можно технологическими способами за счет дополнительных операций: обработки в атмосфере сухого и перегретого пара, нанесением PVD-покрытий, криогенной обработки.

Обработка в атмосфере сухого и перегретого пара является простой, недорогой и безопасной операцией, способствующей повышению стойкости инструмента на 50–75 %. В результате такой обработки на поверхности инструмента образуется окисная пленка толщиной 2–5 мкм. Эта пленка защищает инструмент от коррозии, а также удерживает смазку, понижает коэффициент трения и препятствует свариванию стружки с инструментом при резании. Кроме того, обработка паром устраняет недоотпуск, полученный при комплексной термообработке, и снимает шлифовочные напряжения в инструменте.

В производстве осевого режущего инструмента из инструментальных сталей PVD-покрытия являются средством дополнительного повышения износостойкости за счет высокой твердости, низкого коэффициента трения, высокой химической устойчивости, повышения теплопроводности. Стойкость инструмента с PVD-покрытием повышается в 1,5–2 раза.

Повысить производительность, снизить себестоимость обработки и затраты на осевой инструмент позволяет упрочняющая криогенная обработка (КО). В ре-