

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О.СУХОГО»**

Механико-технологический факультет

Кафедра «Материаловедение в машиностроении»

РЕФЕРАТ

по дисциплине: «Принципы создания композиционных материалов с градиентом свойств»
на тему: «Типы, характеристики и области применения функционально-градиентных
материалов»

Разработал студент
группы ТТ-41
Литвинов Д.И.
Проверил преподаватель
Бобрышева С.Н.

Гомель 2022

Типы, характеристики и области применения функционально-градиентных материалов

В современных условиях требования к свойствам конструкционных материалов становятся все более жесткими. Особенно это касается материалов аэрокосмической техники, ядерной энергетики, двигателестроения и других отраслей, отличающихся крайне неблагоприятными, экстремальными условиями эксплуатации ответственных деталей, элементов конструкций и агрегатов. Предъявляемые требования однородности структурных характеристик материалов, еще недавно очевидные и обоснованные для большинства изделий независимо от условий эксплуатации и характера функциональных нагрузок, больше не являются приоритетными. Во многих случаях наличие градиентной структуры материала позволяет разрабатывать изделия с новыми, ранее неизвестными характеристиками.

Термин «градиентные структуры» возник во второй половине XX века, когда началось интенсивное создание и изучение таких структур. Классифицировать и описать слоистые и градиентные структуры, выявить их отличия стало возможным в связи с широким применением методов физического материаловедения для более детального исследования фазового состава и дефектной субструктуры металлов и сплавов, керамических и композиционных материалов.

Качественный и количественный анализ состояния микро- и наноразмерных слоев материала, находящихся на определенных, строго контролируемых расстояниях от поверхностей раздела, позволил выявлять и измерять характеристики, описывающие изменяющуюся структуру материала. Наличие закономерностей изменения химических и физико-механических свойств по мере удаления от границ раздела различного типа позволило обосновать необходимость введения термина «градиентные структуры» для более широкого определения состояния материала. Поэтому закономерен все возрастающий интерес к материалам не только с градиентной структурой, но и с градиентом химических и физико-механических свойств (рис.1).

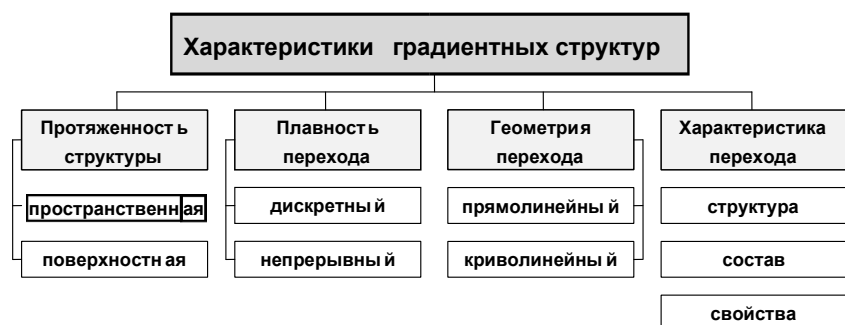


Рис.1. Классификационные признаки градиентных структур

В последние годы в различные области техники все шире внедряются функционально-градиентные материалы (ФГМ), представляющие собой новое поколение современных композиционных материалов с непрерывно изменяющимися в заданном направлении составом, структурой и свойствами с целью выполнения набора заданных функций. ФГМ состоят из двух или более компонентов и характеризуются композиционным градиентом от одного компонента к другому. Свойства ФГМ не однородны, а определенным образом изменяются в его объеме. Постепенное изменение свойств компонентов позволяет получать новые материалы с более широким спектром применения по сравнению с традиционными композитами.

Концепция ФГМ впервые была предложена в 1984 г. в Японии при разработке теплоизоляционных покрытий для многоразовых космических аппаратов. Разработанные покрытия толщиной 10 мм имели внешний огнеупорный керамический слой, плавно переходящий во внутренний теплоотводящий металлический слой, что позволило выдерживать без разрушений перепад температуры до 1000К. В настоящее время разработаны ФГМ, имеющие градиент химических, механических, магнитных, тепловых, электрических и других свойств. В зависимости от плавности перехода различают как дискретные, так и непрерывные градиентные материалы. Конечной целью создания новых ФГМ является устранение границ раздела между слоями и получение градиентных зон, в которых структура, механические, физические и химические свойства материала непрерывно изменяются и не имеют скачкообразных переходов. Таким образом, эти материалы должны будут обладать свойствами, превосходящими свойства как однородных, так и композиционных материалов.

Процесс создания ФГМ состоит в определении закономерности распределения свойств отдельных компонентов. Задать величину градиента и закономерность его распределения в объеме материала можно как аналитически, так и численно с помощью совокупности структурных элементов, получивших название «максел». Множество макселов, определяющих местоположение и объемную долю каждого компонента материала, позволяет получить дискретное описание изменения свойств в направлении градиента, которое можно аппроксимировать с помощью степенного ряда (рис.2).

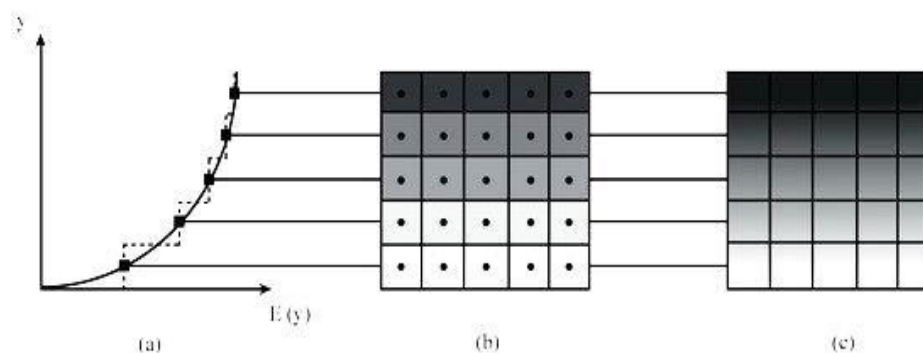


Рис.2. Изменение свойств (модуля Юнга E) вдоль оси y при различном характере перехода структурных компонентов:
 a – закономерность изменения; b – дискретный переход; c – непрерывный переход

Функциональный градиент может формироваться как в объеме (пространственные ФГМ), так и на поверхности (пленочные и поверхностно-модифицированные ФГМ). Пространственные ФГМ могут быть получены путем диффузионного и ударно-взрывного соединения разнородных материалов, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, спеканием разнородных порошков, локальной деформацией однородных материалов, например, при ковке, прокатке, волочении, штамповке и т. п. Пленочные ФГМ получают при электрохимическом нанесении покрытий (хромирование, никелирование, омеднение и т. д.), осаждении, напылении и наплавке порошковых частиц. Поверхностно-модифицированные ФГМ могут образовываться при трении или окислении; в результате насыщения поверхности различными элементами внедрения (цементация, азотирование, борирование и т. д.); в результате поверхностного наклепа при обработке давлением; при ультразвуковой обработке поверхности; под действием ударных волн, мощных электронных и ионных пучков, интенсивного лазерного, плазменного, радиационного или микроволнового воздействия.

В пленочных и поверхностно-модифицированных ФГМ по мере удаления от поверхности, а в пространственных – по одному или нескольким направлениям, в зависимости от температурно-скоростных условий фазовых превращений и степени их завершенности, могут изменяться такие характеристики, как фазовый состав и морфология фаз, плотность дефектов и их организация (субструктура), размеры ячеек, фрагментов, субзерен и зерен, концентрация легирующих элементов и примесей. Это влечет за собой изменения эксплуатационных и технологических характеристик таких, как твердость и прочность, пластичность и коррозионная стойкость, внутренние напряжения и пр. Их изменение, в свою очередь, может подчиняться различным законам, связанным с выполнением заданных функций и улучшением эксплуатационных характеристик изделий.

В зависимости от характера изменения концентрации, размеров, пространственной ориентации и формы структурных элементов все ФГМ

могут быть сгруппированы по типам, графическое представление которых показано на рис. 3.

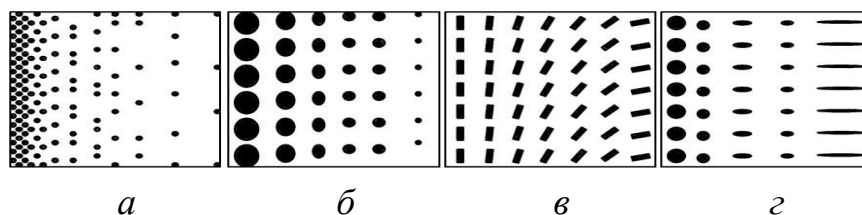


Рис.3. Основные типы градиентных структур:
a – градиент концентрации; *б* – градиент размера;
в – градиент ориентации; *г* – градиент формы

В настоящее время области применения ФГМ (рис.4) ограничены технологическими возможностями получения, однако их востребованность постоянно увеличивается.



Рис.4. Области применения ФГМ

Авиационно-космическая техника. ФГМ с градиентом тепловых свойств могут выдерживать без механических повреждений перепад температур в несколько тысяч градусов, что делает их незаменимыми при использовании в элементах тепловой защиты корпуса космических аппаратов, компонентах реактивных двигателей, солнечных батареях и т. п. По мере совершенствования технологий производства область применения ФГМ в аэрокосмической промышленности все более расширяется.

Автомобилестроение. В настоящее время использование ФГМ в автомобильной промышленности сдерживается их высокой стоимостью. ФГМ применяются там, где можно добиться ощутимого эффекта за счет увеличения экономичности, безопасности, уменьшения вредных выбросов, например, в свечах зажигания, камерах сгорания, зубчатых передачах и

приводных валах, амортизаторах, маховиках, некоторых частях кузова, оконных стеклах и тормозах.

Инструментальное производство. Развитие современной техники связано с повышением производительности оборудования, его надежности и долговечности, что требует увеличения износостойкости обрабатывающего инструмента. При обработке материалов на стойкость обрабатывающего инструмента оказывают влияние различные условия работы, свойства обрабатываемого материала, среда обработки. Обеспечение стабильных эксплуатационных характеристик может быть достигнуто как путем создания объемных ФГМ, имеющих высокую прочность и пластичность, так и путем нанесения на инструмент защитных функциональных покрытий.

Биоматериалы. Биоматериалы должны быть спроектированы так, чтобы иметь переменные размеры пор и распределение пористости по сечению, что позволяет имплантировать их в организм человека, практически все органы и ткани которого имеют градиентно-пористую структуру. Такие биоматериалы используются, например, при восстановлении функций костного или связочного аппарата.

Бронезащита. Одной из важнейших характеристик ФГМ является способность ингибировать распространение трещины, что дает им преимущества при изготовлении элементов бронезащиты. ФГМ используются в оборонной промышленности для защиты людей и техники при производстве пуленепробиваемых жилетов, шлемов, щитов, бронезащиты корпусов и топливных баков автомобилей и авиационной техники.

Энергетика. Различные отрасли энергетики постоянно нуждаются в ФГМ для повышения эффективности некоторых видов оборудования, обеспечения его безопасности и сроков службы. К ним относятся элементы корпусов и топливные элементы ядерных реакторов, панели и элементы солнечных батарей, трубы и сосуды высокого давления, электроды, изоляторы, пьезоэлектрические и термоэлектрические преобразователи, покрытия турбинных лопаток и теплозащитные покрытия.

Оптоэлектроника. Используя ФГМ, можно изготовить фотонные устройства, которые могут работать в широком спектральном диапазоне. В настоящее время градиентные материалы широко используются для просветляющих слоев, волокон, линз и других пассивных элементов из диэлектриков. Например, модуляция показателя преломления может быть получена в таких компонентах за счет изменения состава материала. В полупроводниках градиентная функция может описывать энергетически запрещенную зону, показатель преломления, концентрацию и подвижность носителей, величину диффузии и другие свойства, которые влияют на параметры оптоэлектронных устройств.

Фильтрующие материалы. Фильтры и пористые мембраны широко используются во всех областях для очистки воды, жидких и газообразных химических продуктов. Наибольший интерес представляют неорганические мембраны с градиентами структуры и свойств, обладающие высокими

показателями термической и химической стойкости, механической прочности, тонкости очистки.

Другие области применения. Применение ФГМ в микроэлектронике связано с использованием физических эффектов, возникающих в градиентных термоэлектрических, диэлектрических и пьезоэлектрических материалах и покрытиях, в производстве широкополосных ультразвуковых преобразователей, электродов твердотопливных элементов, диодов и светодиодов, термозащитных элементов с углеродными нанотрубками и т. д. В кораблестроении ФГМ применяют в элементах водолазных скафандров, сонарных куполах, композитных трубопроводах и корпусах батискафов. ФГМ используются в спортивном снаряжении для гольфа, тенниса и лыжного спорта, в оборудовании для огнетушения и противопожарной защиты, в бритвенных лезвиях и оправках для очков, в корпусах и печатных платах для ноутбуков, в музыкальных инструментах, в комплектующих для томографии рентгеноскопии и многих других областях.