

Таким образом, при усложнении кристаллохимического строения, достигаемого введением двух исходных компонентов: карбида и нитрида циркония, при спекании методом горячего прессования наблюдалось увеличение механических свойств исследуемых образцов.

Литература

1. Harrison, R. W. Processing and properties of ZrC, ZrN and ZrCN ceramics: a review / R. W. Harrison, W. E. Lee // *Advances in Applied Ceramics*. – 2016. – Vol. 115, № 5. – P. 294–307.
2. Lengauer, W. Transition metal carbides, nitrides, and carbonitrides / W. Lengauer. – Weinheim : Wiley-VCH Verlag GmbH, 2008. – P. 202–252.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ X18H10T, ЛЕГИРОВАННОГО АТОМАМИ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

Д. А. Бронов

Белорусский государственный университет, г. Минск

Научный руководитель Н. Н. Черенда

Представлены результаты рентгеноструктурного анализа, оптической микроскопии и измерения микротвердости поверхностного слоя стали X18H10T, легированного атомами титана и алюминия, при воздействии компрессионных плазменных потоков. Установлены зависимости изменения фазового состава, рельефа поверхности, интенсивности эрозии и микротвердости от плотности поглощенной энергии.

Ключевые слова: аустенитная нержавеющая сталь, микротвёрдость, фазовый состав, легирование, компрессионные плазменные потоки.

Аустенитные хромо-никелевые стали являются одним из распространенных конструкционных материалов. Из-за своих прочностных характеристик, жаропрочности, жаростойкости и высокой коррозионной стойкости стали данного класса нашли широкое применение в условиях повышенных температур, высоких доз облучения и агрессивных средах. Поэтому изучение поведения данного класса сталей в таких условиях является актуальной задачей. Для улучшения свойств аустенитные стали могут легироваться дополнительными элементами. Одним из способов легирования поверхностного слоя материалов является нанесение тонкопленочного покрытия и дальнейшее воздействие высокоэнергетическими потоками частиц [1]. Легированный слой образуется в результате конвективного массопереноса в расплаве, формируемом при высокоэнергетическом воздействии. Целью настоящей работы являлось изучение структурно-фазового состояния и механических свойств поверхностного слоя стали X18H10T, легированного атомами титана и алюминия, при воздействии компрессионных плазменных потоков. Известно, что добавление титана приводит к увеличению жаростойкости, а алюминия приводит к интерметаллидному упрочнению стали и повышению коррозионной стойкости стали [2].

Объектом исследования являлись образцы аустенитной стали марки X18H10T с покрытием Ti–Al, нанесенным при помощи катодно-дугового метода. Обработка образцов осуществлялась тремя импульсами КПП длительностью 100 мкс при расстоянии между образцом и электродами 8–14 см, что вело к изменению плотности энергии, поглощенной поверхностным слоем образца в диапазоне 22–10 Дж/см²

за импульс. В качестве рабочего вещества плазмы использовался азот, его давление в вакуумной камере составляло 3 тор. Рентгеноструктурный анализ проводился при помощи дифрактометра Rigaku Ultima IV. Морфология поверхности исследовалась на оптическом микроскопе Altami MET-1. Микротвердость измерялась на микротвердомере MVD402 Wilson Instruments при нагрузке 100 грамм методом Виккерса. Относительная погрешность измерения составила 10 %.

Как известно, воздействие КПП на материал приводит к структурно-фазовым превращениям в поверхностном слое [1]. На рис. 1 представлены диффрактограммы образцов до и после воздействия. Видно, что в образце до облучения присутствует преимущественно аустенитная фаза железа, а также наблюдаются дифракционные пики от покрытия Ti–Al. После облучения аустенитная фаза исчезает и в поверхностном слое появляется феррит. Это может быть связано с тем, что Ti и Al являются феррито стабилизирующими элементами. Также в поверхностном слое образуется нитрид титана. С увеличением поглощенной энергии интенсивность пиков нитрида уменьшается и наблюдается сдвиг линий твердого раствора феррита к эталонным значениям, что связывается с уменьшением концентрации легирующих элементов в твердом растворе.

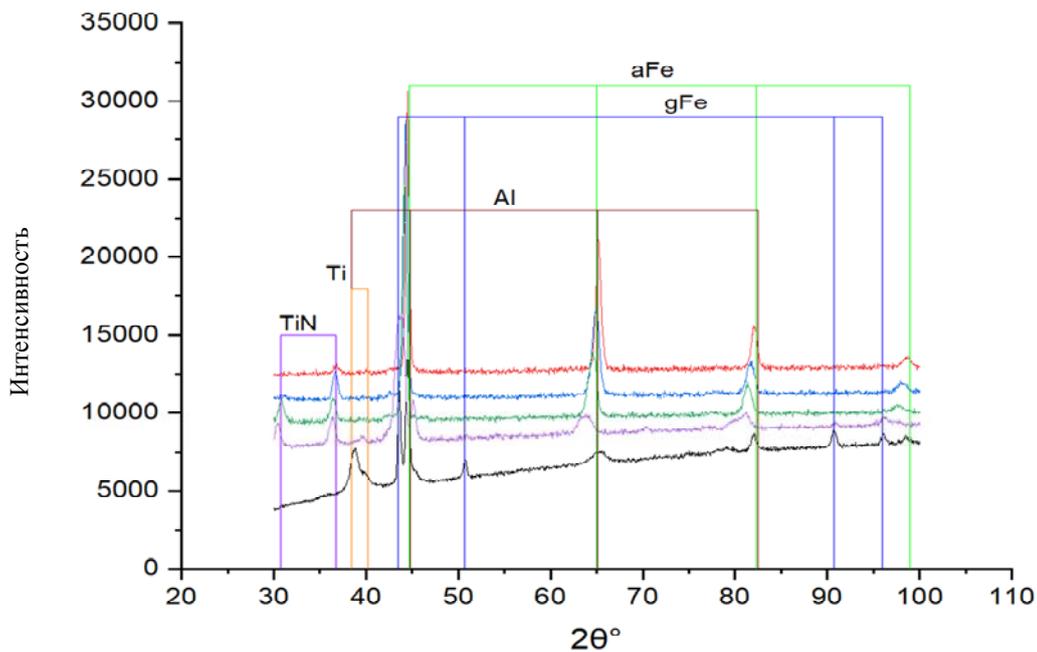


Рис. 1. Диффрактограммы системы Ti–Al/сталь X18H10T до и после воздействия с различной плотностью поглощенной энергии:
— X18H10T с покрытием Ti–Al; — 22 Дж/см²;
— 19 Дж/см²; — 13 Дж/см²; — 10 Дж/см²

Воздействие КПП приводит к плавлению поверхностного слоя и последующему конвективному массопереносу в жидкости [1]. На рис. 2 изображены оптические снимки поверхности после воздействия при разной плотности поглощенной энергии. Видно, что на поверхности наблюдается рельеф, характерный для плавления. Кроме того, уменьшение энергии воздействия приводит к увеличению количества трещин.

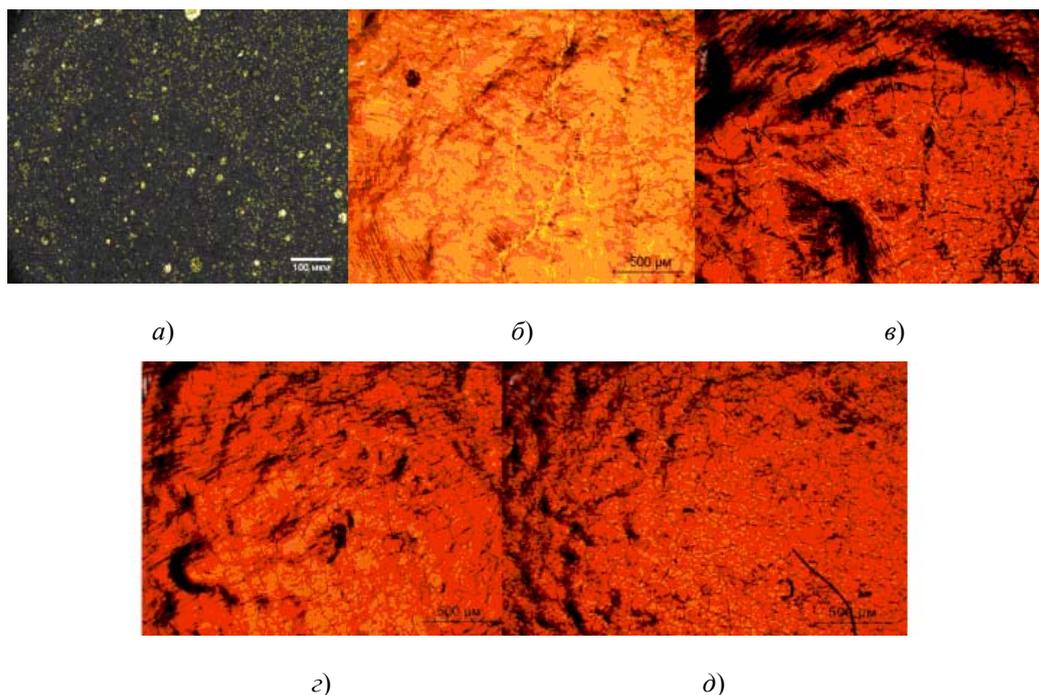


Рис. 2. Морфология поверхности образцов до облучения (а) и обработанной с различной плотностью поглощенной энергии: б – 22 Дж/см²; в – 19 Дж/см²; г – 13 Дж/см²; д – 10 Дж/см²

Увеличение количества трещин является следствием неоднородного перемешивания легирующих элементов с материалом подложки в жидкости, за счет уменьшения времени существования расплава [1]. Среднее расстояние между трещинами уменьшается с уменьшением энергии воздействия КПП. Так для образца, обработанного с плотностью поглощенной энергии 19 Дж/см², среднее расстояние составляет ~ 250 мкм, а для образца, обработанного при 10 Дж/см², ~ 50 мкм.

Возникновение расплава на поверхности материала и его ускорение под действием плазменных потоков приводит к эрозии поверхности, т. е. выбросу материала за пределы образца. На рис. 3 представлены данные изменения массы образцов на единицу площади до и после облучения.

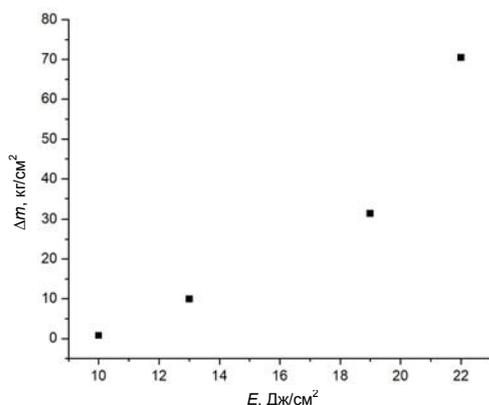


Рис. 3. Зависимость изменения массы образца от плотности поглощенной энергии

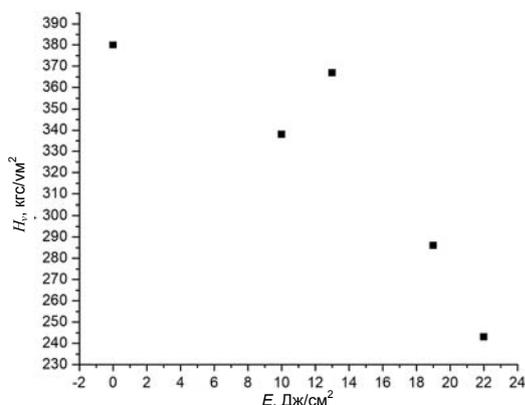


Рис. 4. Зависимость микротвердости от плотности поглощенной энергии

Видно, что при уменьшении энергии воздействия, величина удаленной массы уменьшается. Это связано с уменьшением времени существования расплава при воздействии КПП [1].

Структурно-фазовые изменения приводят к изменению механических свойств материала [1]. На рис. 4 представлены результаты измерения микротвердости образцов после обработки по сравнению со сталью X18H10T без покрытия.

Из графика видно, что при уменьшении плотности поглощенной энергии наблюдается тенденция к увеличению микротвердости, что может быть связано с формированием твердых растворов на основе феррита.

В результате проведенных исследований установлено, что легирование поверхностного слоя атомами титана и алюминия под действием КПП приводит к появлению твердого раствора на основе б-фазы. Уменьшение плотности поглощенной энергии при воздействии приводит к увеличению количества трещин и увеличению микротвердости. Уменьшение плотности поглощенной энергии также приводит к уменьшению интенсивности эрозии поверхностного слоя, что связано с уменьшением времени существования расплава.

Л и т е р а т у р а

1. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками / В. В. Углов [и др.]. – Минск : БГУ, 2013. – 248 с.
2. Конструкционные материалы ядерных реакторов: в 2 ч. Ч. 2. Структура, свойства, назначение : учеб. пособие для вузов / Н. М. Бескоровайный [и др.] ; под общ. ред. Н. М. Бескоровайного. – М. : Атомиздат, 1977. – 256 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ И КОРРЕКЦИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ

П. С. Клячкова, А. Д. Левкина, Е. В. Зайцев

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

Научный руководитель Ж. В. Кадолич

Работа посвящена моделированию с помощью 3D-технологий окклюдера для лечения и коррекции заболеваний органов зрения, обеспечивающего изоляцию глаза от света. Выявлены недостатки имеющихся моделей окклюдеров. При помощи 3D-сканирования собраны данные о конфигурации (рельефе) лица заказчика. Для 3D-печати прототипа окклюдера предложено использовать метод FDM. Основная часть окклюдера состоит из пластиковой основы, дополнительная часть – клейкая поверхность. Сформирована пористая структура изделия, представленная переплетением микроканалов и предназначенная для циркуляции воздуха. В качестве материала для производства окклюдера рекомендовано использовать полиэтилентерефталатгликоль, который отличается нетоксичностью, гидрофобностью и способностью легко дезинфицироваться.

Ключевые слова: зрение, окклюдер, 3D-сканирование, 3D-печать.

В настоящее время аддитивные технологии продолжают менять мир и привносят новые возможности развития в различных отраслях, включая машиностроение, медицину, авиацию, архитектуру, дизайн и др. Применение 3D-технологий в медицине является мировым трендом сегодняшнего дня. С помощью 3D-моделирования и печати возможно развитие технологий изготовления практически всех видов протезов (шейный позвонок, суставы, сосуды), выращивания органов и тканей (сердце,