

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2021 г. по 30.06.2022 г.

по проекту **«Реакционный синтез интерметаллических покрытий $Ti_xNi_y(N,C)$ на подложке $TiNi$ с применением магнетронного трехслойного напыления $Ti-Ni-Ti$ »,**
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-72-10105

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Марченко Екатерина Сергеевна

Интерметаллическое нанопокрывание было синтезировано из трехслойного наноламината $Ti/Ni/Ti$ на подложке $TiNi$ в два этапа. Двухстадийное формирование покрытия включало попеременное магнетронное напыление трехслойного наноламината $Ti/Ni/Ti$ на шлифованные пластины никелида титана в среде особо чистого аргона и синтез в атмосфере «аргон-азот-углекислота» при нагреве до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для инициирования реакционного синтеза был экспериментально подобран оптимальный температурный режим синтеза в газовой среде аргон–азот–углекислота. Температуры $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ оказалась вполне достаточно для формирования сплошного двухслойного кристаллического покрытия, защищающего матрицу от дальнейшей диффузии примесей внедрения и диффузии атомов Ni к поверхности. В отличие от предыдущих этапов, где покрытия были получены в результате твердофазных реакционных процессов в атмосферах аргона и азота, в данном случае смешанная газовая среда инициировала жидкофазную реакционную диффузию. Реакционный синтез в наноламинате $Ti/Ni/Ti$ в атмосфере «аргон–азот–углекислота» при $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ привел к формированию двухслойного кристаллического покрытия толщиной $2,5\text{--}3\text{ }\mu\text{m}$ $Ti_2O_3(N,C)$ и диффузионной зоны $TiNi_3+Ti_4Ni_2O(N,C)$, где диффузия между слоями прошла неравномерно. Внешний слой является однофазным, но со смешанной морфологией. Полученное в результате синтеза покрытие имеет две типичные зоны: 1-ая основная игольчатая; 2-ая дополнительная зона перитектической кристаллизации. В элементном составе основной игольчатой зоны покрытия обнаружены равномерно распределенные C , N , O , Ti . Это свидетельствует о том, что кристаллы образованы оксикарбонитридом титана. Кристаллизация верхнего титанового слоя в покрытии обусловлена хемосорбцией газовых примесей внедрения из реакционной среды. Присутствие углерода оказало решающее влияние на кристаллическую форму внешнего слоя покрытия. Обнаружено, что игольчатая фаза размером примерно $2\text{ }\mu\text{m}$, толщиной около 200 nm имеет сложную дендритную форму. Второй дополнительный тип зоны из зерен размером $500\text{--}1000\text{ nm}$ имеет характерные признаки перитектической кристаллизации из расплава. На внешней поверхности этой зоны расположены включения размером $100\text{--}200\text{ nm}$. Именно в областях локализации расплава за счет капиллярных эффектов произошло пропитка внешнего слоя оксикарбонитридных кристаллов перитектическим расплавом. В отдельных участках покрытия были обнаружены интерметаллические частицы карбида титана. Отдельных нитридных фаз в покрытии обнаружено не было.

Для синтезированного покрытия параметр шероховатости составил $R_a = 10,12 \pm 2,32$ нм. Оценка распределения поверхностного электрического потенциала показала, что синтезированное покрытие положительно заряжено. Такая карта распределения поверхностного потенциала обусловлена однородным фазовым составом верхнего слоя покрытия. В режиме СВС в результате реакционной диффузии между покрытием и подложкой сформировалась крупнокристаллическая двухслойная диффузионная зона толщиной около 2 мкм. Верхний слой обогащен по никелю и идентифицирован как $TiNi_3$, внутренний слой обогащен по титану Ti_2Ni . В некоторых областях на межфазной границе покрытия и подложки обнаружены трещины. Экспериментально установлена слабая связь синтезированного покрытия с подложкой $TiNi$ на основе скетч теста. Визуальный анализ характерных мест показывает, что критическое отслоение покрытия начинается при нагрузке около 13 Н с образованием микротрещин. Максимальной нагрузки 18 Н достаточно для полного отслоения покрытия.