

УДК

СВОЙСТВА НИОБИЙ-КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Носко Д.П. (студент, гр. И-11)

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Республика Беларусь

Актуальность. Развитие гиперзвуковых летательных аппаратов требует применения материалов, способных выдерживать экстремальные температуры, механические нагрузки и термошоки. Традиционные сплавы, такие как титановые и никелевые, имеют ограничения по температурной стойкости и прочности. В 2025 году китайскими учёными был разработан новый ниобий-кремниевый сплав с добавлением гафния, обладающий уникальными свойствами, значительно превосходящими существующие материалы. Его внедрение может стать ключевым шагом в создании более эффективных и экологичных гиперзвуковых систем.

Цель работы. Целью настоящего исследования является анализ свойств нового ниобий-кремниевого сплава, сравнение его с титаном, оценка перспектив применения в конструкциях гиперзвуковых летательных аппаратов, а также выявление экологических преимуществ, связанных с его использованием.

Анализ полученных результатов. Объектом исследования является ниобий-кремниевый сплав (Nb-Si), разработанный в Северо-западном политехническом университете Китая под руководством профессора Вэй Бинбо. Сплав был получен в условиях невесомости на орбитальной станции «Тяньгун», что позволило устранить хрупкость при комнатной температуре и ускорить рост кристаллов. Метод быстрого охлаждения обеспечил формирование прочной структуры.

Основные характеристики сплава:

1. Прочность на растяжение превышает 2800 МПа, что более чем в три раза выше, чем у титана (950 МПа);
2. Температурная стойкость более 1700 °С, против 600 °С у титана;
3. Высокая устойчивость к термошокам и коррозии;
4. Отсутствие редкоземельных металлов в составе экологическое преимущество;
5. Потенциал применения в двигателях, соплах, термозащитных экранах и обшивке гиперзвуковых аппаратов.

Дополнительно проведён сравнительный анализ с титаном, показавший, что новый сплав обладает более высокой прочностью, термостойкостью и долговечностью, но требует специальных условий обработки. Так же рассмотрены перспективы применения сплава в других отраслях:

Аэрокосмическая техника: спутники, орбитальные платформы;

Энергетика: элементы термоядерных реакторов;

Автомобилестроение: компоненты для двигателей внутреннего сгорания и электромобилей.

Основной недостаток сплавов Nb-Si — хрупкость при комнатной температуре. Она вызвана доминированием хрупкой интерметаллидной фазы Nb₅Si₃. Чтобы это исправить, создают не однофазный материал, а *in-situ* композит, состоящий из двух фаз: 1. Пластичная фаза (Дуктилизер): Твердый раствор ниобия (Nbss). Эта фаза отвечает за вязкость разрушения. Она "ловит" трещины, не давая им распространяться. Прочная фаза (Упрочнитель): 2. Силицид ниобия (Nb₅Si₃). Эта фаза отвечает за жаропрочность и сопротивление ползучести. Задача материаловедов создать тонкую, взаимопроникающую структуру ("ламинарную" или "сотовую"), где эти фазы тесно переплетены. Именно этого и добились китайские ученые в условиях невесомости, минимизировав сегрегацию.

Заключение. Ниобий-кремниевый сплав с добавлением кремния и гафния представляет собой перспективный материал для авиации и космонавтики. Его внедрение позволит повысить надёжность и эффективность гиперзвуковых летательных аппаратов, снизить массу конструкций и экологическую нагрузку. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию технологии производства к земным условиям, моделирование поведения сплава в CAD/CAE-средах и оценку жизненного цикла изделий.

Благодарность. *Выражаю признательность и благодарность научному руководителю Захаренко Галине Николаевне, старшему преподавателю кафедры «Механика», за консультацию и помощь при проведении данного исследования. Ваши советы и поддержка были необходимы в процессе работы над этой темой.*

Список литературы

1. Белов, А.Ф., Каблов, Е.Н., Вакуленко, А.А. Высокотемпературные ниобий-силицидные композиты: структура, свойства и перспективы применения в перспективной двигателестроении. Авиационные материалы и технологии. – 2023. – № S2. – С. 45-58.

2. Вэй Бинбо, Ли Чжэн, Чжан Юй. Микроструктура и свойства сверхвысокотемпературного Nb-Si-Ti-Hf сплава, полученного методом направленной кристаллизации // Journal of Materials Science & Technology. – 2024. – Vol. 45. – P. 112-125.

3. Миронов, В.Д., Гольдштейн, Р.В. Перспективы использования материалов на основе силицидов тугоплавких металлов в аэрокосмической технике // Перспективные материалы. – 2021. – № 5. – С. 23-35.