

РАЗРУШЕНИЕ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ В ВОДОРОД СОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

Никитин Я.Ю., Якимова М.С., Наприенко С.А.

Руководитель - д.т.н. Орлов М.Р.

ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, г. Москва

nikitinyj@viam.ru

В данной работе фрактографическими исследованиями с применением растровой электронной микроскопии установлен и экспериментально подтвержден механизм хрупкого разрушения монокристаллических жаропрочных сплавов типа ЖС26-ВИ и ЖС32-ВИв условиях воздействия коррозионно-активных сред, содержащих водород.

Изучение эффектов воздействия коррозионно-активных сред на статическую трещиностойкость монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов является актуальным, как для решения задач производства турбинных лопаток, так и для обеспечения ресурса энергетических газотурбинных установок (ГТУ):

- в производстве охлаждаемых турбинных лопаток применяются технологические операции макротравления отливок в кислотных и щелочных электролитах для выявления совершенства макроструктуры, а также для удаления керамических стержней, формирующих систему охлаждаемых каналов;

- в процессе эксплуатации наземных газотурбинных установок, монокристаллические лопатки, находящиеся в условиях сложного температурно-силового нагружения, контактируют с агрессивной газовой средой, содержащей водяной пар, углекислый газ и сернистые соединения.

Взаимодействие поверхности монокристаллов жаропрочных никелевых сплавов, находящихся в упругодеформированном состоянии, с коррозионно-активными электролитами и газовыми средами приводит к хрупкому разрушению турбинных лопаток в производстве и эксплуатации.

Фрактографическое исследование хрупких технологических трещин в монокристаллических отливках лопаток турбины методом растровой электронной микроскопии позволило установить, что поверхность трещин (рис. 1) ориентирована по плоскостям $\{100\}$ кристаллической решетки никелевого сплава.

Исследование поведения образцов монокристаллических жаропрочных сплавов в условиях длительного статического нагружения в различных коррозионноактивных средах, содержащих водород, позволили воспроизвести замедленное разрушение монокристаллов по кристаллографическим плоскостям $\{001\}$ никелевой решетки (рис. 2).

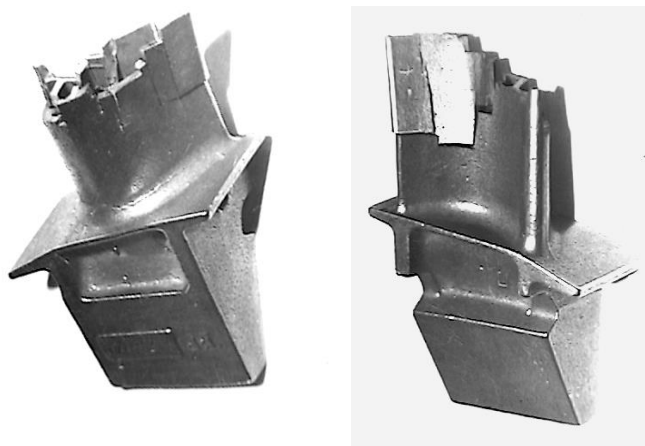


Рисунок 1 - Разрушение литой заготовки монокристаллической рабочей лопатки турбины из жаропрочного сплава ЖС26-ВИ при автоклавном выщелачивании керамического стержня по механизму водородной хрупкости.

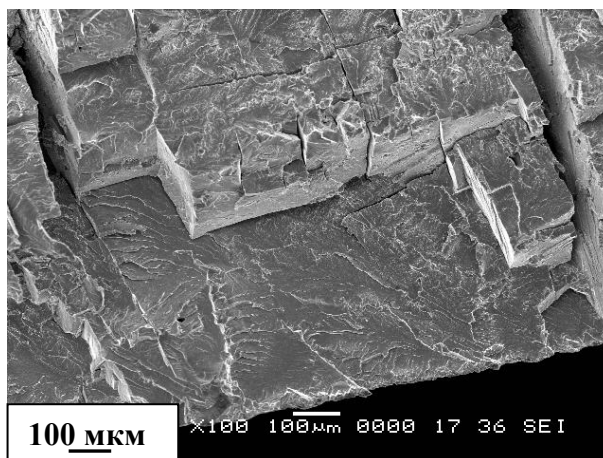


Рисунок 2 - Морфология поверхности хрупкой водородной трещины в монокристаллическом образце сплава ЖС26-ВИ.

В результате выполненных экспериментов с использованием щелочных, кислотных и нейтральных электролитов было установлено, что охрупчивающее воздействие на монокристаллы жаропрочных никелевых сплавов, находящихся в условиях упруго-напряженного состояния, оказывает водород.

Водород может выделяться как непосредственно из электролита, например, в результате химической реакции взаимодействия сплава с кислотными или щелочными электролитами, так и в результате развития катодных процессов непосредственно на поверхности сплава в нейтральном солевом растворе при приложении внешнего электрического потенциала.

В процессе работы ГТУ водород может выделяться в результате диссоциации паров воды и паровой конверсии метана, используемого в качестве топлива [1].

Испытания монокристаллических образцов сплава ЖС32-ВИ в среде водяного пара при температурно-силовых параметрах работы хвостовика лопаток позволили воспроизвести хрупкий механизм разрушения монокристаллического жаропрочного сплава в эксплуатации.

На основании выполненных исследований можно заключить, что при проектировании рабочих лопаток турбины, работающих на природном газе, необходимо учитывать эффект водородной хрупкости посредством определения порога старта водородных трещин в монокристаллах жаропрочных никелевых сплавов в температурно-силовых условиях работы турбинных лопаток.

Работа выполнена в рамках проекта «Комплексное развитие инфраструктуры ЦКП «Климатические испытания» ФГУП ВИАМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Орлов М.Р., Якимова М.С., Летов А.Ф. Анализ работоспособности монокристаллических лопаток турбины высокого давления в составе наземных газотурбинных установок //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 399–407.