

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ  
ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ОДК-САТУРН»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора -  
управляющий директор



В.А. Поляков

«\_\_\_» 2023 г.

Конкурсная работа

в номинации «За создание новой технологии»

в конкурсе «Авиаконструктор года» по итогам 2022 года

«Разработка линейки коррозионностойких жаропрочных сплавов для литых  
деталей турбин ГТУ и ГТД морского назначения, освоение их производства и  
изготовления деталей из них»

Рыбинск, 2023

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Термины, определения.....	3
2. Введение.....	3
3. Цель работы .....	4
4. Актуальность работы .....	4
5. Краткое описание работы.....	5
6. Результаты и практическая значимость выполненных работ .....	6
7. Заключение .....	8

## **1. Термины, определения**

Коррозионная стойкость – способность материалов сопротивляться коррозии, определяющаяся скоростью коррозии в данных условиях. Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики. Изменение внешнего вида поверхности металла, изменение его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии.

Межкристаллитная коррозия – вид коррозии, при котором разрушение металла происходит преимущественно вдоль границ зерен (кристаллов).

Монокристаллический сплав – сплав, предназначенный для получения литых заготовок, в структуре которых отсутствуют границы зёрен.

Поликристаллический (равноосный) сплав – сплав, предназначенный для получения литых заготовок, в структуре которых формируется большое число мелких зерен с различной ориентацией кристаллической решетки.

Лопатка – деталь лопаточных машин, предназначенная для изменения в них параметров газа.

Рабочая лопатка турбины – роторная лопатка, преобразующая энергию потока рабочего газа во вращательную энергию турбины.

Сопловая лопатка – статорная лопатка, направляющая поток рабочих газов турбины на роторную лопатку для обеспечения более эффективного преобразования его энергии во вращательную энергию турбины.

## **2. Введение**

Основным путем повышения характеристик морских газотурбинных двигателей является увеличение температуры рабочего газа. Существует два подхода решения указанной задачи. Первый – конструктивный, заключается в разработке эффективных систем охлаждения деталей горячего тракта. Недостатком такого подхода является большая конструктивная сложность, повышенная трудоемкость изготовления, а также увеличенный расход воздуха на охлаждение, что негативно сказывается на КПД вплоть до полного нивелирования эффекта от повышения температур рабочих газов. Второй подход связан с использованием специальных жаропрочных материалов и термобарьерных покрытий.

Применение высокожаропрочных материалов авиационного назначения не позволяет решить проблему, прежде всего из-за специфических условий работы установок этого типа. Особую проблему представляет собой низкое качество топлива, используемого в ГТУ морского или энергетического назначения, это, прежде всего, дешевое дизельное топливо или попутный природный газ, значительно загрязненные серой, ванадием и другими веществами, крайне негативно влияющими на долговечность жаропрочных материалов. На детали газотурбинных двигателей и установок, эксплуатируемых на море или в прибрежной зоне, кроме отрицательных факторов, связанных с видом и качеством топлива, активное коррозионное воздействие оказывает морская солевая среда.

### **3. Цель работы**

Для обеспечения повышения эффективности перспективных газотурбинных двигателей и установок, эксплуатируемых на море или в прибрежной зоне, необходимо создание комплекса специальных высокожаропрочных материалов включающего:

- литейный монокристаллический высокожаропрочный коррозионностойкий сплав для рабочих лопаток турбин;
- литейный поликристаллический высокожаропрочный коррозионностойкий сплав для сопловых лопаток турбин и литых деталей горячего тракта ГТД.

### **4. Актуальность работы**

Сложность проблемы заключается в необходимости одновременного обеспечения высокой коррозионной стойкости, фазовой стабильности при повышенных температурах и жаропрочности. Поэтому наиболее проблемным узлом с данной точки зрения, является турбина, а именно рабочие и сопловые лопатки, находящиеся в потоке раскаленных рабочих газов.

В настоящее время передовым классом жаропрочных сплавов для деталей турбин ГТД являются монокристаллические сплавы. Монокристаллическая структура позволяет избежать ослабленных зон в виде границ зерен, которые являются концентраторами напряжений, а также

позволяет снизить эффект межкристаллитной коррозии наиболее активно протекающей по границам зерен.

Данный класс материалов нашел свое применение в качестве материала рабочих лопаток турбин, работающих в наиболее сложных условиях термического воздействия и комплекса механических нагрузок. Тем не менее, при всех достоинствах, монокристаллические сплавы имеют и ряд недостатков. Прежде всего, это технология получения монокристаллических отливок. Она имеет значительно большую стоимость по сравнению с традиционным равноосным литьем. Также отливки имеют ряд геометрических ограничений, таких как габариты и геометрия отливок. В процессе роста кристалла резкие переходы геометрического сечения, такие как, например, бандажные полки, приводят к обрыву фронта кристаллизации и росту паразитных зерен, что является для монокристаллических сплавов неприемлемым. Этот же эффект значительно усложняет получение монокристаллических сопловых секторов, состоящих из нескольких лопаток.

Кроме того, прочностные характеристики, так необходимые для рабочих лопаток, для сопловых лопаток являются избыточными. Для них более предпочтительны, высокие рабочие температуры, коррозионная стойкость и технологичность. Поэтому применение монокристаллических сплавов для данной группы деталей является экономически нецелесообразным.

## **5. Краткое описание работы**

В рамках данной работы были проведены научные изыскания с целью определения требования к эксплуатационным характеристикам перспективных материалов, необходимых для обеспечения возможности повышения эффективности передовых газотурбинных двигателей морского назначения. Определена необходимость разработки сразу двух жаропрочных сплавов: монокристаллического для рабочих лопаток турбины и поликристаллического для сопловых лопаток.

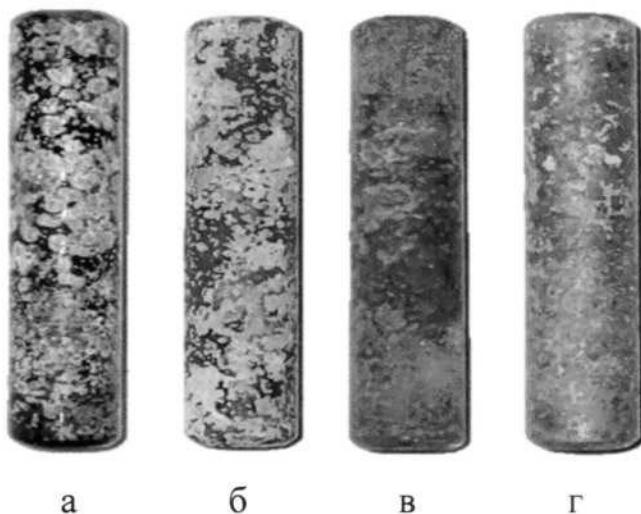
При помощи математического моделирования рассчитаны оптимальные химические составы перспективных сплавов. Отработана технологическая цепочка по их производству (выплавки) и изготовлению деталей из них.

Проведены всесторонние испытания и паспортизация новых сплавов, изготовлен и исследован комплект деталей-демонстраторов.

## 6. Результаты и практическая значимость выполненных работ

В результате данных работ было создано 2 новых сплава: монокристаллического, паспортизованного под обозначением СЛЖС5У-ВИ, и равноосного, паспортизованного под обозначением СЛЖС17Р-ВИ.

Разработанный сплав СЛЖС5У-ВИ не уступает по уровню коррозионной стойкости ЧС88У-ВИ – лучшему из применяемых в настоящий момент отечественных морских жаропрочных сплавов. Испытания сплава проводились в расплаве солей при температурах до 1000 °C, характер и интенсивность коррозии сплава СЛЖС5У-ВИ во всем диапазоне температур изменялась незначительно (Рис. 1), при этом, образец сплава ЧС88У-ВИ при температуре 1000°C при данном виде испытаний растворяется в соли полностью.



- а) 650 °C, 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-25% NaCl, 24 ч
- б) 900 °C, 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-25% NaCl, 24 ч
- в) 1000 °C, 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-25% NaCl, 24 ч
- г) 900 °C, 90% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-10% NaCl, 300 ч

Рисунок 1 – Поверхность сплава марки СЛЖС5У-ВИ после коррозионных испытаний в расплавах солей 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-25% NaCl и 90% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-10% NaCl

Так же СЛЖС5У-ВИ значительно превосходит ЧС88У-ВИ по уровню жаропрочности (Рис.3), рабочие температуры, которого ограничены 900°C.

Разработанный сплав СЛЖС17-ВИ не уступает по уровню коррозионной стойкости ЧС104-ВИ – лучшему из жаропрочных сплавов, применяемых в настоящий момент для изготовления сопловых лопаток турбин морских ГТД.

Результаты коррозионных испытаний (рис. 2) также демонстрируют преимущества созданного сплава перед ЧС104-ВИ, рабочие температуры которого ограничены 950°C (при 1000°C образец сплава ЧС104-ВИ в расплаве солей растворяется полностью).

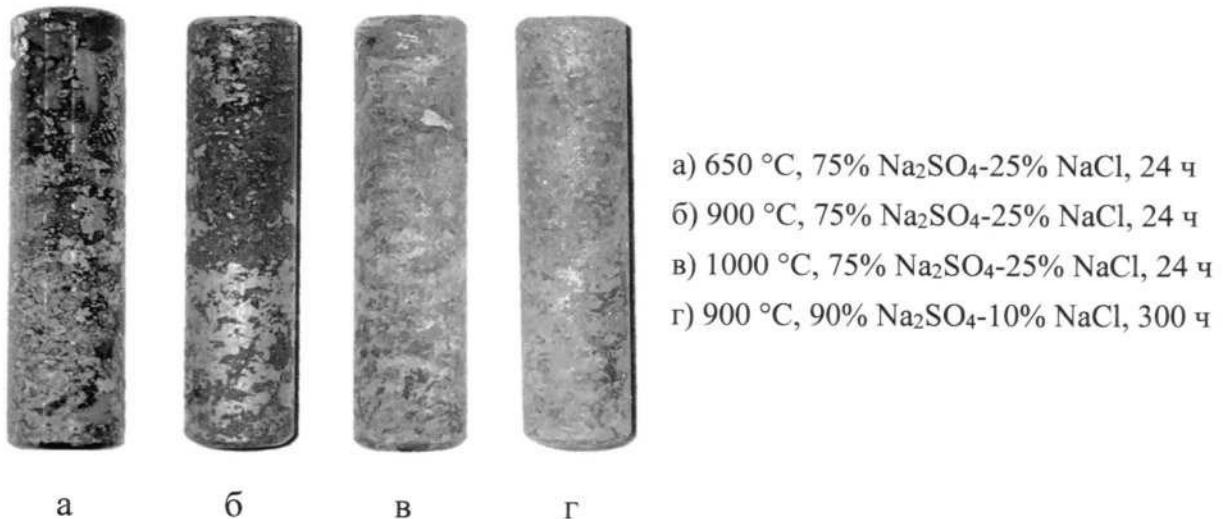


Рисунок 2 – Поверхность сплава марки СЛЖС17Р-ВИ после коррозионных испытаний в расплавах солей 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-25% NaCl и 90% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-10% NaCl

Сравнительные характеристики длительной прочности созданных сплавов представлены на рисунке 3.

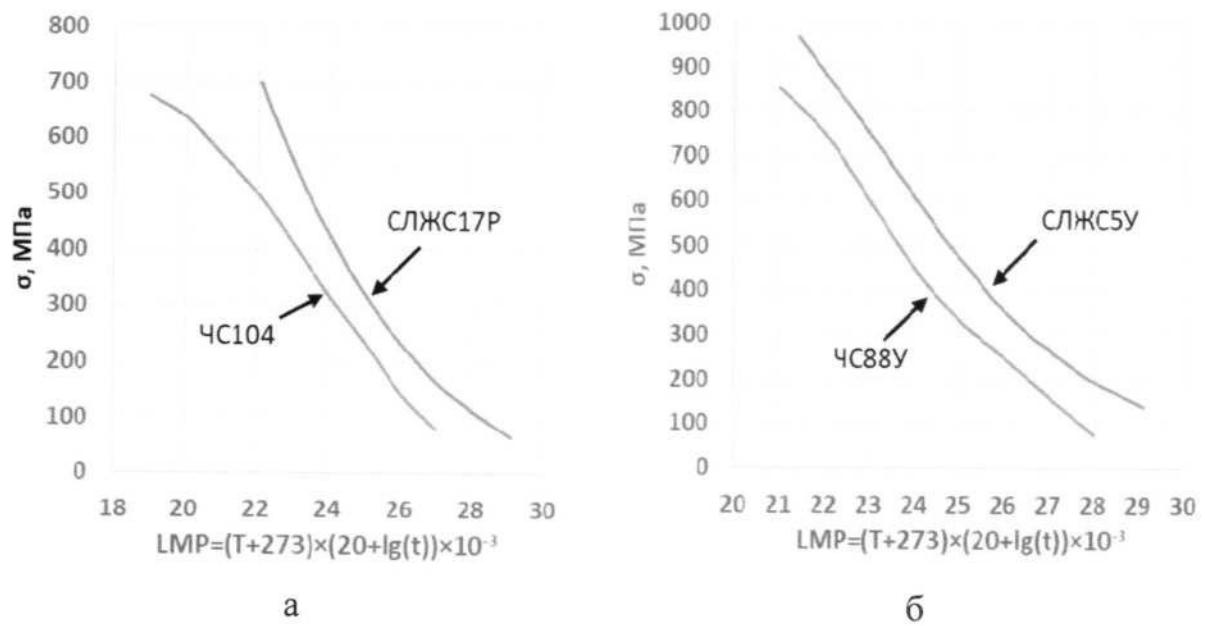


Рисунок 3 – Характеристики жаропрочности созданных сплавов в сравнении с существующими