

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ахмедзянова Максима Вадимовича
«Разработка состава и химико-термической обработки нового жаропрочного
деформируемого свариваемого Co-Ni сплава для тонкостенных деталей
газотурбинных двигателей»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа Ахмедзянова М.В. посвящена актуальной проблеме разработки жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава, упрочняемого внутренним азотированием, для тонкостенных статорных деталей газотурбинных двигателей. Актуальность темы обусловлена тем, что применяемые в настоящее время для жаровых труб, сопел и экранов гомогенные и упрочняемые интерметаллидными фазами сплавы на никелевой и кобальтовой основах имеют рабочую температуру не выше 1100 °С, а резервы ее повышения традиционными приемами легирования и термической обработки для этого класса материалов практически исчерпаны. Сплавы, упрочняемые внутренним азотированием, снимают это ограничение принципиально иным способом, поскольку дисперсные нитриды, формирующиеся по всему объему металла при высокотемпературной химико-термической обработке (ХТО), термически стабильны вплоть до температуры плавления и обеспечивают тот же уровень длительной прочности при температурах на 100–150 °С выше. Вместе с тем сплавов такого типа известно всего три (ВЖ155, ВЖ171 и NS-163), сведения об их промышленном применении в литературе отсутствуют, а закономерности формирования структуры при внутреннем азотировании и возможности легирования для повышения прочностных характеристик изучены не в полной мере.

Автором диссертации проведено комплексное исследование кинетики внутреннего азотирования, влияния легирующих элементов на структуру, фазовый состав и свойства экспериментальных композиций, а также технологических вопросов производства листового проката и химико-термической обработки. Установлены кинетические зависимости образования нитридов титана и хрома в сплаве ВЖ171, согласно которым глубина зоны выделения нитридов пропорциональна времени азотирования в степени 1/2, а размер частиц – в степени 1/3. Исследовано влияние вакуумного отжига после азотирования на структуру и пластичность, а на основе полученного массива данных построены регрессионные модели, использованные при выборе состава нового сплава.

К значимым результатам работы следует отнести установленную для сплава ВЖ171 зависимость $H = 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^{1/2}$, позволяющую прогнозировать толщину нитридного слоя и назначать режимы обработки деталей различной геометрии, обоснование операции вакуумного отжига, повышающей пластичность в 1,2–2 раза и время до разрушения при 1000 °С на 30 %, впервые примененное для сплавов данного класса легирование углеродом с формированием дополнительной упрочняющей фазы карбонитридов, а также разработанный состав нового Co-Ni сплава, защищенный патентом РФ RU 2601720 и обеспечивающий $\sigma_b^{20} = 1003$ МПа и долговечность при 1000 °С 120 ч при $\sigma = 80$ МПа и 550 ч при $\sigma = 64$ МПа. Важно, что для сплава ВЖ171 результаты доведены до нормативно-технической документации (ТИ 1.595-3-730-2014, изменение № 2 к ТР 1.595-3-833-2009, ТУ 1-595-3-781-2013) и до натурных узлов, а именно в условиях АО «ОДК-Климов» и филиала АО «ОДК» «ОДК-Салют» изготовлены элементы управляемого сопла и прототип жаровой трубы авиационных ГТД, успешно прошедшие стендовые испытания.

По содержанию автореферата можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 14 автореферата представлено заключение: «Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что длительная прочность сплавов прямо пропорциональна объемной доле упрочняющих фаз (нитридов и карбонитридов) и их размеру. Наиболее мелкая

фаза среди исследованных композиций образуется в составе с гафнием (0,59 мкм), самая крупная – в составе с повышенным содержанием титана (4,24 мкм), время до разрушения при 1000 °С составляет 6 и 396 ч соответственно (рисунок 10)».

Сделанное заключение по влиянию объемной доли частиц упрочнителя не противоречит известным фактам для исследованной автором диссертации области значений объемных долей упрочнителя, хотя и в этом случае хотелось бы видеть гистограмму распределения частиц по размерам, поскольку физические механизмы влияния крупных и мелких частиц на сопротивление высокотемпературному деформированию, как известно, существенно различны. Не понятным представляется результат по увеличению длительной прочности с увеличением размера частиц (т.е. уменьшением расстояния между ними) при одной и той же объемной доле? Может быть остались не замеченными возникшие при обработке ультрадисперсные частицы, которые при небольшой объемной доле эффективно блокируют движение дислокаций, в том числе в высокотемпературной области? Для проведения такого анализа также необходимы гистограммы распределения частиц по размерам.

2. К сожалению в автореферате отсутствует информация о механических свойствах нового азотированного сплава на основе Co-Ni при температуре 1250 °С, хотя эта температура представлена как возможная рабочая температура. Для этого сплава также не приведены температуры солидуса и ликвидуса, тогда как для сплава ВЖ171 такие данные имеются.

3. В автореферате недостаточно полно раскрыты данные о пластичности итогового состава сплава и свойствах его сварных соединений. Так, например, значение $\delta^{20} = 5,0 \%$ заметно ниже, чем у сплава ВЖ171 после ХТО по оптимальному режиму (11,4 % при 16 ч), и близко к нижнему пределу, приемлемому для тонколистовых сварных конструкций. Не указано, соответствуют ли данные таблицы 3 состоянию после вакуумного отжига, необходимость проведения которого в главе 3 обосновывалась в том числе повышением пластичности. Характеристики сварных соединений сплава нового состава не приведены, хотя свариваемость заявлена как одно из основных требований к материалу, а суммарное содержание Ti, Hf и Ta в нем составляет около 5,4 масс. % при 0,18 масс. % С, что требует проверки склонности к горячему растрескиванию и к охрупчиванию зоны термического влияния.

Несмотря на сделанные по содержанию автореферата замечания, диссертационная работа Ахмедзянова Максима Вадимовича представляет собой завершенное научное исследование, результаты которого опубликованы в центральных реферируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и защищены патентом Российской Федерации, а также представлены на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях. Установленные кинетические закономерности внутреннего азотирования сплава ВЖ171, обоснование легирования углеродом и доведение технологии обработки этого сплава до нормативно-технической документации и до натурных узлов, прошедших стендовые испытания, представляют самостоятельную научную и практическую ценность.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, содержание которой соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Представленная к защите диссертационная работа Ахмедзянова Максима Вадимовича «Разработка состава и химико-термической обработки нового жаропрочного деформируемого свариваемого Co-Ni сплава для тонкостенных деталей газотурбинных двигателей», по форме и содержанию, актуальности поставленных и решенных задач, новизне полученных научных результатов и их практической значимости соответствует требованиям действующего Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук, а ее автор, Ахмедзянов Максим Вадимович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Колобов Юрий Романович

Дата составления отзыва 04.08.2026 г.