

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента Панова Дмитрия Олеговича на диссертацию Попковой Дарьи Сергеевны «Особенности выделения интерметаллидных фаз в сплавах аустенитного класса, стойких в расплавах солей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы диссертации

Создание новых и совершенствование существующих коррозионностойких материалов для создания химических агрегатов, работающих с агрессивными расплавами ионных жидкостей при температурах 300-650°C является одной из наиболее важных и комплексных проблем современного металловедения. Известно, что подобные агрегаты обычно производят из таких зарубежных сплавов, как аустенитная нержавеющая сталь 316L, а также никелевые сплавы Hastelloy G35 и Hastelloy C4. Однако в настоящих условиях существует необходимость замещения этих импортируемых материалов российскими аналогами. Так, например, российскими учеными предложен никелевый коррозионностойкий сплав ХН62М, который может заменить зарубежные сплавы такого же класса при создании и ремонте химических агрегатов.

Для продолжительной эксплуатации материалов в коррозионно-активных средах солевых расплавов важно обеспечить развитие равномерной коррозии на поверхности изделия. Напротив, локальная коррозия обычно сопровождается преждевременным разрушением изделия. Для грамотного выбора коррозионностойких материалов для работы при повышенных температурах (300-650°C) необходимо совместное использование как расчетных методик, так и экспериментальных исследований. Такой комплексный подход позволяет определить наиболее подходящий химический состав материала, его структурное состояние и технологический маршрут производства. Выбранная Попковой Дарьей Сергеевной тема диссертационного исследования является несомненно актуальной и нацелена на решение важной научной задачи по обеспечению коррозионной стойкости сплавов аустенитного класса системы Ni-Cr-Mo в широком интервале температур.

***Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций,
сформулированных в диссертации***

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в рамках диссертации, базируются на результатах фундаментальных исследований с использованием прямых и косвенных методов наблюдения изучаемых процессов. Методология работы включает подробный анализ результатов исследований отечественных и зарубежных исследований, комплексный подход к постановке исследования, систематизацию результатов в виде диаграмм, графиков и таблиц, а также качественно поведенные описание и анализ результатов исследований.

В своей диссертационной работе Попкова Дарья Сергеевна корректно использует такие экспериментальные методы научного исследования, как растровая и просвечивающая электронная микроскопия, анализ дифракции отраженных электронов, высокотемпературный рентгенофазовый анализ, терморезистометрия, дилатометрический анализ, испытания на одноосное растяжение, а также испытания на коррозионную стойкость. Использование современных методов и оборудования делает результаты работы достоверными и точными.

***Достоверность положений, выводов и рекомендаций,
сформулированных в диссертации***

Достоверность и обоснованность положений, выносимых на защиту, теоретической и практической значимости, а также результатов и выводов диссертационной работы определены высоким качеством их аргументации и анализа полученных результатов, а также правильно выбранной методологией научного исследования, анализом современных российских и зарубежных научных публикаций по теме работы, корректным использованием современных методов исследования и последующей обработкой результатов. Дополнительно следует отметить, что полученные в работе данные не противоречат друг другу и ранее опубликованным исследованиям.

Результаты диссертации Попковой Д.С. опубликованы в 5 публикациях, в научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, все из них в журналах, индексируемых в международной базе Scopus. Следует отметить, что результаты диссертационного исследования также докладывались и обсуждались на 9 международных конференциях: XVI международной научно-технической конференции «Динамика технических систем ДТС-2020» (Ростов-на-Дону, 2020), III международной конференции «Энергоэффективность и энергосбережение в технических системах (EEESTS-

2021)» (Ростов-на-Дону, 2021), VIII международной конференции молодых исследователей «Физика, технологии, инновации (РТИ-2021)» (Екатеринбург, 2021), XXI Международной научно-технической Уральской школе-семинаре металловедов — молодых ученых (Екатеринбург, 2022), научно-техническом семинаре «Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов» (Москва, 2022), XI Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур – ПРОСТ 2023» (Москва, 2023), XI международной школе «Физическое материаловедение» (Тольятти, 2023), XV международной школеконференции молодых учёных «КоМУ-2023» (Ижевск, 2023), XXII Международной научно-технической Уральской металловедов - молодых ученых (Екатеринбург, 2023).

Все вышеизложенные аргументы позволяют сделать заключение о несомненной достоверности положений, выносимых на защиту, выводов и рекомендаций.

Характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, список использованных источников из 145 наименований. Диссертационная работа представлена на 150 страницах, содержит 93 рисунков и 14 таблиц.

Во введении диссертант приводит актуальность темы исследования и степень ее разработанности, цель и задачи работы, научную новизну работы, теоретическую и практическую значимость работы, методологию и методы исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность результатов работы и апробацию.

В первой главе «Аналитический обзор» представлены данные об основах коррозионного поведения сталей и сплавов аустенитного класса, подробно охарактеризованы сплавы системы Ni-Cr-Mo и рассмотрены подходы к управлению структурными факторами данных сплавов. По результатам аналитического обзора литературных источников сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе «Материалы и методики исследования» приведены химический состав исследуемых материалов, режимы их аддитивного производства, деформационной и термической обработки, методики микроструктурных и текстурных исследований, терморезистометрии и дилатометрии, коррозионных испытаний, определения механических свойств и статистической обработки результатов исследований.

Третья глава «Влияние параметров аддитивного производства на совершенство текстуры аустенита, кинетику и морфологию выделения

интерметаллидных фаз и на коррозионную стойкость» включает в себя результаты исследования закономерностей формирования микроструктуры и текстуры аустенита в процессе аддитивного производства стали AISI 316L и Inconel 718. Установлены режимы селективного лазерного сплавления (СЛС), при которых формируется минимальное количество χ -фазы в стали AISI 316L. Определены закономерности коррозионного разрушения данной стали в растворе KCl-NaCl при 750°C в зависимости от режима СЛС и последующей термической обработки. Показано, что в никелевом сплаве Inconel 718, полученном электронно-лучевым спеканием (ЭЛС), наблюдается текстура $\{100\} \langle 001 \rangle$, которая становится наиболее выраженной при увеличении тепловложения. Изучены закономерности разрушения образцов Inconel 718 после ЭЛС, что позволило определить эффект частиц второй фазы на процесс распространения трещины в таком материале.

В четвертой главе «Влияние химического состава и режимов обработки на структурно-фазовые характеристики сплавов системы Ni-Cr-Mo» диссертант провел расчетное прогнозирование фазового состава различных коррозионностойких сплавов системы Ni-Cr-Mo, в том числе никелевого сплава ХН62М, с использованием расчете концентрации валентных электронов, расчета энергии дефекта упаковки и CALPHAD расчетов. Дополнительно, в данной главе представлены результаты исследования фазовых превращений в сплавах ХН62М и Hastelloy C4. Расчетным путем установлено, что сплав ХН62М обладает наиболее сбалансированным химическим составом с точки зрения отношению к устойчивости аустенита против выделения ТПУ-фаз. Определены закономерности выделения избыточных ТПУ-фаз сплавов ХН62М и Hastelloy C4, а также процессов дальнего упорядочения сплава ХН62М. Важным результатом является наблюдение положительного влияния высокотемпературной обработки на устойчивость аустенита литого сплава ХН62М к выделению упорядоченной фазы $Ni_2(Cr,Mo)$.

Пятая глава «Влияние структурно-фазового состояния на физико-механические свойства сплавов системы Ni-Cr-Mo» содержит данные о влиянии интерметаллидных фаз на механические и теплофизические свойства сплавов Hastelloy C4 и ХН62М. Установлено, что формирование дальнего порядка сопровождается ростом прочностных характеристик при сохранении повышенных показателей пластичности. Определено, что аномалии в изменении коэффициента линейного термического расширения, теплоемкости и удельного электрического связаны с явлением ближнего порядка.

Таким образом, комплекс проведенных последовательных исследований направлен на решение поставленной автором научной задачи. Автор последовательно и логично анализирует результаты своих исследований в тексте диссертации, что позволяет добиться целостности работы, а также обеспечить высокую аргументированность выводов и положений. Поставленные задачи работы полностью решены.

Научная новизна исследования

К несомненной научной новизне работы нужно отнести следующие пункты:

1. Установлено, что изменение энергозатрат в процессе СЛС позволяет варьировать объемную долю χ -фазы, выделяющейся в результате высокотемпературной выдержки аддитивных заготовок из стали 316L, за счет изменения кинетики зарождения частиц интерметаллидов.
2. Впервые получены данные по структуро- и фазообразованию упорядоченных и ТПУ-фаз в широком диапазоне температур в коррозионностойком сплаве аустенитного класса ХН62М.
3. Уточнены данные о фазовом составе сплава Hastelloy С4, склонном к образованию интерметаллидных ТПУ-фаз, после длительной выдержки в интервале температур 600...800 °С; доказано, что основной ТПУ-фазой является σ -фаза, а не как считалось ранее, Р-фаза.
4. Показано, что предварительная высокотемпературная обработка расплава, позволяет на порядок замедлить кинетику образования упорядоченной Ni₂(Cr,Mo)-фазы при выдержке в интервале температур 600...800 °С.

Замечания по диссертации

Положительно оценивая диссертационную работу в целом, а также ее логику, актуальность, обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций, теоретическую и практическую значимость, следует выделить следующие дискуссионные положения, недостатки и замечания:

1. Из материалов диссертации неясно, как автор для аустенитной стали AISI 316L проводил идентификацию χ -фазы и установил снижение концентрации хрома на поверхности после испытаний на коррозионную стойкость.

2. По данным микроструктурных исследований термическая обработка аустенитной стали AISI 316L после селективного лазерного спекания приводит к растворению χ -фазы, но, по данным микроструктурного анализа (Рис. 3.7), при этом формируется высокая пористость. Как такие микроструктурные

изменения повлияют на механические свойства данного материала?

3. В тексте диссертации и автореферата сказано, что установленные закономерности формирования псевдо-монокристаллического состояния сплава Inconel 718 могут быть использованы для повышения коррозионной стойкости данного сплава. Но при этом не сказано, как такая текстура влияет на коррозионную стойкость сплава Inconel 718.

4. Известно, что хрупкая σ -фаза формируется на месте δ -фазы при термической обработке сплава Inconel 718. Наблюдали ли данное явление при электронно-лучевом спекании данного сплава в своих исследованиях?

5. В качестве обобщения полученных результатов по исследованию процессов упорядочения и выделения избыточных фаз в исследуемых никелевых сплавах было бы интересно собрать объединенные C-образные диаграммы.

Заключение

Диссертация Попковой Дарьи Сергеевны на тему «Особенности выделения интерметаллидных фаз в сплавах аустенитного класса, стойких в расплавах солей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Достижение поставленной в диссертационном исследовании цели сопряжено с решением целого комплекса научных задач, имеющих теоретическое и прикладное значение. В результате диссертантом установлены закономерности выделения интерметаллидных фаз в коррозионностойких сплавах системы Ni-Cr-Mo аустенитного класса для управления их структурно-фазовым состоянием и свойствами, за счет использования термической и деформационной обработки, что в дальнейшем позволит обеспечить коррозионную стойкость в широком интервале температур.

Диссертация и автореферат соответствуют пунктам Паспорта специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов: 1. Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов; 2. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование; 4. Теоретические и экспериментальные

исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомангнитных, радиационных, акустических и других воздействий на изменение структуры и свойств металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование.

Автореферат диссертации Д.С. Попковой полностью соответствует тексту диссертации, отражает ее основное содержание, имеет логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

По результатам диссертационного исследования Попкова Дарья Сергеевна опубликовала достаточное количество научных работ. Диссертация удовлетворяет требованиям п.9-14 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Попкова Дарья Сергеевна, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»,
г. Белгород, старший научный сотрудник
лаборатории объемных наноструктурных материалов
Панов Дмитрий Олегович

Контактная информация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет»,
308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, 85, +7 (351) 267-99-00
Адрес электронной почты: Info@bsu.edu.ru

«22» ноября 2024 г.

Личную подпись удостоверяю Специалист отдела кадрового обеспечения Департамента организационного развития и кадровой политики	Панова Д	20 11
	В. П. Шендерович	