



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

105005, г. Москва, ул. Радио, 17
Тел. (499) 261-86-77, факс (499) 267-86-09
E-mail: admin@viam.ru

Председателю диссертационного
совета Д 002.060.01, академику РАН
Баннх О.А.

119991, г. Москва, Ленинский
проспект, д. 49

19.02.2016г.

№ У-16-2404

«УТВЕРЖДАЮ»

по вопросу:

Заместитель генерального директора
ФГУП «ВИАМ», кандидат технических наук

Ю.Н. Шевченко

«19»

2016 г.

Отзыв

ведущей организации – федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ», г. Москва) на диссертационную работу Мурадяна Саркиса Ованесовича «Структура и свойства литейной коррозионностойкой стали, легированной азотом», представленную на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Тема диссертационной работы Мурадяна С.О. представляется **актуальной**. Современные зарубежные коррозионностойкие стали легированы азотом, что позволяет экономить в них содержание никеля и молибдена, обеспечивать высокую прочность, стабильность аустенитной структуры, повышать стойкость к локальным видам коррозии. В настоящее время в России принята стратегия импортозамещения. С учетом того, что среди применяемых российских марок литейных аустенитных сталей нет высокопрочных азотсодержащих сталей (в отличие от США и стран ЕС, где азотсодержащие стали такого рода активно используются), работа диссертанта является весьма востребованной и нацелена на решение проблемы обеспечения нефтегазовой отрасли, судостроения современным конструкционным материалом для литой арматуры, отличающимся от аналогов значительно более высокой прочностью, коррозионной-

износостойкостью, высокой хладостойкостью. Диссертант решает эту проблему путем разработки и исследования новой литейной аустенитной Cr-Ni-Mn-Mo-V стали с 0,45–0,60 % азота.

Диссертация состоит из введения, пяти глав с обсуждением полученных результатов и выводов по главам, общих выводов и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность выбранной диссертационной темы, сформулированы ее цель, задачи и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор литературы по применяющимся в настоящее время литейным коррозионностойким аустенитным сталям и возможным способам повышения их прочности и других эксплуатационных свойств. Показано, что за рубежом эффективно используется легирование азотом литейных Cr-Mn-Ni, Cr-Mn-Ni-Mo, Cr-Ni-Mo сталей, в том числе аустенитных, для повышения их прочности и коррозионной стойкости. В России литейные аустенитные азотсодержащие стали отсутствуют, а за рубежом насчитывается около 20 марок азотсодержащих литейных сталей, из них 5 марок сталей с содержанием азота до 0,26 % имеют аустенитную структуру, в которой может содержаться до 20 % феррита, лишь одна сталь содержит до 0,40 % азота. Все литейные стали аустенитного класса, не легированные азотом, имеют предел текучести не выше ~200 МПа, а для литейных азотсодержащих преимущественно аустенитных сталей $\sigma_{0,2} \leq 290$ МПа. В обзоре уделено внимание фазовому составу коррозионностойких аустенитных сталей (особенно фазам, чаще всего встречающимся в аустенитных азотсодержащих сталях и оказывающим влияние на их свойства), отмечено положительное влияние азота на коррозионную стойкость нержавеющих сталей. На основе анализа литературных данных диссертантом предложено для разработки аустенитной литейной стали использовать Cr-Ni-Mn-Mo-V сталь, легированную 0,45–0,60 % азота. Отдельный раздел обзора литературы посвящен выбору деформируемой стали-прототипа (05X22AG15H8M2Ф).

Во второй главе описаны материалы и методы исследования, использованные в работе. Описание последних достаточно детальное и позволяет в полной мере составить представление о способах проведения экспериментов. Диссертантом использован современный спектр методов проведения структурного анализа (просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ, метод селективного рентгеноструктурного анализа) и определения механических свойств. Для моделирования термодинамически равновесного фазового состава вариаций стали диссертант использовал программу Thermo Calc –

одну из новых эффективных инструментов в арсенале современного металловедения. Мурадяном С.О. исследованы служебные свойства (коррозионно- и износостойкость, циклическая прочность, хладостойкость, кратковременная теплостойкость) в соответствии с ГОСТ. Кроме того, во второй главе сделаны термодинамические расчеты предельной растворимости азота в жидкой фазе [N] при варьировании содержания основных легирующих элементов в стали-прототипе. Далее проведен отбор оптимальных композиций из расчетного массива значений [N] с использованием критериев: получения аустенитной структуры стали (при оценке фазового состава по фазовой диаграмме Шеффлера), отсутствия карбидов хрома типа $Cr_{23}C_6$, обеспечения высокой коррозионной стойкости (по величине эквивалента стойкости к питтинговой коррозии (ЭСП)) и обеспечения высокой прочности ($\max [N]$).

На основании сделанных расчетов [N] в твердом металле и оценки фазового состава для 1260 вариантов сочетания легирующих элементов в системе Fe-Cr-Ni-Mn-N-Mo-ЛЭ был сделан выбор пределов легирования для получения высокопрочной и коррозионностойкой аустенитной литой стали для дальнейшего исследования.

В третьей главе приведены результаты исследования макро- и микроструктуры, фазового состава и физико-механических свойств базовой стали-прототипа, ее модификаций (по концентрации Cr, Mo, N) в исходном литом состоянии. Выявлены особенности кинетики кристаллизации, основные литейные параметры. С использованием программного комплекса Thermo-Calc были рассчитаны температурные сечения равновесных фазовых диаграмм этих сталей при варьировании в них концентрации азота. Мурадяном С.О. установлено соотношение количества основных фаз в изученных сталях, определенное расчетным путем и полученное экспериментально. Им показано отрицательное влияние σ -фазы, образующейся при кристаллизации как междендритный металл, на механические свойства литой стали и выявлена степень положительного влияния повышения концентрации азота в стали на получение аустенитной структуры и подавление образования σ -фазы в литой стали. С учетом результатов расчетов и экспериментальных данных о положительном влиянии азота на микроструктуру и свойства литой стали диссертантом был откорректирован ее химический состав и обозначен маркой 05X21AG15H8MФЛ, в отличие от деформируемой стали-прототипа, обозначаемой маркой 05X22AG15H8M2Ф.

В четвертой главе описаны структура и свойства новой литейной аустенитной стали после высокотемпературных тепловых выдержек

(гомогенизирующих отжигов). Показано, что они способствуют развитию превращения $\sigma \rightarrow \delta \rightarrow \gamma$. Проведенные диссертантом эксперименты позволили установить, что превращение $\sigma \rightarrow \delta$ протекает в стали с большой скоростью при нагреве выше температуры начала превращения (800–870 °С (в зависимости от состава стали)). Полнота и длительность дальнейшего диффузионного превращения $\delta \rightarrow \gamma$ определяется температурой и длительностью отжига. Устранение σ -фазы (термической обработкой и за счет легирования азотом) позволяет реализовать присущую аустениту высокую ударную вязкость и пластичность и, соответственно, повысить предел прочности литой стали. Дано сравнение механических свойств экспериментальных плавок новой стали в диапазоне температур от -70 до +300 °С со свойствами уже применяющимися литейными коррозионностойкими аустенитными сталями. Впервые для литейной аустенитной стали получено сочетание высокой статической прочности ($\sigma_{0,2} = 370\text{--}430$ МПа) с высокой пластичностью и вязкостью (КСУ = 2,0–2,4 МДж/м²), нечувствительностью к надрезам.

В пятой главе описано исследование эксплуатационных свойств новой литейной стали: усталостной прочности, сравнительной износостойкости и коррозионной стойкости. Мурадяном С.О. показано, что сталь обладает высокой циклической прочностью (предел усталости ~ 225 МПа при $N=10^7$, выше предела текучести обычных литейных сталей), износостойкостью на уровне стали Гадфильда (110Г13Л), критической температурой питтингообразования ~ 43 °С (на 28 °С выше, чем у стали AISI 316). Разработанная сталь превосходит применяющиеся в России литейные аустенитные стали по пределу текучести в ~ 2 раза, по ударной вязкости в $\sim 4,5$ раза, по твердости – на ~ 25 %, по износостойкости – более чем в 10 раз, по критической температуре питтингообразования – в 2,8 раза.

Научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов несомненны, поскольку ранее систематических исследований особенностей кристаллизации, литейных свойств, структуры, фазового состава, механических и коррозионных свойств в литом и термически обработанном состоянии для стали типа 05X22AG15N8M2ФЛ не проводилось, а разработанная новая литейная аустенитная сталь модифицированного состава превосходит стали-аналоги по основным свойствам от 2 до 10 раз. На разработанную новую литейную сталь в 2012 г. получен патент Российской Федерации на изобретение.

Достоверность полученных результатов и аргументированность сформулированных выводов диссертации подтверждены параллельными комплексными испытаниями и исследованиями несколькими прямыми и

косвенными методами с получением большого количества экспериментальных данных. Результаты испытаний механических свойств многочисленны, проведены на нескольких плавках с использованием современных приборов и установок.

Основные заключения автора по структурно-фазовому состоянию стали подтверждены. Основные результаты работы опубликованы в профильных рецензируемых журналах из перечня Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации, доложены научному сообществу (7 статей, 18 публикаций в сборниках трудов и тезисов российских и международных конференций).

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Диссертантом показано, что сталь хладостойкая. Однако, имея в виду возможность службы литой арматуры и при повышенных температурах, следует отметить, что объем проведенных диссертантом экспериментов не позволяет сделать заключение о том, какова верхняя граница рекомендуемого температурного интервала эксплуатации стали. Желательно было бы провести испытания на длительную прочность при повышенных температурах.

2. Диссертанту следовало привлечь для уточнения температурных интервалов фазовых превращений в стали данные дилатометрии и дифференциального термического анализа.

3. Определенное методом оптической металлографии количество сигма-фазы неточное, поскольку при этом не учтены прослойки аустенита, нитриды.

4. Сталь проявила высокую коррозионную стойкость в хлоридных растворах при испытаниях на межкристаллитную коррозию и питтинговую коррозию. Однако, поскольку она рекомендуется как коррозионностойкий материал, в том числе для литой арматуры в нефтегазовой промышленности, необходимы испытания на стойкость к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением и стойкость к водородному растрескиванию, используя методы, принятыми в нефтегазовой отрасли.

Заключение

Диссертационная работа Мурадяна С.О. является завершенным научным исследованием, выполненным на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Диссертация написана логично, аккуратно и тщательно оформлена.

Диссертацию Мурадяна С.О. можно характеризовать как научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработана и внедряется в промышленное производство новая

литейная аустенитная высокопрочная коррозионностойкая азотистая сталь для ответственных изделий трубопроводной арматуры

Автореферат и публикации полностью отражают основное содержание диссертации.

Диссертация Мурадяна С.О. отвечает требованиям п. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Мурадян Саркис Ованесович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа Мурадяна С.О. была заслушана и обсуждена на заседании научно-исследовательского отделения «Жаропрочные литейные и деформируемые сплавы и стали, защитные покрытия для деталей ГТД» 16 февраля 2016 г., протокол № 3.

Начальник научно-исследовательского
отделения «Жаропрочные литейные и
деформируемые сплавы и стали,
защитные покрытия для деталей ГТД»,
кандидат технических наук



Оспенникова
Ольга Геннадиевна

Начальник сектора
лаборатории «Конструкционные
и специальные стали», кандидат
технических наук



Тонышева
Ольга Александровна

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»)

105005, г. Москва, ул. Радио, 17, тел. (499) 261-86-77, www.viam.ru,
e-mail: admin@viam.ru