

О Т З Ы В
официального оппонента на диссертационную работу
ПУМПЯНСКОГО ДМИТРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА
«Научные основы разработки сталей, сплавов и высокоэффективных
технологий для производства нефтегазовых и специальных труб нового
поколения», представленную на соискание ученой степени доктора технических
наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Диссертационная работа Пумпянского Д.А. направлена на создание современных высокопрочных коррозионностойких металлических сплавов для современного производства бесшовных труб специального назначения на основе детального изучения структуры, фазового состава, комплекса важнейших свойств (механических, коррозионных, технологических) и совершенствования химического состава материалов и режимов их термических и деформационных обработок.

Актуальность темы диссертации. Современный этап развития углеводородной энергетики страны характеризуется истощением традиционных месторождений и острой потребностью эффективного освоения запасов нефти и газа с осложненными условиями добычи, нередко, на перспективных месторождениях, содержащих в значительных количествах сероводород и углекислый газ. Экономически обоснованное решение этих новых задач топливно-энергетического комплекса определяет необходимость повышения эксплуатационных свойств обсадных и насосно-компрессорных труб за счет широкого использования новых высокопрочных коррозионностойких материалов. Поступательное развитие атомной энергетики также предъявляет все возрастающие требования к стойким к радиационному распуханию материалам для труб, применяемых в ядерных энергетических установках. Перевод трубной промышленности страны на качественно новый уровень развития невозможен без создания научно обоснованных материаловедческих подходов для освоения производства бесшовных труб с повышенными специальными свойствами из сталей и титановых сплавов на основе новых технических и технологических решений. Поэтому не вызывает сомнений **актуальность диссертационной работы** Пумпянского Д.А., в которой на самом современном научном уровне разрабатываются указанные материаловедческие подходы, позволяющие обоснованно выбирать материалы и технологии их обработок для получения бесшовных труб с требуемым комплексом свойств для различных отраслей промышленности (нефтяной, газовой, атомной).

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы из 192 источников и приложения (акта о внедрении результатов диссертационной работы).

В **первой главе** проведен глубокий анализ современных тенденций развития топливно-энергетического комплекса России, его ресурсной базы, потребности в новых материалах, технологиях и оборудовании, в частности, для ядерной энергетики и эффективной добычи нефти и газа в новых нефтегазовых провинциях. На этой основе определены новые технические требования к обсадным и насосно-компрессорным трубам, а также основные направления разработки составов сталей и сплавов и технологий изготовления специальных видов нарезных труб для добычи углеводородов в особо сложных условиях. В конце главы обоснованно выбраны группы сталей и сплавов в качестве материалов для труб различного назначения.

Во **второй главе** диссертации при обосновании составов и режимов термической обработки высококачественных низко- и среднеуглеродистых хромомолибденовых мартенситных сталей с карбидным упрочнением для хладостойких труб нефтегазового сортамента повышенной и высокой прочности, в том числе коррозионностойких в средах с сероводородом, получен безусловно доказанный соискателем **новый научный результат**. Показано, что обеспечение высоких прочностных и вязкопластических свойств хромомолибденовых трубных сталей, применяемых в различных коррозионно-активных средах, достигается их сбалансированным легированием несколькими сильными карбидообразующими элементами (ниобием и ванадием), обеспечивающими комплексный эффект: за счет выделения карбидов ниобия по границам зерен формируется пластичная мелкозернистая структура, а карбидами ванадия, которые образуются в процессе отпуска, реализуется эффективное дисперсионное упрочнение сталей.

Практически важные результаты второй главы состоят в разработке составов хромомолибденовых сталей и выработке основных подходов к обеспечению стойкости труб групп прочности С90, Т95 и С110 к СРН, для изготовления которых должна применяться высококачественная мелкозернистая сталь с низким содержанием примесей и минимальным уровнем загрязнений. Новые составы сталей обеспечивают реализацию в производстве насосно-компрессорных и обсадных труб уровней прочности от L80 до С110 за счет регулирования соотношения содержания сильных карбидообразующих элементов и температуры отпуска. Достигается также значительная стойкость к хрупкому разрушению и сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением после проведения отпуска преимущественно мартенситной структуры при повышенных температурах, способствующих понижению плотности дефектов кристаллического строения, которые являются предпочтительными местами адсорбции водорода.

В **третьей главе** диссертации для высокопрочных нарезных труб нефтяного сортамента, применяемых в средах с высокой концентрацией углекислого газа,

разработаны составы и режимы обработки низкоуглеродистых высокохромистых (с 13 мас. % Cr и выше) сталей с мартенситной структурой, дополнительно легированных никелем и молибденом. Такие стали обеспечивают, наряду с высокой стойкостью к коррозии, хладостойкость, необходимую для применения труб в условиях сурового климата, а также характеризуются низкой склонностью к радиационному распуханию, что делает целесообразным применение труб из этих материалов в узлах активных зон и внутрикорпусных устройств ядерных энергетических установок. В ходе исследования получен целый ряд **новых научных результатов**. В частности, для сталей мартенситного класса с 12–14 % хрома установлена роль никелевого и хромового эквивалентов в обеспечении однофазного механизма кристаллизации с получением однородной микроструктуры, что способствует достижению высокого комплекса механических свойств. При этом за счет повышения температур существования квазиоднофазного аустенита (γ +карбиды) достигается необходимая пластичность при горячей деформации, а обогащение аустенита углеродом вследствие растворения карбидов хрома при увеличении температуры обработки в двухфазной области вызывает диспергирование продуктов мартенситного превращения и повышение комплекса прочностных и вязкопластических свойств.

Практически значимые результаты третьей главы состоят в разработке новых марок сталей и оригинальной технологии производства по схеме «горячее прессование – холодная деформация (прокатка, профилирование)», с применением которой впервые изготовлены экспериментальные масштабные образцы труб шестигранного сечения «под ключ». Установлен переход стали в мартенсито-ферритный (более 10% δ -феррита) класс с пониженным комплексом механических свойств при повышении концентрации ферритообразующих элементов свыше значений хромового эквивалента ~ 16 масс. % и более. Важной для практики является также установленная существенно более высокая, чем у стали 20X13, коррозионная стойкость в кислой среде у сталей типа «супер-хром» с малым содержанием углерода и дополнительным легированием никелем и молибденом.

В **четвертой главе** диссертации при разработке составов и способов обработки сталей с аустенитной структурой для труб нефтяного сортамента, применяемых в особых условиях – в средах, содержащих ионы хлора наряду с диоксидом углерода и сероводородом, получены **важные научные результаты**. Выявлены наиболее значимые факторы упрочнения аустенитных сталей типа X18H10T (концентрации углерода, азота, титана в твердом растворе и размер зерна), которые могут обеспечивать до 45 % предела текучести металла получаемых труб. Для высоколегированных аустенитных сталей установлено увеличение устойчивости аустенита против выделения интерметаллидной σ -

фазы в процессе старения при повышении отношения $Ni/(Cr+Mo)$ от 0,94 до 1,08, тогда как пластическая деформация повышает склонность к образованию σ -фазы.

Практически важный результат главы 4 заключается в разработке состава и технологии производства сплава ТМК-С для высокопрочных коррозионностойких труб класса прочности Р110 с повышенными служебными характеристиками. Показана также зависимость предела прочности σ_B сталей при 20 °С и интенсивности изменения σ_B с повышением температуры от интенсивности образования мартенсита деформации в процессе испытания, т.е. стабильности аустенита, определяемой величиной никелевого эквивалента в сталях.

В **пятой главе** диссертации для труб, используемых для скоростной перекачки морской воды, транспортировки хлоридсодержащих сред при высокой температуре (до 350°С), теплообменников для конденсации пара в судовой и морской технике, гидросистем летательных аппаратов разработана TREX (Tube Reduced EXtrusion) - технология обработки псевдо- α -сплавов титана. Предложенная технология, имеющая **важное практическое значение**, включает горячее прессование передельных труб и последующую многопроходную холодную прокатку с промежуточным и окончательным отжигами, которая обеспечивает формирование комплекса механических свойств в холоднокатаных трубах, удовлетворяющего требованиям российских ТУ (сплавы ПТ-1М, ПТ-7М) и зарубежных стандартов (сплав Ti-3Al-2,5V).

В **шестой главе** диссертации подробно изложены результаты широкомасштабного **практического внедрения результатов исследования** на крупнейших предприятиях по производству труб и непрерывно-литых заготовок (НЛЗ). Создан целый ряд новых производств высокопрочных и коррозионностойких стальных и титановых труб широкого сортамента для нефтяной, газовой и атомной промышленности с эксплуатационными характеристиками, нередко превосходящими требования международных стандартов. Переход на использование НЛЗ для производства бесшовных труб ознаменовал крупный этап инновационного технологического преобразования в трубной отрасли страны. Существенно возросло производство труб из высоколегированных сталей и сплавов, выросла номенклатура высококачественных труб и существенно расширилась сфера их применения. Повысилась производительность труда, получен впечатляющий экономический эффект.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации основана на применении взаимодополняющих аналитических методов исследований: оптическая металлография, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD), рентгеноструктурный и

микрорентгеноспектральный анализы. Дилатометрический и дюрметрический анализы, комплексные испытания механических свойств при комнатной и отрицательных температурах, испытания на стойкость к общей и локальной коррозии изучаемых сталей выполнены на современном аттестованном оборудовании. Приведенные в диссертационной работе результаты исследований и испытаний, полученные с использованием различных апробированных методик, достаточно хорошо согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям и результатам. Полученные экспериментальные и расчетные данные обсуждены на основе общепринятых положений современного материаловедения.

Научная и практическая ценность результатов. На основе проведенного масштабного комплексного исследования разработан материаловедческий подход, позволяющий научно обоснованно выбирать и совершенствовать материалы и технологии их термических и деформационных обработок для производства высокотехнологичных бесшовных труб из высокопрочных/коррозионностойких сталей и титановых сплавов, соответствующих Российским и мировым стандартам и удовлетворяющих по своим характеристикам возрастающие требования для эффективного использования в нефтяной, газовой и атомной промышленности. **Практическая значимость работы** очевидна. Разработаны, защищены патентами РФ и внедрены в современное производство бесшовных труб новые составы сталей и технологии их обработки. Высокотехнологичные трубы успешно применяются для освоения перспективных месторождений и реализации новых высокоэффективных технологий добычи нефти и газа, включая новые провинции, а также зону континентального шельфа. Успешно решаются задачи импортозамещения и освоения новых направлений экспорта нефтегазовых и специальных труб нового поколения.

Замечания по работе:

1. В первой главе диссертации представлен глубокий экономический анализ современных тенденций развития топливно-энергетического комплекса страны, его ресурсной базы, потребности в новых материалах, оборудовании и технологиях, в том числе для ядерной энергетики и эффективной добычи нефти и газа в новых нефтегазовых провинциях. Однако существенно меньшее внимание уделено рассмотрению научных заделов и нерешенных проблем в области материаловедения трубных сталей и сплавов.

2. В главе 3 применительно к трубным сталям используется терминология «стали супермартенситного класса» или «супермартенситные стали» без пояснения их отличительных особенностей от сталей мартенситного класса (мартенситных сталей).

3. В главе 4 на стр. 141 сказано, что содержание δ -феррита в аустенитных сталях оценивали металлографическим методом. Насколько методически обосновано приведение в таблице 4.3 значений объемной доли δ -фазы с точностью до сотых долей процента?

4. В главе 4 на стр. 151 не удачно использована ссылка [123] о подавлении образования мартенсита деформации при температуре 200 °С в сталях типа 08X18H10T, поскольку в работе [123] исследованы температуры деформации от 143 до 420 К, т.е. максимально до 147 °С.

5. На стр. 158 диссертации и стр. 34 автореферата отмечается, что для высоколегированных аустенитных Fe-Cr-Ni-Mo-Cu-сплавов целесообразно дополнительное легирование ниобием, алюминием, титаном и вольфрамом, что и было учтено при разработке новых составов сплавов. Однако в тексте главы 4 диссертации при обосновании предлагаемых составов не обсуждается роль указанных элементов в формировании структурно-фазового состава и обеспечении требуемых служебных характеристик рассматриваемых сплавов.

6. В главе 5 широко представлены детальные результаты изучения структуры, текстуры, фазового состава и механических свойств трубных заготовок, горячепрессованных и холоднокатаных труб из титановых сплавов, а также особенностей деформационного поведения, экспандирования и прессования заготовок и труб. Отмечается большая практическая ценность полученных результатов. Однако не выделена научная новизна представленных в главе 5 результатов.

Отмеченные отдельные замечания не изменяют общей безусловно положительной оценки диссертационной работы и не снижают ее научной и практической значимости. Диссертационная работа Пумпянского Д.А. представляет собой законченное актуальное исследование, которое характеризуется обоснованностью вынесенных на защиту научных положений, а также выводов и рекомендаций. Автореферат соответствует тексту диссертации. Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в фундаментальной монографии, научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, публикациях в материалах конференций. Результаты работы докладывались на международных и российских конференциях. По теме диссертации получено 9 патентов на изобретения РФ. Представленная работа соответствует паспорту специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки) в пунктах 1, 3, 5, 6, 10 и 16. В работе содержится решение важной, имеющей значение для материаловедения, задачи разработки научных основ создания высокопрочных коррозионностойких сталей и титановых сплавов для высокоэффективного производства

беспровных нефтегазовых и специальных труб нового поколения через установление закономерностей формирования фазового состава, структуры и комплекса свойств, а также совершенствование химического состава и режимов обработок материалов. В работе предложены новые технические и технологические решения, которые нашли широкое практическое применение в производстве высокотехнологичных труб для критически важных отраслей промышленности страны (нефтяной, газовой, атомной).

Таким образом, по актуальности и объему выполненных исследований, новизне, достоверности, научной и практической значимости полученных результатов и выводов диссертационная работа Д.А. Пумпянского «Научные основы разработки сталей, сплавов и высокоэффективных технологий для производства нефтегазовых и специальных труб нового поколения» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Пумпянский Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук,
главный научный сотрудник
лаборатории механических свойств

Макаров Алексей Викторович

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18, ИФМ УрО РАН
Телефон (343) 378-36-40 e-mail: avm@imp.uran.ru
Согласен на обработку персональных данных. 07.06.2024



Макарова А.В.
секретарь ИФМ УрО РАН
И.Ю. Арапова
20 07 г.