

РОЛЬ ЦНИИТМАШ В РАЗВИТИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

А.В. Дуб



**Дуб
Алексей
Владимирович**

Генеральный директор ФГУП ЦНИИТМаш, доктор технических наук, профессор. Председатель экспертного совета ВАК по металлургии и материаловедению, член экспертного совета Роспрома, член комиссии по присуждению Премий Правительства РФ по секции «Машиностроение». Специалист в области металлургии и материаловедения, технологий машиностроения, физики конденсированного состояния. Автор более 70 научных трудов и учебных изданий.

ЦНИИТМАШ был основан в 1929 г. на базе Московского отделения ленинградского института металлов, преобразованного приказом ВСНХ СССР № 508 от 30 декабря 1929 г. в Научно-исследовательский институт машиностроения (НИИмаш), объединенный позднее с Гострестом по рационализации производства в машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности «ОРГАМЕТАЛЛОМ», ставшим к этому времени кузницей специалистов сварочного производства, участвующих в создании объектов первых пятилеток. Приказом народного комиссара

машиностроения № 1039 от 27 декабря 1938 г. институт был утвержден как Центральный научно-исследовательский институт технологии и машиностроения (ЦНИИТМАШ).

С первых дней существования института его сотрудники активно участвовали в развитии отечественного машиностроения, создавая новые материалы и технологические процессы, занимаясь теоретическими исследованиями, раскрывающими закономерности процессов машиностроения.

Создателями научных школ, возникших на базе ЦНИИТМАШ, были такие выдающиеся ученые, как академики И.И. Артоболевский, С.Л. Соболев, Е.О. Патон, Г.А. Николаев, А.И. Целиков; чл.-корр. АН СССР И.А. Одинг, В.С. Емельянов, Е.А. Чудаков, Н.Н. Зорев; профессора Н.С. Акулов, Н.П. Бухгольц, В.П. Вологдин, Н.В. Гевелинг, В.В. Голубев, К.Ф. Грачев, С.О. Доброгурский, А.К. Зайцев, А.И. Зимин, С.Т. Конобиевский, В.А. Криворуков, П.Н. Львов, Л.Б. Левенсон, С.В. Серенсен, Е.Е. Ферафонов, Н.П. Чижевский, Е.П. Унков, К.В. Любавский, А.С. Гельман, И.Л. Миркин, А.П. Гуляев, Н.В. Кудрявцев и многие другие.

Все научные работы института выполнялись в тесном взаимодействии с ведущими промышленными предприятиями страны и становились базой технологии производства на этих заводах.

В 1937 г. по заданию правительства институт выполнил две необычные работы: скульптурную группу «Рабочий и колхозница» по проекту В.И. Мухиной Всемирной выставки в Париже, ставшую впоследствии символом Мосфильма, и звезды для башен Кремля, ныне являющиеся его неотъемлемой частью и символом побед нашей страны. Кремлевские звезды и «Рабочий и колхозница» представляют собой не только произведения искусства, но и очень интересные инженерные сооружения. Во время выполнения этих работ институт продемонстрировал не только свою техническую зрелость, но и способность прекрасно организовать работу, выполнив задания в наикратчайший срок.

В первые дни Великой Отечественной войны несколько сотен цниитмашевцев записались добровольцами на фронт, многие сотрудники работали на строительстве оборонительных сооружений, а институт и опытный завод перешли на выполнение оборонных заказов. Так была разработана технология сварки под флюсом корпусов снарядов для знаменитых «катюш», была освоена штамповка деталей танкового мотора Д-2 и производство зубчатых передач для танков на Кировском заводе, УЗТМ и других заводах. За коренное усовершенствование производства боеприпасов и за создание технологии производства литых башен танков ряд специалистов института был удостоен звания лауреата Сталинской премии.

В послевоенный период в ЦНИИТМАШ занимались в основном тяжелым, энергетическим и транспортным машиностроением, так как именно в этих отраслях возникли наиболее сложные и ответственные проблемы освоения крупногабаритных уникальных машин и агрегатов. Большое внимание уделялось освоению производства новой техники, в том числе, мощных паровых и гидравлических турбин; сосудов высокого давления; доменных печей; конвертеров; блюмингов и слябингов; сверхмощных ковочных прессов; заготовительных, сортопрокатных, листопрокатных и трубопрокатных станков; валков горячего и холодного проката, мощ-

ных и быстроходных дизелей, паровозов, тепловозов и электровозов; экскаваторов; бурильных установок; углеразмольных машин; грузоподъемных кранов; лифтов; конвейеров; горнорудного оборудования и многих других видов машин.

В эти годы в ЦНИИТМАШ были созданы и усовершенствованы материалы для повышения эксплуатационных свойств, качества и надежности энергетического оборудования, и принципиально новые технологические процессы изготовления уникального оборудования, в основу которых была положена комплексная оптимизация материалов, технологии, производственного оборудования; создано технологическое оборудование для внедрения новых технологических процессов и их автоматизации; разработаны новые методы и средства исследования прочности и надежности конструкций. Многие из этих разработок получили высокую оценку в нашей стране и за рубежом.

Так, одним из основных технологических процессов сварки, применяющимся практически во всех развитых странах, стал разработанный в ЦНИИТМАШ способ сварки в среде углекислого газа, создателям которого К.В. Любавскому и Н.М. Новожилову была присуждена Ленинская премия.

В 1960–1968 гг. в институте были созданы жидкие самотвердеющие смеси (ЖСС), получившие широкое применение для изготовления литейных форм и стержней в металлургической промышленности во многих странах. Группе авторов этого процесса литья – А.М. Лясу, П.А. Борсуку и Е.Т. Долбенко в 1967 г. была присуждена Ленинская премия.

Важнейшее значение приобрели работы, выполненные коллективом специалистов ЦНИИТМАШ под руководством И.Р. Крянина по созданию кавитационно и эрозионстойких сталей для гидротурбин, технологии изготовления из них основных узлов гидроэнергетического оборудования и прежде всего крупнейших сварных рабочих колес, которые до сих пор работают на большинстве гидроэлектростанций России, СНГ, а также в Египте, Бразилии, Ар-

гентине, Канаде и многих других странах мира.

Сегодня сотрудники института продолжают создавать принципиально новые процессы и технологическое оборудование для нового поколения атомных и тепловых электростанций, нефтеперерабатывающих заводов, добычи и транспортировки газа, отличающееся высокой надежностью, экологической безопасностью и экономичностью. Важнейшей является деятельность института по обследованию, определению остаточного ресурса и реновации корпусов реакторов, турбин, трубопроводов, нефтяного и химического оборудования. Эти разработки во многом способствовали устранению возникшей опасности энергетического кризиса в стране из-за выработки гарантированного ресурса многих энергетических объектов.

Основными направлениями научных и прикладных работ института остаются:

- разработка новых конструкционных и специальных материалов, методов термической и химико-термической обработки;
- разработка металлургических процессов получения высококачественных заготовок для машиностроения;
- совершенствование технологий литейного производства, обработки давлением и холодной обработки металлов;
- разработки в области технологий поверностей и наноматериалов;
- технологии сварки и наплавки, сварочные материалы и сварочное оборудование;
- разрушающие и неразрушающие методы исследования металлов;
- повышение прочности, надежности и долговечности деталей машин.

Институт располагает современной научно-исследовательской и экспериментальной базой. Лаборатории института оснащены опытно-промышленными установками для выплавки сталей и сплавов, оборудованием литейного производства, кузнечно-прессовым и термическим оборудованием, сварочными установками и оборудованием для производства электродов и флюсов, станочным оборудованием для механообработки и нанесения покрытий различны-

ми методами. ЦНИИТМАШ располагает хорошо оснащенной базой для проведения физико-химических исследований металлов, их стойкости в различных средах и при различных температурах, применения современных методов оценки прочности с учетом реальных условий работы оборудования.

В ЦНИИТМАШ действует Центр коллективного пользования научным оборудованием «ЦНИИТМАШ-АНАЛИТИКА-ПРОЧНОСТЬ» (ЦКП ЦАП), основной тематикой которого является исследование металлов и сплавов, включая их кристаллическую структуру, физические, технологические и эксплуатационные свойства, а также разработка методик проведения указанных исследований. Центр аккредитован Ростехрегулированием (Госстандартом) РФ. Парк научного оборудования ЦКП ЦАП для проведения испытаний и исследований металлов и сплавов является одним из наиболее мощных в РФ.

Организациям-заказчикам предоставляется возможность проводить исследования и испытания с использованием высокоточного уникального научного оборудования по определению химического состава, микроструктуры, кристаллической структуры, фазового состава, коррозионных и механических свойств, характеристик прочности и пластичности, сопротивления усталости, циклической и статической трещиностойкости, в том числе прочностных испытаний крупногабаритных образцов и натуральных изделий (рис 1).

Опытное производство ЦНИИТМАШ позволяет изготавливать приборы и технологическое оборудование, разрабатываемое институтом.

В 1996–2007 гг. многие ученые ЦНИИТМАШ были удостоены премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за создание управляемого, высокотехнологичного производства крупных стальных заготовок для тяжелого и энергетического машиностроения; создание технологий производства емкостей высокого давления и цистерн; разработку новой технологии получения биметаллических непрерывных и длинномерных изделий; разработку энергосберегающих систем круп-



Рис. 1. Сканирующий электронный микроскоп JEOL 6060
с энергодисперсионной приставкой JED 2300

ных металлургических заводов; создание чугунов нового поколения, обладающих уникальными механическими свойствами; разработку и создание приборов и систем неразрушающего контроля.

Перечислим наиболее значимые работы, выполняемые ЦНИИТМАШ в настоящее время и рекомендуемые к реализации в промышленности.

- Новые жаропрочные стали на базе 9 %-ных хромистых сталей с поликомпонентным легированием, обеспечивающие высокий комплекс служебных и технологических характеристик, включая жаропрочность и коррозионную стойкость в 1,5–2 раза выше, чем у традиционно применяемых материалов, для изготовления высокотемпературных элементов блоков на субкритические параметры пара. Замена традиционных материалов обеспечит снижение материалоемкости изделий в 1,5–2 раза при снижении общей стоимости на 20–25 %.

- Серии агрегатов комплексной внепечной обработки стали (АКВОС) в ковшах вместимостью 12, 20 и 40 тонн, позволяющие производить: электродуговой подогрев стали, вакуумирование, введение в ковш необходимых материалов, скачивание шлака из ковша, вакуумную кислородную продувку, перемешивание стали в ковше донной аргоновой продувкой и/или электромагнитным методом. Новый технологический процесс (ДСП+АКВОС; ОМП+АКВОС) позволяет повысить качество выпускаемой продукции, производить слитки и фасонные отливки по массе значительно превышающие вместимость сталеплавильных агрегатов, имеющихся в цехе, улучшить технико-экономические и экологические условия производства стали и улучшить условия труда.

- Технология модификации поверхностей стального листа с целью придания ему антикоррозионных и функциональных свойств способом электролитноплазменной нанотехноло-

гии взамен покрытия защитными металлами. При реализации нанотехнологического процесса модификации поверхностей стального проката и других металлических изделий в качестве электролита используется водный раствор бикарбоната натрия, циркулирующий по замкнутому кругу. Установка электролитно-плазменной нанотехнологии (ЭПНТ) для обработки длинномерных изделий включает реактор, к которому подводится постоянное электрическое напряжение от блока питания. В процессе плазменной модификации происходит восстановление окислов железа до чистого железа, его микропереплавление и создание на поверхности наноструктурного слоя чистого железа толщиной до 5 мкм для горячекатаного и до 1 мкм для холоднокатаного проката. Этот слой обладает коррозионной стойкостью, сравнимой со стойкостью нержавеющей сталей, и рядом других функциональных свойств, например, суперадгезией к полимерам, краскам и пластичностью, что очень важно и для дальнейшей прокатки, штамповки, волочения проволоки и т.д. [1–3].

Эта технология позволяет исключить на металлургических предприятиях кислотную обработку стального проката с целью снятия окалины, обезжиривания поверхности, снятия технологической смазки, горячего и электролитического нанесения покрытий, экономит капитальные затраты и площади предприятий, а также дорогостоящие металлы, применяемые для защитных покрытий.

● Принципиально новые конструкции и технологические процессы изготовления энергоэффективных труб и сборки теплообменных аппаратов, основанные на механизме зарождения турбулентности и характере изменения течения потока теплоносителя с расстоянием от стенки трубопровода, влияющего на процесс возникновения вихревых структур, (рис. 2). Эффективность разработанных конструктивных решений состоит в том, что скорость теплопередачи в конвективной трубе с многозаходными спиралевидно расположенными канавками, вызывающими принудительную конвекцию в

приграничном слое, выше, чем в трубе со свободной конвекцией за счет уменьшения толщины ламинарного пограничного слоя, увеличения площади внутренней поверхности трубы, увеличения длины и времени прохождения теплоносителя [4–6].

● Усовершенствованные методы неразрушающего контроля (ультразвуковой, радиографический, электромагнитный, капиллярный, контроль вибраций), способствующие повышению надежности создаваемых машин и оборудования. В ЦНИИТМАШе разработаны ручные, механизированные и автоматизированные приборы и средства неразрушающего контроля, в частности, ультразвуковые дефектоскопы УДЦ-201П, УД4-12Т, вихретоковые дефектоскопы ВД-516Ц, ВД-120, установки ЛИСТ-6 для контроля листов, установки ВАЛОК для контроля прокатных валков и многое другое.

Сегодня приоритетными являются направления, позволяющие перейти от обнаружения дефектов к измерению параметров дефектов с целью оценки рабочего ресурса контролируемого изделия. Для этого был разработан программно-аппаратный комплекс для визуализации внутренних дефектов. На основе оригинального алгоритма и разработанного программного продукта в автоматическом режиме производится определение контура и визуализация обнаруженных дефектных областей. В процессе визуализации учитываются временные и амплитудные значения эхо-сигналов. Результат трехмерной визуализации внутренней несплошности показан на рис. 3, а. На основе полученной информации об ориентации и объеме внутренней несплошности с помощью метода наименьших квадратов, при котором минимизируется сумма квадратов расстояний от точек, заданных вершинами триангуляции до искомого эллипсоида, может быть построен эквивалентный эллипсоид (рис. 3, б).

Одним из основных технологических процессов на различных стадиях изготовления машиностроительной продукции и качества готовых изделий, а также оперативного анализа изменения служебных характеристик ма-



Энергоэффективные трубы конвективного теплообмена ТЭС, энергоустановок и промышленных котельных

Патенты РФ № 2157494; № 2179085; № 2182052; № 2197683; № 2269717



Интенсификация теплообменных процессов содействует уменьшению металлоемкости и габаритных размеров аппаратов, повышению эрозионной и коррозионной стойкости поверхностей нагрева и снижению скорости загрязнения трубопроводов продуктами сгорания



115088, Москва, Шарикоподшипниковская, 4
Тел. (495) 675-85-60

ОАО «НПО ЦНИИТМАШ»
Факс (495) 674-21-96

Рис. 2. Энергоэффективные трубы конвективного теплообмена ТЭС, энергоустановок и промышленных котельных.

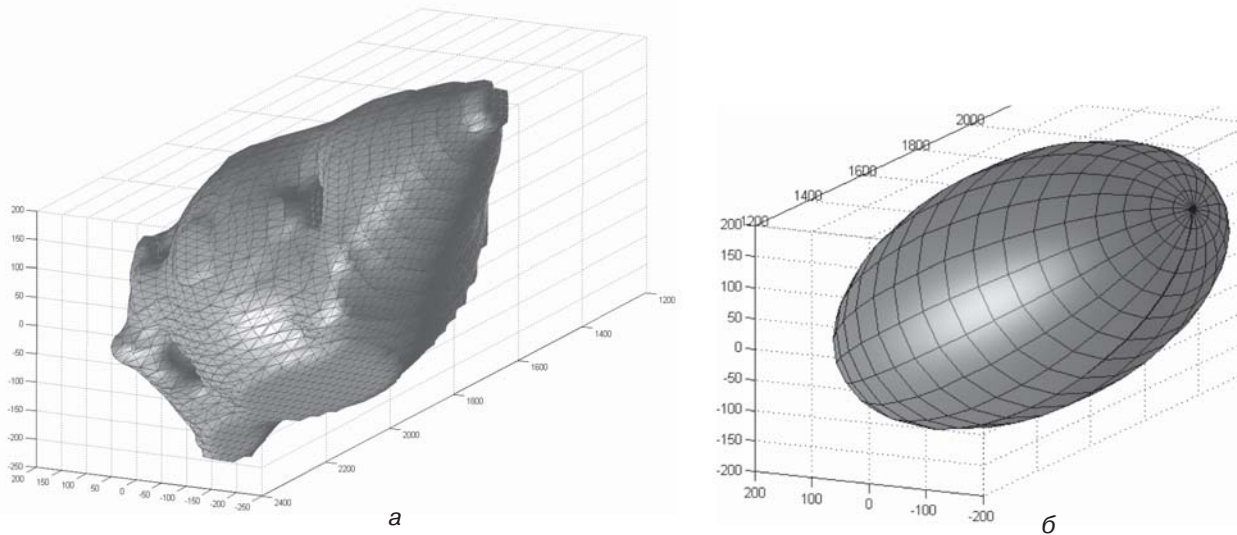


Рис. 3. Трехмерная визуализация несплошности (а) и эквивалентный эллипсоид (б)

териалов и оборудования в процессе его эксплуатации и оценки и продления безопасного ресурса является твердометрирование деталей и узлов оборудования непосредственно в производственных и эксплуатационных условиях с помощью переносных малогабаритных твердометров.

В течение ряда лет в ЦНИИТМАШ были разработаны электронные малогабаритные переносные твердометры ТЭМП-1, ТЭМП-2, ТЭМП-3 и ТЭМП-4, которые нашли широкое применение на ряде предприятий и организаций различных отраслей машиностроения, теплоэнер-

гетики, металлургии, нефтехимии. Последними модификациями твердометров ЦНИИТМАШ являются многофункциональный электронный программируемый универсальный переносной твердометр ТЭМП-2у и беспроводной электронный программируемый универсальный твердометр ТЭМП-4к (рис. 4).

ТЭМП-2у является усовершенствованным вариантом твердометра ТЭМП-2 с несколькими шкалами, позволяющими использовать его, в первую очередь, как трубный твердометр. Только твердометром ТЭМП-2у можно точно измерить твердость, предел прочности и условный предел текучести материала стальных тонкостенных труб разных диаметров с толщиной стенки менее 8 мм.

ТЭМП-4к по функциональным возможностям представляет собой одну из модификаций широко используемого в промышленности серийного твердометра ТЭМП-4 и позволяет работать в зимних условиях (до -30°C), при повышенных



а



б

Рис. 4. Электронные малогабаритные переносные твердометры ТЭМП 2у (а) и ТЭМП 4к (б)

температурах (до +70 °С), а также в условиях недостаточной освещенности.

За создание и промышленное внедрение технологий комплексной диагностики, методов контроля и импортозамещающих приборов с целью снижения аварийных ситуаций потенциально опасных объектов коллективу сотрудников ЦНИИТМАШ (А.Б. Караеву, Б.А. Сигурбекову, Н.И. Санькову и А.Г. Казанцеву) была присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники за 2006 г.

В последние годы значительно увеличился объем работ института, основанных на математическом моделировании. Разработан программный продукт «Моделирование процесса затвердевания слитков», использующий сочетание математических методов и экспериментальных данных, накопленных при проведении промышленных экспериментов по термографированию остывания в изложницах слитков массой от 1 до 420 тонн. Этот программный продукт предназначен для конструирования кузнечных слитков и литейной оснастки, выбора оптимальной технологии отливки слитков, прогнозирования качества слитка в зависимости от принятой технологии. С помощью математической модели можно рассчитывать поля температур и концентрации элементов, конвективные потоки металла, объем, форму и месторасположение усадочной раковины и осевой усадочной пористости.

Разработана конечно-элементная программа ФОРМ-ЗД, которая дает точное описание течения металла при штамповке, показывает конечные нагрузки и оценивает деформацию инструмента. Используя эти возможности, можно разрабатывать технологию точной бездефектной штамповки, что позволяет снизить затраты на механическую обработку и сэкономить материал.

Разработан электронный банк данных об энергетических и машиностроительных материалах, содержащий данные по примерно 2,5 тыс. отечественных и 22 тыс. иностранных марок машиностроительных материалов, в который занесены стали различного класса, более 100 видов чугунов, 400 сплавов, применяющихся в энергетике, металлургии, транспорте, машиностроении.

Он включает сведения о химических, физических, механических и эксплуатационных свойствах материалов, фирмах-производителях и поставщиках продукции, видах поставки, технологических характеристиках – всего более чем о 300 параметрах [7, 8].

С начала 1970-х годов основным направлением деятельности ЦНИИТМАШ становится атомная энергетика, в которую ЦНИИТМАШ как специализированная и авторитетная организация был привлечен для разработки новых конструкционных материалов для корпусного оборудования, в первую очередь, корпуса реактора непосредственно сразу после принятия решения о сооружении первой отечественной реакторной установки с реактором ВВЭР-1000 (РУ ВВЭР-1000) на 5-ом блоке Нововоронежской АЭС со сроками разработки проекта в 1973–1974 гг. и вводом в эксплуатацию в 1976 г.

Постановлением Совета Министров СССР от 19 августа 1976 г. № 661, правительственным поручением от 21 июня 1977 г. № 10487 на ЦНИИТМАШ были возложены функции головной материаловедческой организации, которые были подтверждены письмом первого заместителя министра Российской Федерации по атомной энергии 30.07.2002 г. № 03-3822, по разработке и выбору основных и сварочных материалов для оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок; технологии производства (металлургия, обработка давлением, сварка, термическая и холодная обработка); по методам контроля качества и материаловедческого сопровождения в процессе проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации, ремонта, продления срока службы и вывода из эксплуатации АЭУ и исследовательских реакторов.

В этот период после выполнения комплекса НИР по изучению кинетики фазовых превращений, влияния легирования, способов выплавки, температурно-временных параметровковки и термической обработки на структуру, механические свойства и служебные характеристики (вязкость разрушения, циклическая прочность, радиационное и тепловое охрупчивание) в ЦНИИТМАШ была разработана уникальная по своим

возможностям малоуглеродистая низколегированная сталь марок 15Х2НМФА и 15Х2НМФА-А (с дополнительным ограничением содержания примесей). Сталь марки 15Х2НМФА-А, как более чистая по содержанию примесей, предназначалась для металла корпуса, расположенного напротив активной зоны.

Уникальность новой стали с ярко выраженным карбидным упрочнением состоит в возможности снять термической обработкой (закалкой с отпуском) не только наследственность крупного аустенитного зерна, образующегося в заготовках при многократных нагревах под ковку и особенно под выштамповку патрубков, но и достичь оптимального соотношения между уровнем прочностных и вязких свойств.

В отличие от зарубежной практики, где при изготовлении корпусов реакторов применялась технология приварки патрубков к корпусу, в ЦНИИТМАШ была разработана и внедрена в производство технология выштамповки патрубков, существенно повышающая эксплуатационную надежность конструкции реактора в целом. Аналогичная технология была разработана также и для патрубков корпуса парогенератора.

Высокая технологичность новой стали в производстве обеспечивалась низким подогревом при сварке и наплавке, возможностью отдыха после сварки и наплавки взамен немедленного высокового отпуска после сварки.

В рамках проведения поисковых работ по обеспечению высокой радиационной стойкости стали в ЦНИИТМАШ впервые была разработана концепция создания стали повышенной чистоты, базирующаяся на применении при выплавке особо чистых шихтовых материалов (чистой первородной шихты марок 70ЖР-90ЖР или металлизированных шихтовых материалов в сочетании с чугуном ПВК). Реализация данной концепции при разработке стали марки 15Х2НМФА-А положила начало созданию нового поколения материалов, обладающих наряду с высокой радиационной стойкостью повышенным сопротивлением хрупкому разрушению. В частности, это в дальнейшем привело к созданию новой модификации стали 15Х2НМФА класс 1 с дополнительным ограниче-

нием по вредным примесям, обладающей повышенной радиационной стойкостью.

Для корпусов парогенераторов, коллекторов, трубопроводов, компенсатора объема, емкости САОЗ и другого оборудования РУ ВВЭР-1000 в ЦНИИТМАШ была разработана сталь марки 10ГН2МФА, а для корпусов контейнеров для транспортировки и хранения отработавшего ядерного топлива – сталь марки 09Н2МФБА.

Одновременно с разработкой сталей, сварочных и наплавочных материалов и обоснованием их применения для корпуса и крышки реактора, парогенераторов и другого корпусного оборудования в ЦНИИТМАШ совместно с Ижорским заводом была разработана комплексная технология изготовления этого оборудования по всем циклам металлургического передела (выплавка, внешняя обработка жидкого металла, разливка, ковка, штамповка, предварительная и окончательная термическая обработка), сварке, наплавке и контролю заготовок и готового оборудования.

Также необходимо отметить разработку в ЦНИИТМАШ уникальной технологии зонального электронагрева и термообработки монтажных стыков трубопроводов Ду850 с корпусами реактора и парогенератора РУ ВВЭР-1000.

В конце 1990-х годов Ижорские заводы получили заказ на изготовление оборудования РУ ВВЭР-1000 для АЭС «Бушер» в Иране (один блок), АЭС «Тяньвань» в Китае (два блока) и АЭС «Куданкулам» в Индии (два блока), что явилось дальнейшим стимулом для работ по повышению качества корпусных сталей. В частности, индийским заказчиком было выдвинуто требование отмены подогрева воды в гидроемкости системы аварийного охлаждения зоны, которое могло быть удовлетворено либо пересмотром конструктивных решений и внесением значительных корректировок в технический проект, либо существенным повышением качества металла, т.е. снижением нормативных значений величины критической температуры хрупкости металла обечаек зоны патрубков (сталь 15Х2НМФА-А) с -10 °С до -35 °С.

В результате реализации соответствующих мероприятий по данному направлению специалистами ЦНИИТМАШ совместно со специалистами

завода-изготовителя (к тому времени металлургическое оборудование Ижорских заводов было выделено в самостоятельное производство ОМЗ-Спецсталь) удалось решить поставленную задачу и получить на четырех заготовках обечаек зоны патрубков для АЭС «Куданкулам» величины критической температуры хрупкости от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это позволило ввести в технические условия для металла заготовок патрубковых обечаек нормативное значение $T_{\text{к0}} \leq -35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После выхода в 1976 г. аттестационного отчета в ЦНИИТМАШ в течение последующих 15–20 лет был проведен огромный объем дополнительных исследований, направленных на обоснование применения разработанных сталей и их сварных и наплавленных соединений для корпусного оборудования РУ ВВЭР-1000. Изучение металла штатных заготовок различного сечения (обечаек активной зоны, обечаек зоны патрубков, фланцев, штамповок крышки и днища) по сечению и высоте показало высокую степень однородности по химическому составу, однородности и изотропности структуры, механических свойств, критической температуры хрупкости, вязкости разрушения, характеристик циклической прочности.

Особое внимание было уделено изучению деградации свойств корпусных материалов в процессе длительного воздействия радиации, температур и напряжений. В результате этих исследований были определены механизмы радиационного и теплового охрупчивания, получены зависимости, позволяющие прогнозировать изменение свойств материалов на любом этапе эксплуатации

Для перспективного (типа ВВЭР-1100) корпуса реактора «АЭС-2006» корпусная сталь обеспечивает проектный ресурс в 60 лет со значительным запасом даже с учетом возможных 30 % флуктуаций по величине флюенса. Для дальнейшего повышения радиационной стойкости стали 15Х2НМФА класс 1 в начале 2000 г. были введены дополнительные ограничения по фосфору и меди ($P < 0,006\%$; $Cu < 0,06\%$), которые были успешно реализованы при изготовлении корпусов реакторов для АЭС в Китае и Индии.

Аттестацию и дополнительные исследования

конструкционных материалов для РУ ВВЭР-1000 специалисты ЦНИИТМАШ проводили в тесном сотрудничестве и при участии специалистов ОКБ «Гидропресс», Ижорских заводов, ИАЭ им. Курчатова, ЦНИИ КМ «Прометей», НИИАР, ИПП АН УССР, МИСиС и рядом других организаций.

Большой вклад ЦНИИТМАШ в развитие атомной энергетики России был отмечен в Указе Президента Российской Федерации № 556 от 27.04.2007 г. «О реструктуризации атомного энергопромышленного комплекса Российской Федерации», и ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» было включено в создаваемое ОАО «Атомный энергопромышленный комплекс» в качестве одной из головных организаций.

Список литературы

1. Рябков В.М. и др. Патент РФ № 2077611 «Способ обработки поверхностей и устройство для осуществления».
2. . Рябков В.М. и др. Патент РФ № 2149930 «Способ модификации поверхности металлических изделий и устройство для реализации способа».
3. Рябков В.М. и др. «Плазменная обработка поверхности металлических изделий в электролитах (ТЕР-технология) // Технология машиностроения. 2000г. №1.
4. Петриков С.А., Хаванов Н.Н. и др. Патент РФ на изобретение № 218052 от 06.06.2000 г. «Способ изготовления конвективной трубы теплообменного аппарата».
5. Петриков С.А., Хаванов Н.Н. и др. Патент РФ на изобретение № 2157494 от 20. 05.1998 г. «Сотовый теплообменный аппарат».
6. Хаванов Н.Н., Петриков С.А.. Патент РФ на изобретение № 2197683 от 19.12.2000 г. «Дымогарная труба теплообменного аппарата».
7. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд. // Под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003.
8. Каширский Ю.В., Колосков М.М. Информационный банк по машиностроительным и энергетическим материалам и режимам обработки // Тяжелое машиностроение. 2000. № 4.