

советские и финские энергетики завершают подготовку необходимых материалов для совместного проектирования АЭС с ВВЭР-1000. В этих материалах будет рассмотрен комплекс проблем, связанных с проектированием АЭС мощностью 1000 МВт, в том числе надежность и качество. Особое внимание на заседании было уделено развитию сотрудничества в области экономики и рационального использования топлива и энергии. Утверждена долгосрочная программа сотрудничества в указанной области. В программе, в частности, предусматривается сотрудниче-

ство в проектировании систем централизованного теплоснабжения городов и промышленных комплексов, оптимизация структуры классических теплогенерирующих установок с использованием атомных источников тепла, автоматизация и повышение надежности и экономичности работы ТЭС и АЭС.

Утвержден план деятельности рабочей группы на 1981 г. и подписан протокол о сотрудничестве в области энергии.

АГРАНОВИЧ М. Б.

Конференции, совещания

Всесоюзная научно-техническая конференция на «Атоммаше»

Конференция «Прогрессивные технологические процессы в атомном машиностроении» состоялась 22—24 января 1981 г. в Волгодонске. В ее работе участвовали около 220 специалистов 15 организаций, было представлено 58 докладов, освещающих технологические процессы изготовления комплектного реакторного оборудования на производственном объединении «Атоммаш». На пленарном заседании были зачитаны доклады, посвященные ключевым проблемам, состоянию и перспективам развития «Атоммаша» на период до 1990 г.

Проектирование и строительство «Атоммаша»

В докладе В. Г. Першина отмечались крайне сжатые сроки проектирования и строительства:
июль 1975 г. — начато сооружение главного корпуса
декабрь 1976 г. — введен производственный корпус № 3 в составе первой очереди «Атоммаша»
август 1978 г. — начато изготовление первого корпуса реактора и парогенератора ВВЭР-1000
декабрь 1979 г. — сдан в эксплуатацию второй пусковой комплекс, обеспечивающий ежегодное производство корпусного оборудования для АЭС суммарной мощностью 4 млн. кВт
февраль 1981 г. — изготовлен первый донской реактор с опережением установленного срока на 6 мес.

Отличительной чертой «Атоммаша» является то, что сооружение основных производственных площадей началось уже в процессе проектирования. Несмотря на организационные трудности, это дает существенный выигрыш во времени и обеспечивает применение наиболее передовой технологии. Первоочередными пусковыми комплексами явились производственные мощности по изготовлению основного оборудования реакторного блока с наиболее длительным технологическим циклом. Именно поэтому в первую очередь были задействованы производства по изготовлению корпуса реактора с циклом 644 дня, парогенератора — 463 дня. Первая очередь корпуса № 2 по производству механизмов СУЗ с технологическим циклом изготовления оборудования 390 дней будет введена в строй в 1981 г. Соответственно вторая очередь корпуса № 1 по выпуску перегрузочных машин, перегревателей и другого реакторного оборудования будет сдана также в 1981 г. «Атоммаш» оснащен оборудованием, обеспечивающим значительную технологическую мобильность при переходе на производство реакторных блоков усовершенствованного или даже нового типа. Предусмотрено применение ЭВМ для управления объединением, технологическими процессами и в инженерно-экономических расчетах.

Общая производственная площадь «Атоммаша» составляет 1 млн. м², площадь корпуса № 1 — 300 тыс. м², высота пролетов до 46 м, предусмотрено использование кранов грузоподъемностью 250, 400, 600 и 1200 т.

Технология изготовления реактора

В процессе изготовления первого корпуса реактора технологический цикл, как уже указывалось, был сокращен на 6 мес. Это обусловлено следующими факторами:

поточным принципом производства, при котором за счет рационального расположения оборудования в строгой технологической последовательности удалось вторе сократить транспортные операции с обрабатываемым изделием, и максимальной автоматизацией производства;

применением высокопроизводительных многооперационных станков с числовым программным управлением типа обрабатывающий центр и автоматических сварочных установок;

созданием заготовительного цеха с двумя отдельными линиями для централизованной разделки заготовок из черной и нержавеющей стали и обеспечение ими всех цехов объединения.

Технология изготовления реактора состоит из следующих операций: сварка с наплавкой, формообразование, термическая и механическая обработка, контроль. Поэтому в ходе проведения конференции была организована работа двух секций: сварки, термообработки и формообразования деталей, механической обработки и контроля.

Сварка и наплавка. Сварные и наплавочные операции в производстве реакторного оборудования составляют 45% общего объема. Поэтому при изыскании возможностей сокращения цикла изготовления реактора с 2,5 лет до двух специалисты «Атоммаша» немало резервов нашли в этих операциях. На конференции были рассмотрены и обсуждены вопросы, связанные с внедрением передовой технологии сварки: сварка толстостенных корпусов и сосудов толщиной до 400 мм из сталей аустенитного и перлитного класса (НПО ЦНИИТМАШ, «Пензхиммаш», «Атоммаш», МИНХ и ГП им. Губкина), сварочные материалы и технология автоматической сварки кольцевых швов большого диаметра на корпусном оборудовании АЭС (НПО ЦНИИТМАШ, «Атоммаш»), разработка и освоение различных способов приварки патрубков к корпусам оборудования АЭС (ПО «Ижорский завод», «Атоммаш»), антикоррозионная наплавка оборудования АЭС («Атоммаш», НПО ЦНИИТМАШ), устройства и оборудование для контроля зазора в процессе сварки (НПО ЦНИИТМАШ, Пензенский инженерно-строительный институт, Подольский машиностроительный завод им. Орджоникидзе), свойства сварных соединений (НПО ЦНИИТМАШ, «Атоммаш»).

На «Атоммаше» в полном объеме освоены автоматическая и ручная сварка корпусного оборудования с толщиной металла до 280 мм. На базе отечественного и мирового опыта эта технология получает дальнейшее развитие, в первую очередь в направлении автоматизации, которая подразумевает не только поддержание заданных параметров, но и их автоматическое регулирование в зависимости

от изменения геометрии разделки шва. Из запроектированных 3616 единиц технологического оборудования 1576 приходится на механическое, 1042 — на сварочное и 65 на термическое. Сварочное оборудование в большинстве уникальное.

Для хранения, подготовки и централизованного распределения сварочных материалов создан цех № 6 флюсов и электродов. Широкое применение нашло оборудование с числовым программным управлением для газовой и плазменной резки толстолистового металла и заготовок. Автоматизация сварки в первую очередь вызывает сокращение сроков выполнения отдельных операций при стабильном качестве. Автоматизирована приварка патрубков к корпусу реактора и парогенератора, в стадии завершения — приварка косых патрубков к парогенератору. За счет приварки кольцевых патрубков к корпусу реактора за одну операцию достигнуто сокращение технологического цикла на 156 ч.

До 30% трудоемкости сварочных работ составляет антикоррозионная наплавка внутренних поверхностей оборудования АЭС. На «Атоммаше» совместно с НПО ЦНИИТМАШ разработана и внедрена автоматическая наплавка под флюсом двумя ленточными электродами антикоррозионных покрытий. Освоение наплавки двумя сварочными головками по сравнению с дуговой обеспечивает поддержание электрошлакового процесса при сокращении в 1,5 раза длительности операции. На конференции указывались пути совершенствования наплавочных работ: использование ленточных электродов шириной 120 мм вместо применяемых сейчас 50-миллиметровых, внедрение однослойной наплавки вместо двухслойной, что вдвое уменьшает материало- и энергоемкость при сокращении времени наплавки.

Одним из направлений дальнейшего прогресса в технологии — сварка в узкую разделку. В частности, представители МЭИ сообщили о разработке ими нового способа электронно-лучевой сварки в узкую разделку больших толщин металла (250 мм и выше) горизонтальным лучком. Скорость сварки при этом 2,5—10 м/ч, что превосходит скорость электрошлаковой в 5—10 раз и автоматической многослойной под флюсом — в 10—15 раз.

В числе задач, требующих незамедлительного решения, указывались защита от коррозии сварочной проволоки и ленточных электродов, для чего требуется освоение производства сварочной проволоки с антикоррозионным покрытием или в кассетах и герметичной упаковке.

Большое значение специалисты «Атоммаша» придают внедрению в сварку ультразвукового контроля качества шва, проводимого по ходу процесса, а также разработке метода контроля толщины наплавки.

Термообработка. Крупногабаритные заготовки и узлы корпусного оборудования первого контура ВВЭР-1000 при изготовлении подвергаются многократной термообработке. От точности поддержания ее параметров, скорости нагрева и охлаждения, перепада температуры по объему печи зависят коробление изделия, остаточные напряжения, однородность свойств и т. п., влияющие на качество продукции. Термообработка крупногабаритных корпусных заготовок на «Атоммаше» осуществляется в уникальной газовой шахтной печи с импульсным газовым нагревом с системой автоматического поддержания заданного режима термообработки. Эксплуатационные характеристики печи: диаметр 10 м, глубина 7 м, время передачи заготовки из печи в закалочный бак 5—7 мин, поверхностная температура неравномерность при нагреве $\pm 10^\circ\text{C}$, выдержке $\pm 5^\circ\text{C}$, охлаждении $\pm 11^\circ\text{C}$. Температура воды в закалочном баке емкостью около 2000 м³ после закладки массивных заготовок возрастает не более чем на 5°C .

Термическую обработку корпусных сборок проводят в четырех газовых камерных печах с выкатным подом размером $10 \times 10 \times 25$ м. Будет смонтирована также горизонтальная печь. Печи оснащены импульсными горелками с системой автоматического поддержания заданного режима термообработки. Перепад температуры по поверхности

сადки при выдержке составляет не более $\pm 10^\circ\text{C}$. Комплексные исследования шахтной и камерной печей и их эксплуатация показали, что изделия после термообработки в них характеризуются однородностью и высокой стабильностью механических свойств. Ведутся исследования скоростной термообработки.

Одной из задач, которую предстоит решить в будущем, является освоение мало- и безокислительной термообработки для значительного сокращения угара металла и снижения трудоемкости зачистных работ по удалению окалины за счет разработки и применения специальных эмалей, наносимых на изделие перед термообработкой.

Термообработка на конференции обсуждалась почти в четверти докладов. С сообщениями и докладами выступили представители НПО ЦНИИТМАШ, ПО «Ижорский завод». Были рассмотрены вопросы термообработки крупногабаритных узлов и деталей для оборудования АЭС в условиях «Атоммаша» и связанные с ней другие проблемы (изменение свойств сталей и сплавов в процессе термообработки, прогнозирование прочностных свойств термически упрочняемых сталей разных классов и т. п.).

Формообразование. Этому вопросу на конференции было посвящено шесть сообщений, касающихся как текущей технологии формообразования «Атоммаша», так и перспективы ее развития (НПО ЦНИИТМАШ, МЭИ).

Ключевым листоштамповочным агрегатом «Атоммаша» является уникальный пресс усилием 15 000 т-сил, введенный в эксплуатацию в 1979 г. в составе второй очереди пускового комплекса. Пресс с большими резервами по производительности позволяет изготавливать днища корпусного оборудования ВВЭР-1000, в том числе реактора и парогенератора. Размер стола прессы 9×9 , а также другие его характеристики допускают производство корпусных элементов еще большего диаметра. Он оснащен системой электронного управления, обеспечивающей запрограммированные перемещения и выдержки, скорость прямого и обратного хода, работу в автоматическом режиме. С его использованием на «Атоммаше» ведутся работы по внедрению технологии вытяжки патрубков Ду 850 из обечайки реактора, которая разработана и успешно используется на ПО «Ижорский завод». Практика мирового реакторостроения не знает аналогов этой технологии.

Наиболее сложна и трудоемка технология кузнечных поковок, именно поэтому специалисты НПО ЦНИИТМАШ и «Атоммаша» работают над заменой кузнечных поковок заготовок обечаек листовым прокатом. При этом предполагается холодная вальцовка листового проката с последующей сваркой полученных полуколец. Выгоды несомненны: исключается сложная и трудоемкая операция по ковке обечаек, резко сокращаются припуски, механическая обработка и цикл изготовления корпусного оборудования.

На конференции были представлены и другие перспективные методы формообразования: представитель МЭИ сделал сообщение о применении электрохимической обработки в производстве крупногабаритных деталей, НПО ЦНИИТМАШ — об отливках из нержавеющей стали для корпусов насосов и задвижек АЭС. Решены многие технические вопросы изготовления литых обечаек, днища, патрубков корпусного оборудования.

Механическая обработка. По этому вопросу представители «Атоммаша» и НПО ЦНИИТМАШ сделали 100 сообщений, в которых рассматривались в основном вопросы технологии обработки крупногабаритных узлов и деталей из стали перлитного и аустенитного класса. При разработке технологии были заложены принципы поточного производства, расчленения операций на простейшие и максимальная автоматизация механической обработки. Для обработки крупногабаритных деталей как правило предусмотрены станки типа обрабатывающий центр с числовым программным управлением. На этих станках закрепленная деталь последовательно может быть подвергнута различным видам механической обработки: расточке, фрезерованию, сверлению отверстий, нарезке резьбы и т. п. Тем самым обеспечивается высокое и стабильное качество обра-

ботки, взаимозаменяемость деталей, сокращается время изготовления.

Проблемой, над которой работают специалисты «Атоммаша» и НПО ЦНИИТМАШ, является механизация и автоматизация операций зачистки и шлифования внутренних и наружных поверхностей корпуса реактора и другого корпусного оборудования в процессе изготовления.

Контроль. Система управления качеством

Общая продолжительность контрольных операций при изготовлении реакторного оборудования АЭС составляет 13,9% общего времени. При полном развитии «Атоммаша» контролироваться будет свыше 100 тыс. т металла. Объем выполняемого контроля в связи с ужесточением требований к надежности и безопасности АЭС имеет тенденцию к увеличению.

На конференции контролю и качеству было уделено большое внимание — сделано восемь сообщений представителями «Атоммаша», НПО ЦНИИТМАШ, Харьковского инженерно-строительного института, НПО «Дальстандарт», МЭИ. Эти же вопросы обсуждались в большинстве пленарных докладов.

Контроль и качество на «Атоммаше» отвечают современным требованиям ядерного класса. На заводе создана и продолжает совершенствоваться лабораторно-испытательная база с использованием разнообразных неразрушающих методов контроля, в том числе рентгеновских установок, линейных ускорителей и другой новейшей аппаратуры. На конференции сообщалось о прогрессивных методах контроля — акустической эмиссии (НПО «Дальстандарт», Харьковский инженерно-строительный институт), репрографии (Московский полиграфический институт), ультразвуковом спектральном методе (НПО ЦНИИТМАШ).

Всесоюзное совещание по радиационной физике твердого тела

Совещание, проходившее с 24 по 27 февраля 1981 г. в Звенигороде, было организовано АН СССР, ГКАЭ СССР, Научным советом АН СССР по проблеме «Радиационная физика твердого тела», Институтом физики АН СССР и ХФТИ. В его работе участвовали более 200 специалистов 65 научных и производственных организаций. В 15 пленарных докладах, а также в 180 оригинальных работах были затронуты все разделы радиационной физики. Рассмотрим вопросы радиационного материаловедения, представляющие наибольший интерес для ядерной энергетики.

В программном докладе В. Ф. Зеленского и др. были освещены основные проблемы современного радиационного материаловедения, приведены результаты облучения конструкционных материалов как в реакторах, так и в имитационных экспериментах. При этом отмечена определенная корреляция для распухания и высокотемпературного охрупчивания в этих условиях.

В пленарных докладах рассматривалось влияние облучения на механические свойства металлов (Ш. Ш. Ибрагимов), фазовые превращения (Л. Н. Лариков), структуру поверхностных слоев (М. И. Гусева и др.), структуру и свойства сверхпроводящих материалов (И. А. Наскидашвили), нуклеиновых кислот, белков и мембран (Э. Л. Андроникашвили). Весьма важный аспект — влияние газов на распухание конструкционных материалов — описывался в докладе Ю. В. Конобеева, методы и принципы машинного моделирования процессов образования радиационных дефектов, их миграции и дальнейшей эволюции — в докладе В. Л. Инденбома, В. В. Кирсанова и А. Н. Орлова. Радиационная физика полупроводниковых приборов затрагивалась в докладе В. И. Мордковича, ионных кристаллов — Ч. Б. Луцка.

В 1979 г. на «Атоммаше» внедрена комплексная система управления качеством продукции и утвержден стандарт предприятия. Предусмотрена автоматизированная система управления производством, базирующаяся на широком использовании электронно-вычислительной техники. Одной из функций этой системы является сбор и накопление в памяти ЭВМ результатов проводимых в процессе изготовления отдельных узлов и деталей испытаний и контрольных операций, начиная с входного контроля. Тем самым в памяти ЭВМ будут накапливаться и храниться в доступной форме исчерпывающие и объективные паспортные данные.

На «Атоммаше» начата работа по аттестации корпуса ВВЭР-1000 на знак качества. Одна из основных задач, которая должна быть решена при аттестации — поднять продукцию смежников до уровня технологии атомного машиностроения и «ядерного класса».

Производственные планы «Атоммаша»

В 11 пятилетке «Атоммаш» освоит производство комплектного оборудования реакторного блока с ВВЭР-1000 в составе: реактор, парогенераторы, емкости системы аварийного охлаждения активной зоны, механизмы СУЗ, компенсатор объема, сепаратор, перегрузочное оборудование, внутрикорпусные устройства. В этот период «Атоммаш» поставит семь комплектов для Южно-Украинской, Ростовской, Калининской и других АЭС. В 12 пятилетке будет производиться ежегодно шесть-семь реакторных блоков, а в 1990 г. «Атоммаш» выйдет на проектный уровень изготовления восьми блоков-миллионников ежегодно (Першин В. П. — Социалистическая индустрия, 1981, 30 января).

ОДОВЕВСКИЙ М. С.

В дискуссии выступил Ф. Г. Решетников, отметивший необходимость сосредоточения усилий на исследованиях радиационного охрупчивания, ползучести и распухания конструкционных материалов для реакторов на быстрых нейтронах.

Из стендовых докладов хотелось бы отметить группу работ по влиянию облучения ионами гелия (или другими частицами, вызывающими образование гелия в результате ядерных реакций) на структуру тугоплавких металлов (Ш. Ш. Ибрагимов, В. Д. Реутов и др.), высоконикелевого сплава X20H45M4B (С. А. Фабрицев, В. Д. Ярошевич) и графита (Т. Б. Ашрапов, Ю. Ф. Конотоп и др.), а также на изменение механических свойств материалов (Л. С. Ожигов, А. А. Пархоменко и др.). Интересный результат получили С. А. Фабрицев и В. Д. Ярошевич: гелий стабилизирует дислокационную сетку в высоконикелевом сплаве X20H45M4B и его взаимодействие с распеченными дислокациями облегчает зарождение гелиевых пузырьков в стянутых дислокационных узлах. Замедление скольжения и переползания дислокаций во время отжига и высокотемпературной деформации насыщенных гелием образцов нержавеющей стали и сплавов, важные для построения механизма высокотемпературного радиационного охрупчивания металлов, обсуждались и ранее (см., например, Агапова Н. П. и др. — Атомная энергия, 1976, т. 45, вып. 5, с. 314), и они нашли дальнейшее развитие в представленных на совещании работах.

Следует отметить значительное продвижение в области проводимых ХФТИ имитационных исследований радиационной ползучести, охрупчивания и распухания конструкционных материалов. Это продвижение достигнуто как путем совместных усилий экспериментаторов и теоре-