

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАМЕСТИТЕЛЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО
ДИРЕКТОРА АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА "НАУКА И ИННОВАЦИИ"
ГОСКОРПОРАЦИИ "РОСАТОМ"
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК А.В. ДУБА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: атомная энергетика, жизненный цикл изделия, "Росатом", свойства материала, аддитивные технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894362-364>

Характеризуя развитие производственных технологий применительно к атомной энергетике, необходимо учитывать, во-первых, весьма длительные сроки испытаний новых изделий, во-вторых, отсутствие возможности определять ресурс конструкции для каждого следующего этапа её жизненного цикла лишь из оценки текущего состояния при эксплуатации. Это значит, что в проектах для атомной энергетике мы должны обосновывать ресурс изделия на весь его жизненный цикл, и только в рамках этих нормативов может строиться научно-техническое развитие.

С учётом того, что Госкорпорация "Росатом" сейчас ориентируется на зарубежный рынок и имеет большую часть внешних заказов, недопустимо обходить вопросы новых тенденций, стандартов, новых расчётных технологий. Мы не можем не учитывать императив, который был объявлен президентом Соединённых Штатов Америки Б. Обамой: сокращение в 2 раза времени для внедрения новых материалов в изделия, производственные системы и процессы.

Для поддержания или опережения этих темпов наиболее актуальным следует считать, во-первых, решение задачи объективизации процессов на основе внедрения цифрового производства и цифровых двойников, во-вторых, расширение использования расчётов вместо краштестов. Более того, эти положения становятся основой новых нормативных документов, а быть лидером по производству продуктов и при этом не быть лидером в нормативных документах, на основе которых оценивается их безопасность и потребительские качества, можно только при ориентации на ограниченный рынок.

Переходя собственно к технологическим аспектам, следует осознать, что за счёт появления новых технологий происходит трансформация классического использования понятия "свой-

ства материала" в "свойства изделия". С этим уже сталкиваются все ответственные производители не только в энергетике, но и в авиации, судостроении, автомобилестроении, медицине и в других отраслях.

Мы исходим из того, что достигнутый уровень развития традиционных современных технологий действительно позволяет контролировать или убирать грубые несоответствия — дефекты. А для перспективного производства необходимо закладывать такие воздействия, которые адекватны механизмам формирования свойств материалов, то есть надо учитывать весь масштаб структуры, начиная от микромасштаба. Кроме того, мы обязаны принимать во внимание локальные взаимодействия, причём не только химические, но и энергетические. Соответственно, количество таких расчётов и точек в каждом материале кратно возрастает, а значит, появляются новые технологические и материаловедческие принципы, описание которых должно основываться на цифровизации, то есть значимости, достаточности и объективности информации для передачи состояния. Таким образом, при кратном увеличении факторов воздействия переход на научно обоснованные методы вычисления составов возможных кандидатных материалов, который базируется на комплексных моделях, включающих первопринципные расчёты, становится реальностью.

В общем виде этот подход можно описать, представив материал как многоуровневую систему "микро—мезо—макро". Он означает, что свойства материалов со сроком службы 60 и более лет должны определяться поведением структурных составляющих, формирование которых закладывается уже при кристаллизации, то есть начиная от классических фазовых переходов первого рода. Результаты показали, что существующее предкристаллизационное состояние при после-

довательном затвердевании обязательно включает относительно стабильные энергетические образования — кластеры. При этом уже на микро/нано уровнях необходимо учитывать, исходя из влияния на кластерную структуру, так называемые удобные и неудобные примеси, часть которых традиционно вообще не рассматривалась при разработке материалов и технологий производства. Причём учитывать в содержаниях, иногда находящихся на пределе технологических возможностей массового обеспечения и контроля. Нами выстроен ряд элементов P, Si, C, S, O, H, N, Al, Mn по степени их негативного влияния на создание первичной кристаллической структуры на основе железа. Аналогичные зависимости существуют и для сплавов на основе других элементов.

Соответственно, можно прогнозировать эффект воздействия на материал и даже путём относительно сложных расчётов посчитать его энергию за счёт резонанса, управляя таким образом структурой и размером кластеров. Исходя из этого, целью становится поиск параметров и эффективных способов энергетического воздействия (например, лазерным излучением, пучком ионов или нейтронов) и, как следствие, формирование первичной структуры вещества при кристаллизации. Новые технологии (часть из них наплавочные, аддитивные) весьма восприимчивы к излучению. Материаловеды и технологи традиционно пытались использовать его, но эффект был неоднозначным или незначимым вследствие диссипации в объёме.

Следующий уровень масштаба структуры — мезоуровень — подразумевает изучение материала с эффектом традиционных включений. В качестве примера представим феррито-мартенситные материалы (ФМ) для тепловой энергетики, когда за счёт изменения состава (с карбидов на нитриды) удалось снизить характерный размер величины упрочняющей фазы с 60 до 25 мкм, что позволило увеличить температуру эксплуатации ФМ с 610 до 650°C и достичь параметров суперсверхкритики. Полученные результаты можно рассматривать, с одной стороны, как расчёт, а с другой — как эксперимент: уменьшая размер упрочняющей фазы до 25 нм, мы повысили эксплуатационную температуру, тем самым кратно увеличив срок эксплуатации ФМ при классических температурах. Обращаю внимание, что и в первом, и во втором случае исходные расчёты существенно сократили время и затраты на экспериментальное подтверждение.

Далее рассмотрим эффект радиационного воздействия. Никогда в феррито-мартенситных

материалах при термическом воздействии образование упрочняющей G-фазы не обнаруживали и не прогнозировали, а при радиационном воздействии она проявилось. Выделяющиеся включения имеют размер примерно 15 нм, при этом распределены они фактически равномерно по всему объёму ФМ, это позволяет по-другому прогнозировать и управлять их свойствами. Данный механизм упрочнения, который ранее просто не учитывался, в настоящее время нельзя не использовать при прогнозе свойств и ресурса материала.

Широко применяемых в атомной энергетике методик макро моделирования и расчёта свойств изделий касаться не будем, поскольку они хорошо известны.

Более серьёзного отношения требует использование последовательных и аддитивных технологий. Обращаю внимание на следующие оценки: аддитивные технологии дают возможность повысить уровень крупноузловой сборки с 10 раз в 2021 г. до 30 раз (!) в 2035 г. и снизить затраты на производство деталей на 90 и 98% соответственно. Кроме того, аддитивные технологии — цифровые, то есть очень жёсткие. Это значит, что без объективизации описания и контроля каждого этапа производства получать изделия, имеющие в 10 раз меньшую массу при сохранении потребительских свойств, уже невозможно. Следовательно, без цифрового двойника прогнозировать результат и проводить последующую сертификацию изделий нецелесообразно.

На базе ПО "Логос" (Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики) в кооперации с Национальным исследовательским центром "Курчатовский институт", институтами Академии наук мы выстраиваем вычислительную платформу, требующую суперкомпьютерных вычислений. Это позволит оптимизировать структуры и получать изделия, в том числе с ячеистыми структурами, которые отвечают требуемым эксплуатационным свойствам, а также проводить полный цикл цифровых испытаний в течение трёх месяцев.

Обращаю внимание, что и этот продукт основан на многоуровневом подходе, изложенном в самом начале. Конечная цель — обеспечить к 2024 г. проведение цифровой сертификации как полноценного элемента цифрового двойника. При этом мы понимаем, что без непрерывной онлайн-передачи информации о фактическом состоянии материалов улучшать их надёжность в сжатые сроки будет невозможно. Таким образом, для сокращения требуемого времени обоснования ресурса все новые материалы, которые

мы предполагаем использовать в перспективных проектах атомной энергетики и энергетики в целом, должны быть включены в систему Больших баз данных. Без этого новые нормативы будут неэффективными. Это значит, что предска-

тельные вычисления (математическое материаловедение) наряду с ускоренными испытаниями становятся основой выбора кандидатных решений новых производственных технологий получения перспективных изделий.

**SPEECH OF THE FIRST DEPUTY CEO OF THE JOINT STOCK COMPANY
"SCIENCE AND INNOVATIONS" OF THE ROSATOM STATE CORPORATION
DOCTOR OF ENGINEERING SCIENCES A.V. DUB**

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: atomic energy, product life cycle, Rosatom, material properties, additive technologies.