

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Старостина Я.

Научный руководитель – Красулина Л.В., к.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

### **Изменение свойств материалов после облучения дозой радиации.**

Вокруг всех источников ионизирующих излучений создается биологическая защита для снижения потоков радиации до уровней, допускаемых санитарными нормами. Потоки излучений, падающие на защиту, на все конструкции и элементы установки, размещаемые в пределах защиты, весьма велики. Хорошей защитой от радиоактивных излучений являются экраны из тяжёлых металлов, в частности свинца и свинцовых материалов.

В результате длительного воздействия (годы, десятки лет) излучений на материалы их свойства меняются, и часто в нежелательном направлении.

В данной научной работе мы сообщим, об изменении интересующих свойств материалов и определим также, от чего зависят изменения свойств материалов при облучении их интегральным потоком или дозой радиации определенного энергетического спектра. Кроме того, мы определим, что же происходит с материалами после их облучения, а именно как происходит изменение размеров, увеличение плотности, увеличение предела прочности и многих других свойств. А также отметим влияние структуры материала на его радиационные деформации.

### **Металлы. Низко - и среднелегированные стали**

Специальные теплоустойчивые и жаропрочные стали используются для изготовления труб пароперегревателей, паропроводов и коллекторов, энергетических установок, работающих при температурах до 620° С.

Широко представлены данные по влиянию облучения на низкоуглеродистые теплоустойчивые и жаропрочные стали (молибденовые, никелевые, марганцевые, хромистые, никельмолибденомарганцевые), которые применяют для изготовления корпусов высокого давления реакторов.

### **Неметаллы**

**Минералы** - естественное сырье, из которого получают все известные конструкционные материалы.

При производстве некоторых материалов (керамика, бетон и др.) минералы используются без нарушения их кристаллической структуры, поэто-

му значительный интерес представляет информация о стабильности их свойств после облучения.

1. Минералы класса силикатов после облучения интегральным потоком нейтронов  $10 \text{ нейтрон/см}^2$  начинают изменять свойства. Степень изменения после облучения зависит от строения кристаллов и содержания  $\text{SiO}_2$ .

2. Минералы класса окислов в результате облучения нейтронами меняют свойства аналогично минералам класса силикатов, однако имеющиеся данные показывают, что при сопоставимых интегральных потоках нейтронов изменения в окислах существенно меньше, чем в силикатах.

3. Большей радиационной стойкостью обладают минералы с симметричной структурой, координационного и каркасного строения, класса окислов.

**Горные породы** – это естественные образования, состоящие обычно из нескольких минералов и обладающие характерными химическим и минералогическим составом, структурой и текстурой. Анализ полученных данных показывает, что в результате облучения интегральными потоками нейтронов все материалы, за исключением хромита, распухают – имеют положительные радиационные деформации.

Полученные данные следует рассматривать применительно к классам главных породообразующих минералов каждой данной породы: силикатам (гранит, базальт, песчаник, шамот), окислам (хромит, гематит) и карбонатам (известняк).

Большинство минералов, определяющих составы горных пород, после облучения изменяют свои свойства, однако эти изменения у разных минералов происходят в разной степени. Наибольшие изменения при облучении происходят с минералами класса силикатов, меньшие — с минералами класса окислов.

Горные породы в своем составе содержат минералы класса силикатов, окислов или карбонатов, поэтому вид и степень радиационных изменений, происходящих при облучении в горных породах, зависят от их минералогического состава.

Горные породы являются поликристаллическими, в ряде случаев полифазными и гетерогенными материалами, что при облучении приводит к анизотропии радиационных изменений по объему материала, поэтому величина радиационных изменений в горных породах в значительной степени зависит от их структуры, текстуры и особенно от степени кристаллизации.

### **Бетоны**

**Бетон** — многокомпонентный поликристаллический и полифазный материал, состоящий из вяжущего крупного и мелкого заполнителя. В качестве вяжущего на практике подавляющее распространение получил портландцемент. Мелким заполнителем служит естественный (речной или гор-

ный) песок, а также песок, получаемый дроблением тех или иных горных пород. Для приготовления крупного заполнителя обычных бетонов применяют магматические (гранит, диорит, габбро, базальт, и др.) и осадочные (известняк, песчаник) горные породы. В защитных бетонах в качестве заполнителя иногда используют метаморфические горные породы (серпентин), металлические руды (гематит, магнетит, хромит), а также искусственные материалы (шамот, карбид бора).

Бетоны на портландцементе и жидком стекле с заполнителями из десяти различных материалов (шамот, песчаник, серпентин, хромит, песок окский, борат кальция, гематит, гранит, кварц) и нескольких технологических составов облучались в экспериментальных каналах реактора БР-5 и АМ. Исследование влияния облучения интегральными потоками нейтронов до  $2 \cdot 10^{21}$  нейтрон/см<sup>2</sup> на бетоны с заполнителями из кварца, гранита, песчаника, серпентина, шамота, гематита и хромита показало, что все они изменяют свои свойства, за исключением раствора на хромите. В результате облучения все бетоны, за исключением хромитовых, увеличили свои линейные размеры. Сопоставление объемных радиационных деформаций заполнителей и выполненных на них бетонов после облучения равными интегральными потоками нейтронов показывает, что величина радиационных деформаций составов находится в сложной зависимости от вида заполнителя, его количества и крупности.

Прочность и деформативность бетонов после облучения изменяются. В результате облучения кристаллы минералов, применяемые в качестве заполнителей, имеют положительные радиационные деформации, которые служат причиной расширения бетонов. Расширение заполнителя приводит к структурным изменениям бетона. При малом количестве заполнителя расширение заполнителя может привести к уплотнению цементного камня и некоторому увеличению прочности состава.

#### **Бетон для защиты от радиации.**

Особо тяжелый бетон для защиты от ионизирующих излучений, включающий серу, модифицирующую добавку, наполнитель и заполнитель, отличается тем, что в качестве наполнителя содержит ферроборовый шлак, в качестве модифицирующей добавки - смесь парафина и сажи в соотношении 1:1 и дополнительно в качестве армирующей добавки асбестовое.

Основным материалом для одновременной защиты от  $\gamma$ - и нейтронного излучения являются особо тяжелые и гидратные бетоны. Поскольку гидраты, задерживающие поток нейтронов, содержатся в цементном камне, то основное назначение тяжелых заполнителей — поглощение  $\gamma$ -лучей.

В качестве заполнителей применяются барит, железные руды, металлолом, магнетит, или магнитный железняк, гематитовые руды.

Лимонит, или бурый железняк, содержит гидроксид железа, т. е. может быть средством защиты как от  $\gamma$  - лучей, так и от нейтронов.

Для получения особо тяжелых бетонов плотностью 5000 ... 7000 кг/м<sup>3</sup> применяют чугун в виде дроби, крошки и скрапа (крупного лома), а также в виде обрезков, отходов от штамповки, дробленой стружки.

Необходимо учитывать воздействие нейтронного излучения на свойства заполнителей. Во-первых, поглощение нейтронов ядрами атомов возможно вторичное  $\gamma$  - излучение. Это особенно характерно для железа. Поэтому железный лом и руды не всегда могут быть использованы. В этом отношении предпочтителен барит, не дающий вторичного  $\gamma$  - излучения. Во-вторых, нейтроны при столкновении с ядрами атомов могут нарушить их равновесное положение в кристаллической решетке.

При выборе заполнителя тяжелого бетона, используемого, например, для радиационной защиты и строительства атомных электростанций, решающее значение имеет вид радиационного излучения. Так, для защиты от  $\gamma$  - излучения следует применять бетон самой высокой плотности. Поэтому в качестве заполнителей используют, прежде всего, барит, магнетит и фосфористое железо. Для защиты от нейтронного излучения, наоборот, больше подходит бетон, содержащий легкие элементы, лучше всего в виде водородсодержащих соединений. В этом случае наиболее приемлемым заполнителем является лимонит. Применение ферроборового шлака, содержащего бор, позволяет значительно повысить прочность и защитные свойства особо тяжелого бетона к нейтронному излучению.

Собственная прочность заполнителей, используемых для тяжелого бетона, должна быть выше прочности на сжатие требуемой от бетона. Они не должны содержать вредных примесей, например органических загрязнений, угля, серы и т.д.

### **Выводы**

1. Цементный камень является радиационностойким материалом, имеющим отрицательные радиационные деформации.
2. Радиационные деформации бетонов зависят от радиационной деформативности заполнителя, его гранулометрии, количества, а также интегрального потока нейтронов.
3. Прочность и деформативность бетонов после облучения зависят от собственных радиационных деформаций, количества, гранулометрии и текстуры заполнителя.
4. В результате облучения температурная деформативность и теплопроводность бетонов снижаются.
5. С ростом интегрального потока нейтронов снижаются температурные напряжения, параллельно с этим растут радиационные деформации материала и, следовательно, зависящие от них напряжения.

6. Уменьшение теплопроводности бетона при облучении приведет к увеличению температуры в защите со стороны источника радиации, что может увеличить отжиг радиационных дефектов.

При проектировании любых приборов, агрегатов и устройств, узлы и элементы которых в процессе эксплуатации подвергаются ионизирующему облучению, необходимо применять материалы, которые при облучении их потоком определенного вида излучения сохраняют физико-технические, теплофизические и диэлектрические свойства в заданных пределах.

Одним из наиболее распространенных материалов для защиты от  $\gamma$ -лучей является свинец. С точки зрения минимального веса защитных экранов выгоднее всего выбирать материал большей плотности с большим атомным весом. Конечно, хорошими материалами, помимо свинца, являются также тяжелые вещества: уран, торий, висмут, вольфрам, золото, платина, ртуть. В тех случаях, когда вес и компактность не играют существенной роли, как например, в стационарных защитных стенках, используются строительные материалы: бетон, кирпич, железобетон, дерево. Для защитных экранов из местных строительных материалов применяют металлы, бетоны, растворы, грунты, природные и искусственные каменные и керамические материалы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Радиационная стойкость материалов: справочник/ В.Б.Дубровский, П.А.Лавданский [и др. ]; под общ.ред. Дубровский В.Б. – Москва, 1973.
2. Радиация вокруг нас / Ю.М.Божин, 2011.
3. Uranium 2007. Resources. Production and Demand// CECO.2008