

ХРОНИКА, ИНФОРМАЦИЯ, РЕКЛАМА

Оценка термоциклического нагружения в узле приварки “горячего” коллектора к патрубку парогенератора ПГВ-1000

Г. В. Степанов^а, В. В. Харченко^а, А. И. Бабуцкий^а, О. Я. Зинченко^б,
Н. А. Феофентов^в, С. В. Романов^г

^а Институт проблем прочности НАН Украины, Киев, Украина

^б Национальная атомная энергогенерирующая компания “Энергоатом”, Киев, Украина

^в Обособленное подразделение “Южно-Украинская АЭС”, Южноукраинск, Украина

^г Ассоциация “Надежность машин и сооружений”, Киев, Украина

Безопасная эксплуатация атомных энергетических установок невозможна без обеспечения прочности их оборудования и трубопроводов с учетом реальных условий нагружения. В связи с этим понятен интерес специалистов в области прочности материалов к каждому случаю возникновения повреждений типа трещин в элементах оборудования.

В узле приварки “горячего” коллектора к патрубку парогенератора ПГВ-1000 АЭС с реактором ВВЭР-1000 обнаружены трещины при эксплуатации в пределах расчетного срока службы. По результатам проведенных исследований причина возникновения повреждений не выяснена. Тот факт, что все обнаруженные повреждения (трещины) были локализованы практически в одном и том же месте на узлах приварки “горячего” коллектора теплоносителя к патрубку свидетельствует в данном случае о наличии общего фактора нагружения, действующего в узле и не учитываемого ранее в прочностных расчетах.

Узел приварки “горячего” коллектора к патрубку парогенератора (рис. 1) является одним из наиболее нагруженных. При выполнении прочностных расчетов узла его нагружение принимается статическим (повторно-статическим), и к главным составляющим нагрузки относят давление в первом и втором контурах, а также усилия, действующие со стороны главного циркуляционного трубопровода.

Анализ технической, конструкторской и эксплуатационной документации, а также численные расчеты напряженно-деформированного состояния узла приварки позволили выявить дополнительное термоциклическое нагружение, которое может быть ответственным за возникновение и прорастание обнаруженных трещин, поскольку отсутствие финишной обработки внутренней поверхности сварного шва узла не обеспечивает его работу при циклическом нагружении.

Некоторые результаты расчетов термоциклического нагружения в области сварного шва приведены ниже.

© Г. В. СТЕПАНОВ, В. В. ХАРЧЕНКО, А. И. БАБУЦКИЙ, О. Я. ЗИНЧЕНКО, Н. А. ФЕОФЕНТОВ, С. В. РОМАНОВ, 2002

Расчетная модель учитывает, что элементы узла приварки прогреваются неравномерно (температура теплоносителя в первом контуре составляет 320°C , температура среды во втором контуре – 272°C). В результате градиента температур в узле возникают термонапряжения.

Указанная ситуация осложняется тем, что в силу конструктивных особенностей данного узла в его кармане (кольцевом зазоре между коллектором и патрубком парогенератора – рис. 1) в процессе эксплуатации накапливаются продукты коррозии с увеличенной концентрацией коррозионно-активных элементов, в частности меди. Для их выведения применяется периодическая продувка водой несколько раз в сутки. В результате такой продувки водой, температура которой ниже температуры теплоносителя в первом контуре, возникает режим термоциклирования на поверхности кармана. Интенсивность термоциклирования зависит в первую очередь от разности температур теплоносителя в первом контуре и продувочной воды.

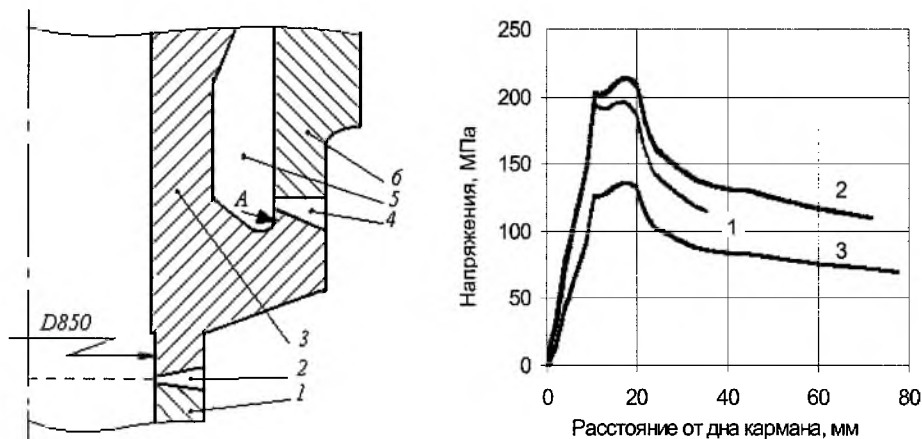


Рис. 1. Узел приварки: 1 – главный циркуляционный трубопровод; 2, 4 – сварной шов; 3 – коллектор; 5 – карман; 6 – патрубок парогенератора; А – место инициирования разрушения.
Рис. 2. Напряжения в направлении оси патрубка на его внутренней стенке при нагружении рабочим давлением без учета влияния температуры (1) и с учетом: “карман холодный” (2) и “карман горячий” (3).

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния узла приварки с учетом вышеизложенного приведены на рис. 2. Расчет выполняли методом конечных элементов в осесимметричной постановке, решая связанную термоупругую задачу. Рассматривали следующие варианты нагружения: только давлением без учета влияния температуры и давлением с учетом разности температур теплоносителя и продувочной воды. При этом принимали, что давление в первом и втором контурах составляет соответственно 16 и 6 МПа, разность температур равна 40°C (на практике она может быть выше). Режим “карман горячий” соответствует предполагаемому состоянию между продувками, режим “карман холодный” – состоянию во время продувки.

Из результатов расчетов видно, что внутренняя стенка патрубка работающего парогенератора в области галтельного перехода (место инициирования разрушения) во время продувки испытывает растяжение, и уровень

возникающих напряжений в направлении оси вращения патрубка достигает 214 МПа. В период между продувками температура в кармане повышается, вызывая снижение общего уровня напряжений. Максимальная расчетная амплитуда изменения напряжения в области галтельного перехода узла приварки коллектора к патрубку парогенератора в результате периодических продувок кармана составляет 78 МПа. Следует учитывать, что галтельный переход находится в непосредственной близости от сварного шва, который не подвергается финишной обработке со стороны кармана и может иметь дефекты сварки в виде непроваров, раковин и т.п., а на самом галтельном переходе наблюдаются подрезы от грубой механической обработки. Вследствие концентрации напряжений в области таких дефектов значения напряжений могут превышать предел текучести, что в условиях действия циклических нагрузок от периодических продувок может приводить к зарождению и распространению усталостных трещин.

Таким образом, результаты расчетов свидетельствуют о необходимости учета термоциклического нагружения при оценке работоспособности узла приварки “горячего” коллектора к патрубку парогенератора.