«АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ», Т. 32, ВЫП. 6 (ИЮНЬ 1972)

Расчет термического сопротивления стягивания при контакте пластин, омываемых теплоносителем

В. В. ХАРИТОНОВ, Л. С. КОКОРЕВ, В. К. ЮРЕНКОВ

УДК 621.039.517

Тепловая проводимость при контакте сердечника с оболочкой твэла ядерного реактора складывается из проводимости фактического касания и проводимости среды в зазоре *. Сопротивление стягивания — обратная величина проводимости фактического касания — в расчетах принимается обычно таким же, как и при контакте полубесконечных тел. Математический анализ влияния толщины оболочек и условий внешнего теплообмена на величину термического сопротивления стягивания $R_к = \frac{\vartheta_к}{q}\frac{\lambda}{b}$, проведенный в настоящей работе, показал, что это влияние может иметь существенное значение для тонкостенных оболочек (в кольцевых и пластинчатых твэлах), в особенности при полосовом контакте. Здесь q — номинальный тепловой поток, *вт/м²*; $\vartheta_к$ — температурный напор, вызванный стягиванием линий тока тепла к местам фактического касания, °С; λ — теплопроводность материала оболочки, *вт/м·град*; b — полуширина (радиус) эквивалентной ячейки.

Величина термического сопротивления стягивания равна в этом случае сумме $R_\infty + \Delta R$, т. е. величине сопротивления, соответствующего контакту полубесконечных тел:

$$R_\infty = \begin{cases} -\dfrac{2}{\pi}\ln\sin\dfrac{\pi}{2}\eta & \text{для полос;} \\[2ex] \dfrac{8}{3\pi}\dfrac{(1-\eta)^{3/2}}{\eta} & \text{для пятен,} \end{cases}$$

и величине добавки, отражающей влияние толщины и внешнего теплообмена, численный расчет которой выражается приближенными формулами:

$$\Delta R = \begin{cases} \dfrac{2}{\pi}\dfrac{(1-\mathrm{th}\,\pi\delta)(\pi\delta - Bi)}{Bi + \pi\delta\,\mathrm{th}\,\pi\delta}(1-\eta)^{3/2}(1+e^{-8\delta}) & \text{для полос;} \\[2ex] 2\dfrac{(1-\mathrm{th}\,3{,}8\delta)(3{,}8\delta - Bi)}{Bi + 3{,}8\delta\,\mathrm{th}\,3{,}8\delta}(1-\eta)^2 & \text{для пятен.} \end{cases}$$

$$\delta = l/b \geqslant 0{,}1;\quad \eta = a/b \leqslant 0{,}4;\quad 0 \leqslant Bi \leqslant \infty.$$

Здесь $Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}$ — критерий Био, в котором α — коэффициент теплоотдачи, *вт/м²·град*; a — полуширина или радиус площади касания. В области значений толщины $\delta = l/b$ более 0,1 ($2b$ — расстояние между полосами или пятнами контакта) при любой величине критерия Био и при относительной площади касания $\eta \leqslant 0{,}4$ эти выражения дают погрешность менее 15%.

Эта добавка по абсолютной величине быстро убывает с ростом толщины тела. С погрешностью, не превышающей 10%, добавкой можно пренебречь при любых значениях критерия Био и относительной площади касания, когда толщина оболочки превышает 1/3 расстояния между полосами или пятнами контакта.

В качестве иллюстрации изложенных результатов приводится пример: при контакте двух оболочек с одинаковой толщиной $\delta = 0{,}1$, когда $\lambda = 25$ *вт/м·град*, $q = 10^5$ *вт/м²*, $\eta = 0{,}02$, и при шаге волнистости $b = 2{,}5\cdot10^{-3}$ *м* падение температуры на контакте для Bi, равном 0,1 и 10, имеет значение соответственно 60 и 32° С, т. е. наблюдается разница в два раза.

(№ 585/6508. Поступила в Редакцию 12/VI 1971 г. Полный текст 0,4 а. л., 3 рис., 10 библиографических ссылок.)

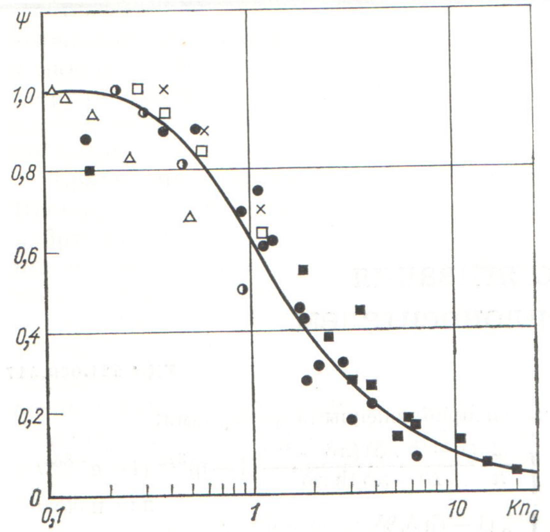
* Н. Н. Дельвин и др. См. следующую статью.

Проводимость контакта цилиндрических тел в плотных и разреженных газовых средах

Н. Н. ДЕЛЬВИН, Л. С. КОКОРЕВ, Я. А. БЫЧКОВ, Е. К. ШМАЧКОВ

УДК 621.039.517.5

При расчете полной величины проводимости контакта $\alpha_к$ между сердечником и оболочкой твэла ядерного реактора возникают проблемы, связанные с учетом зависимости проводимости фактического контакта $\alpha_ф$ от температурного поля в твэле и наличия газовой среды в межконтактных зазорах. В работе [1] рассмотрены характеристики связи между контактными давлением и проводимостью для различных режимов сборки и работы твэлов.



Зависимость эффективной проводимости газовой прослойки от степени разрежения газа: ——— — расчет по уравнению

$$\Psi=\frac{\alpha_{г}^{эфф}}{\alpha_{го}^{эфф}}=1-\exp\left(-\frac{1}{Kn_0}\right).$$

Данные авторов настоящей статьи для аргона: ● — δ = const, ■ — цирконий — ст. 30. Данные работы [3] для контакта алюминий — алюминий: × — воздух, ◑ — водород, □ — гелий; для контакта уран — алюминий: △ — водород.

В данной работе показано, какой вклад в общую проводимость контакта между тепловыделяющим сердечником и охлаждаемой теплоносителем оболочкой вносит проводимость газовой среды $\alpha_{г}^{эфф}$ и как ее величина зависит от степени разрежения газа.

В литературе отсутствуют данные исследований, посвященных решению этих вопросов применительно к условиям твэла ядерного реактора, и имеются лишь единичные работы [2, 3], учитывающие влияние давления газа на величину $\alpha_{г}^{эфф}$.

Первая задача решалась на аналоговой математической машине УСМ-1. Варьировались свойства среды, заполняющей зазор, и профиль этого зазора. Получено, что с погрешностью не более 15% величину полной проводимости контакта можно рассчитывать по формуле

$$\alpha_{к}=\alpha_{ф}+\alpha_{г}^{эфф}.$$

Эффективная проводимость для плотной газовой среды в зазоре $\alpha_{го}^{эфф}$ может быть аппроксимирована уравнением (до значений $\eta \leqslant 0,4$)

$$\alpha_{го}^{эфф}=\frac{\lambda_{го}}{\delta_{эфф}}=\frac{\lambda_{го}}{\bar{\delta}\,(1-\eta)\,(1-\varepsilon)},$$

где $\lambda_{го}$ — коэффициент теплопроводности континуального газа; η, ε — относительные величины площади фактического контакта и сближения тел соответственно; $\bar{\delta}$ — средняя высота зазора.

Путем использования известных положений молекулярно-кинетической теории газов получено уравнение для функции Ψ, определяющей зависимость величины $\alpha_{г}^{эфф}$ от разрежения газа:

$$\Psi=\frac{\alpha_{г}^{эфф}}{\alpha_{го}^{эфф}}=1-\exp\left(-\frac{1}{Kn_0}\right),$$

где $Kn_0=\dfrac{\Lambda}{\delta_{эфф}}$ — критерий Кнудсена; Λ — средняя длина свободного пробега молекул газа в неограниченном объеме.

Проведена также экспериментальная проверка предложенной аналитической зависимости в условиях кольцевого зазора, заполненного газом, и при непосредственном контакте цилиндрического сердечника и оболочки. Измерения проводились в нестационарном тепловом режиме с использованием индукционного метода нагрева сердечника.

Опытные данные, полученные в данной работе и имеющиеся в литературе, удовлетворительно описываются функцией Ψ (Kn_0) (см. рисунок). Среднее различие расчетных и экспериментальных результатов составляет ±20%.

(№ 586/6562. Поступила в Редакцию 20/VIII 1971 г. Полный текст 0,8 а. л., 6 рис., 2 табл., 11 библиографических ссылок.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Дельвин, Л. С. Кокорев. В сб. «Вопросы теплофизики ядерных реакторов». Вып. 3. М., Атомиздат, 1971, стр. 62.
2. Р. С. Прасолов. К расчету теплового сопротивления зоны контакта твердых тел. «Атомная энергия», 24, 86 (1968).
3. F. Boeschoten, E. Van Der Held. Physica, XXIII, № 1, 37 (1957).

Метод оптимизации некоторых характеристик металло-водородных защит

Ю. Н. БОРИСОВ, А. А. ГОРДЕЕВ, О. Я. ШАХ

УДК 621.039.538.7

Описан метод расчета оптимизации гетерогенных защит одномерной цилиндрической геометрии, состоящих из чередующихся слоев легкого (нейтронная защита) и тяжелого компонентов.

Расчет пространственно-энергетического распределения потоков нейтронов производится многогрупповым методом, аналогичным описанному в работе [1]. Изменение составляющих мощности дозы, обусловленное γ-излучением, на каждом шаге итерационного процесса оптимизации описывается экспоненциальным ядром. Подобный подход является достаточно оправданным при выполнении следующих допущений:

1. Толщины слоев нейтронной защиты между слоями тяжелого компонента должны быть достаточно боль-