

КРИТИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ПРИ КИПЕНИИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ

Г. И. Бобрович, И. И. Гогонин, С. С. Кутателадзе, В. Н. Москвичева

(Новосибирск)

Возникновение пленочного кипения связано с нарушением гидродинамической устойчивости кипящего граничного слоя [1] и имеет большое практическое значение для расчетов высокофорсированных установок.

Исследованию критических потоков в бинарных смесях посвящены работы Ван-Вийка и Ван-Стралена [2-4] и В. Г. Фастовского и Р. И. Артыма [5].

Опыты проводились с проволоками диаметром от 0.2 до 0.5 мм. Большая часть опытов проведена при атмосферном давлении.

В опытах нидерландских исследователей измерения проводились также при вакууме и давлениях до 50 атм. В качестве теплоносителей использовались: вода-изоамиловый спирт, вода-нормальный бутиловый спирт, вода-изопропиловый спирт, вода-метилэтилкетон, вода-ацетон, вода-аммиак и др. В этих опытах было обнаружено, что при небольших присадках низкокипящего компонента происходит заметное увеличение значения критического теплового потока q_* , соответствующего переходу от пузырькового режима кипения к пленочному.

Наибольшее увеличение наблюдалось при низких давлениях (до 5-7 атм). Для системы вода-пентанол при этих давлениях критическое значение q_* возрастало примерно в 2-2.5 раза по сравнению с соответствующей величиной для чистой воды.

С повышением давления максимальное критическое значение q_* сдвигалось в область больших концентраций легкокипящего компонента.

Так, для 1 атм максимум q_* получался при 2% концентрации пентанола, а для 42 атм при 18-22%.

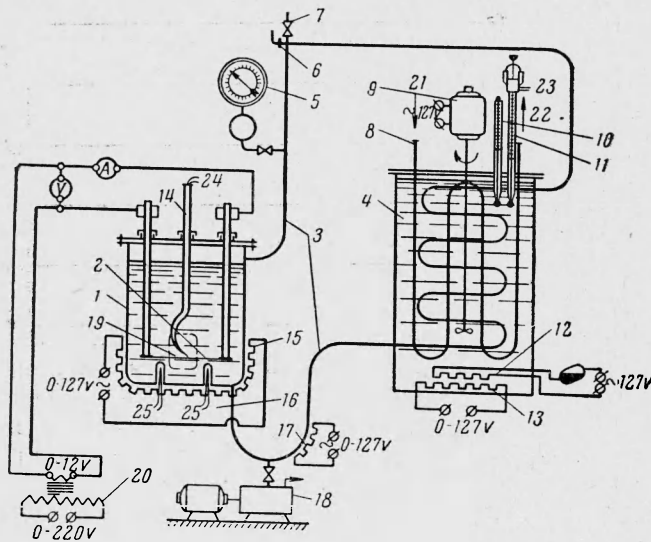
Ван-Стрален исследовал влияние материала проволоки на изучаемый эффект. Применялись платина, серебро, медь, никель, железо, вольфрам, константан, нихром, оксидированный никель. Эти опыты велись при атмосферном давлении и не обнаружили заметного влияния материала поверхности нагрева.

В опытах В. Г. Фастовского и Р. И. Артыма данные по q_* для чистых жидкостей хорошо совпали с формулой С. С. Кутателадзе — В. М. Боришанского [6].

Хорошо известно, что размеры поверхности нагрева весьма незначительно влияют на величину критического теплового потока при кипении в большом объеме однородной жидкости [1]. Однако для бинарных смесей это обстоятельство требовало проверки тем более, что на проволоках были получены весьма эффектные результаты.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на фиг. 1, где 1 — барабан-кипятильник; 2 — экспериментальный участок; 3 — система паротрубопроводов; 4 — конденсатор-термостат; 5 — образцовый манометр; 6 — предохранительное устройство; 7 — воздушник; 8 — водяной змеевик; 9 — мотор-мешалка; 10 — контрольный термометр; 11 — контактный термометр; 12 — нагреватель-регулятор температуры масла; 13 — вспомогательный нагреватель; 14 — подвижная термопара; 15 — нагреватель барабана-кипятильника; 16 — термопары для замера температуры жидкости; 17 — вспомогательный подогреватель конденсата; 18 — форвакуумный насос; 19 — смотровое окно; 20 — понижающий трансформатор; 21 и 22 — подвод и отвод охлаждающей воды; 23 — провода к реле; 24, 25, 26 — подача к потенциометру. Вся установка изготовлена из нержавеющей стали. Диаметр кипятильника 120 мм. Барабан снабжен смотровыми окнами, позволяющими вести визуальные наблюдения за процессом и производить киносъемки. Размер окон 20 × 50 мм.

Рабочая поверхность нагрева изготовлялась из нихрома в виде проволоки диаметром 0.5 мм и пластинок шириной 6 мм. Длина рабочего участка была около 60 мм. Проволоки и пластинки припаивались к медным токопроводам.



Фиг. 1

Термостатирование установки проводилось при помощи вспомогательных нагревателей и конденсатора. В последнем в качестве промежуточной среды применялось цилиндрическое масло 52 с температурой вспышки 320°C . Конденсат, возвращавшийся в кипятильник, подогревался до температуры насыщения вспомогательным нагревателем, работа которого контролировалась специальной термопарой.

Рабочий участок нагревался пропуском через него электрического тока.

Проведение опытов. Обычно сразу монтировались два рабочих участка — проволока и пластина. Последняя ставилась на ребро или горизонтально.

В большинстве случаев горизонтальная пластина обогревалась и сверху, и снизу, т. е. ее нижняя часть не была теплоизолирована.

Перед заполнением установка вакуумировалась при помощи форвакуумного насоса ВН-461. Установка заполнялась до уровня, фиксировавшегося по смотровым окнам. После заполнения включались вспомогательные нагреватели и давление в установке поднималось до заданной величины.

Давление контролировалось образцовыми манометрами класса 0.35.

Температура насыщения в барабане кипятильника определялась по показаниям термопары из хромель-алюмеля диаметром 0.15 мм. Термопары имели индивидуальную градуировку, проведенную в Ленинградском институте метрологии. Э. д. с. измерялась потенциометром ППТН-1 с гальванометром ГПЗ-2 и полуавтоматическим потенциометром Р2/1.

При доведении смеси до нужного давления включался рабочий участок и на нем постепенно наращивалась мощность.

При малых концентрациях легкокипящего компонента в момент кризиса поверхность нагрева перегорала вследствие высоких значений ΔT .

При больших концентрациях поверхность нагрева сохранялась и на ней возникало развитое пленочное кипение. Момент наступления кризиса фиксировался весьма отчетливо по изменению сопротивления рабочего участка вследствие увеличения его температуры при возникновении пленочного кипения. Величина критического теплового потока определялась по показаниям приборов перед моментом возникновения пленочного кипения.

Напряжение на рабочем участке измерялось астатическим вольтметром АВН с пределами 1.5—3.0—7.5 в и вольтметром АМВ с пределами 7.5—15—30—60 в. Ток измерялся астатическим амперметром с трансформатором тока УТТ-6.

Результаты опытов с водным раствором ненормального бутилового спирта представлены в виде зависимости q_* в $\text{ккал}/\text{м}^2 \text{ час}$ от концентрации в % по весу на фиг. 2 для давления 11 и 31 ата.

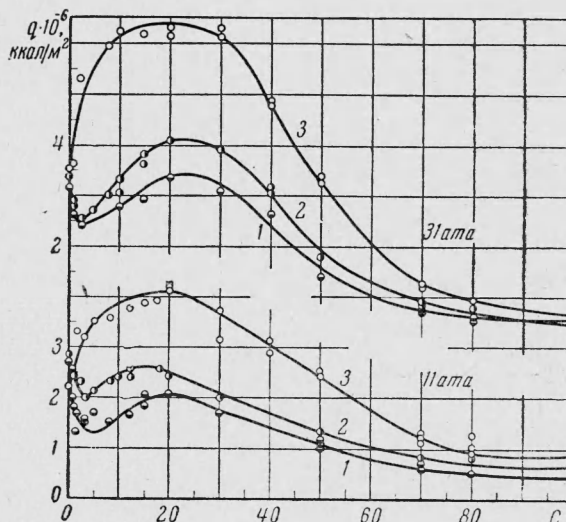
При этом кривые 1 соответствуют пластинам, поставленным горизонтально, кривые 2 — пластинам, поставленным на ребро, кривые 3 — проволочкам.

Верхние кривые 3 относятся к проволочкам и полностью подтверждают результаты исследований лаборатории Ван-Вийка. Наблюдается отчетливое возрастание величины критического теплового потока и при концентрации спирта около 25% значение q_* почти в 1.5 раза выше, чем для чистой воды.

Совершенно иной характер имеет эта зависимость для пластин. Как для пластины, поставленной на ребро (кривые 2), так и для пластины, поставленной горизонтально (кривая 1), вначале наблюдается уменьшение критического теплового потока с увеличением концентрации спирта. Минимум критического значения q_* лежит примерно при 2—3% концентрации спирта.

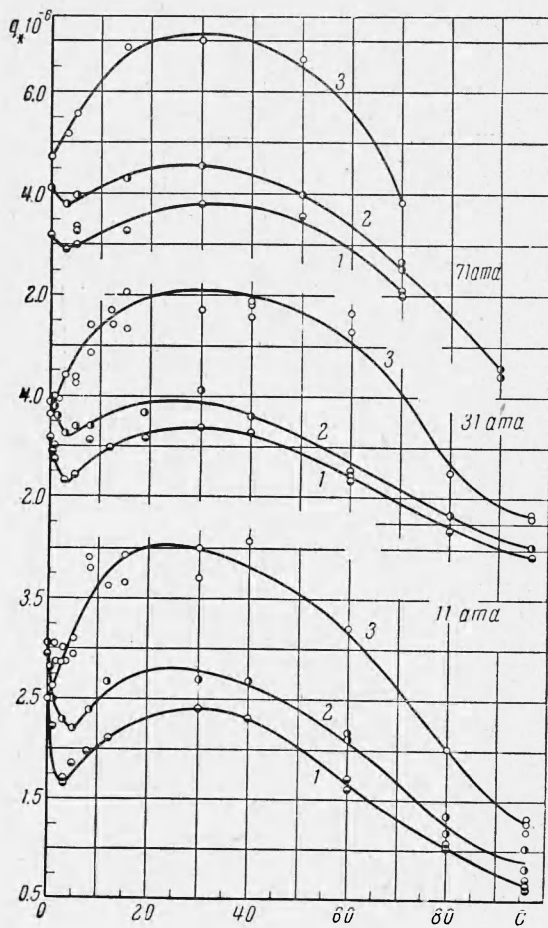
Далее критическая тепловая нагрузка возрастает и достигает максимума при 15—20% концентрации спирта. Однако этот максимум по абсолютной величине того же порядка, что и значение q_* для чистой воды.

Значения q_* для горизонтальной пластины несколько ниже, чем для поставленной на ребро, в связи с тем, что кипение на нижней плоскости пластины создает затруднения для эвакуации пузырей и тем способствует более раннему возникновению пленочного кипения. Этот эффект ранее уже наблюдался в опытах С. С. Кутателадзе и В. М. Борищанского.



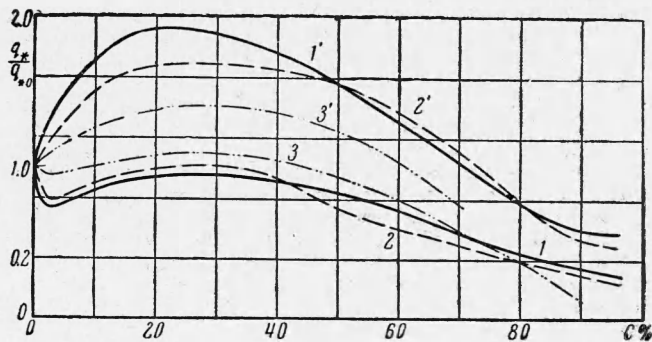
Фиг. 2

Данные для проволоки количественно удовлетворительно согласуются с данными Ван-Стралена для кипения смеси воды с бутаном при давлении около 10 атм.



Фиг. 3

Проведенные опыты показали, что влияние концентрации растворенного в воде спирта на критическую плотность теплового потока при кипении значительно сложнее, чем было установлено на основании опытов с тонкими проволоками Ван-Вийка, Ван-Стралена, В. Г. Фастовского и др. Поэтому и объяснение повышения критической плотности теплового потока при небольших концентрациях спирта, в этих работах нельзя считать правильным. Очевидно, что в данном случае играет роль не только депрессия, вызванная растворением спирта, но и изменения поверхностного натяжения, эффективной плотности и скрытой теплоты паров воды и спирта в возникающих пузырях и изменения структуры двухфазного граничного слоя, которая по нашим наблюдениям была различной на проволоках и на пластинах. Последнее тем более любопытно, что для чистых компонент существенных различий в величинах критической плотности теплового потока на проволоках и пластинах не наблюдается.



Фиг. 4

Результаты опытов с водным раствором этилового спирта при давлениях порядка 11, 31 и 71 атм (последнее давление является критическим в термодинамическом смысле) приведены на фиг. 3, где сохраняются обозначения фиг. 2.

Общий характер зависимостей совершенно тот же, что и в опытах с водным раствором бутилового спирта. При давлении 71 атм значения q_* при концентрации спирта около 100% близко к нулю, что соответствует значению этой величины при критическом давлении для однородной жидкости. Минимумы значений q_* при кипении на пластинах в данном случае выражены гораздо слабее, чем при более низких давлениях.

На фиг. 4 приведена зависимость относительного изменения критической плотности теплового потока в зависимости от концентрации этилового спирта при различных давлениях для проволоки (кривые 1', 2', 3') и пластины (кривые 1, 2, 3), поставленной на ребро. (Кривым 1, 2, 3 соответствуют давлениям 11, 31 и 71 атм.) Видно, что с повышением давления эффект от растворения спирта при кипении на проволоке уменьшается.

В опытах с пластиной тот же эффект имеет место в отношении минимума критической плотности теплового потока и обратный эффект в отношении максимума критической плотности теплового потока.

ЛИТЕРАТУРА

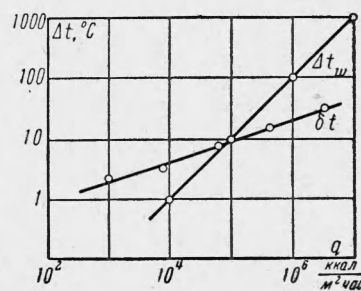
1. Кутателадзе С. С. Гидродинамическая теория изменения режима кипения жидкости при свободной конвекции. Изв. АН СССР, ОТН, 1951, № 4.
2. Van Wijk W. R., Vos A. S., Van Stralen S. J. D. Heat transfer to boiling liquid mixtures. Chem. Eng. Sci., 1956, vol. 5.
3. Van Stralen S. J. D. Heat transfer to boiling binary liquid mixtures. British chemical Engineering. January, 1959.
4. Bonilla C. F. and Perry C. W. Heat transfer to boiling liquid mixtures. Trans. Amer. Inst. Chem. Eng., 1951, vol. 37.
5. Фастовский В. Г., Артым Р. И. Экспериментальное исследование критической тепловой нагрузки при кипении бинарных смесей. Теплоэнергетика, 1958, № 8.
6. Кутателадзе С. С. и Боршанский В. М. Справочник по теплопередаче, Госэнергоиздат, 1959.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ К КИПЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

В. В. Гусев, А. И. Приданцев, А. Н. Соловьев

(Москва)

Определение коэффициента теплоотдачи к кипящей жидкости обычно связано с рядом трудностей, которые обусловлены, отчасти, большой неточностью в определении температуры теплоотдающей поверхности. Последнее особенно существенно при исследовании кипения расплавленных металлов. В этом случае становится значительной поправка на «глубину заделки», которая складывается из перепада температур в стенке и разницы температур, обусловленной деформацией температурного поля в связи с наличием в стенке датчика температуры с его изоляцией и т. п. Если первую часть поправки легко вычислить при известном расстоянии спая термопары от теплоотдающей поверхности и известном коэффициенте теплопроводности материала стенки, то в реальных случаях вычисление второй части поправки практически возможно с точностью лишь до одного порядка. Заметим, что и первая часть поправки не может быть вычислена с погрешностью менее 20–30%, так как при исследованиях в области высоких температур приходится применять термопары со спаем величиной от 0.3 до 0.6 мм, и только с такой же точностью можно определить глубину заделки. На фиг. 1 приведены для иллюстрации кривые поправки на глубину заделки для теплоотдающей поверхности из нержавеющей стали ($\lambda = 14$ ккал/мчас $^{\circ}$ С, $\delta = 1$ мм) в зависимости от теплового потока. На этой фигуре приведена кривая рабочей разности температур. Как видно, эти величины становятся одинаковыми уже при потоке $q \approx 10^5$ ккал/м 2 час.



Фиг. 1

В предлагаемой работе сделана попытка показать возможность определения коэффициента теплоотдачи при кипении в большом объеме при непрерывном линейном нарастании или (уменьшении) теплового потока. При этом время проведения опыта сокращается в несколько раз, что позволит проводить исследования в сильно корродирующих жидкостях и при высоких температурах. Последнее дает возможность применять материалы с большой теплопроводностью и тем самым резко уменьшать поправку на глубину заделки, которая может быть надежнее определена.

1. Описание метода. Как показано многочисленными исследователями [1] в зоне пузырькового кипения для коэффициента теплоотдачи справедлива степенная зависимость

$$\alpha = Cq^n \quad (1.1)$$

Рабочая разность температур будет равна

$$t_w - t_f = \frac{q}{\alpha} = \frac{1}{C} q^{1-n}$$