

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ЖИДКОСТИ НА ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ

А.В. Овсянник, Н.А. Вальченко, Е.М. Иванова, В.В. Гурко

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Беларусь

АННОТАЦИЯ

Целью данной работы являлось проведение экспериментов при кипении жидкости (воды) на образце с продольным оребрением прямоугольного профиля. Получение основных графических зависимостей, описывающих процесс кипения при атмосферном давлении и при различных значениях избыточного давления, и сравнение их с зависимостями ранее полученными для технически шероховатой поверхности.

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование теплообмена при кипении низкотемпературных жидкостей связано не только с потребностями промышленности (интенсификация теплообмена при низких тепловых потоках приводит к существенному уменьшению массогабаритных размеров испарительных аппаратов), но и с поисками новых теплоносителей, являющихся альтернативой фреонам для холодильной техники, тепловых труб и т.д.

Разработана экспериментальная установка для проведения исследований процесса теплообмена при кипении жидкостей на оребренных поверхностях. На установке проведены эксперименты, позволяющие выявить основные закономерности процессов теплообмена при кипении жидкости (воды) на оребренных поверхностях различного профиля в кольцевых каналах.

Проведение экспериментов предполагало установление основных зависимостей процессов теплообмена при кипении воды при атмосферном и избыточном давлении с учетом стационарности температурного поля при изменении тепловой нагрузки. В процессе обработки экспериментальных данных теплоотдача от торца исследуемого образца не учитывалась.

2. ВИД ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Использовался образец, изготовленный из дюралюминия, длиной $L=0,32\text{м}$ с продольными ребрами прямоугольного профиля.

Таблица. Параметры исследуемого образца

Диаметр основной поверхности d , мм	Размеры ребер			Шаг ребра S , мм
	l , мм	h , мм	δ , мм	
25	320	12,5	4	4

Тепловой поток подводился к образцу от нихромовой спирали, размещенной внутри образца таким образом, чтобы тепловой поток подводимый к образцу был одинаков по всей длине образца.

3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Проводились исследования процесса кипения воды на горизонтальной поверхности в кольцевых каналах. Теплообмен исследовался в диапазоне плотности теплового потока через поверхность нагрева $q=1693-7586\text{Вт/м}^2$.

Эксперименты проводились при двух условиях:

1. При атмосферном давлении.

$P_{\text{бар}}=99,95\text{кПа}$ и $t_{\text{о.с.}}=10^\circ\text{C}$.

2. При различных значениях избыточного давления. $P_{\text{изб}}=0-2,5\text{кгс/см}^2$, $t_{\text{о.с.}}=10^\circ\text{C}$.

В ходе работы были получены значения температуры поверхности теплообмена, которые измерялись двенадцатью хромель-копелевыми термомпарами, установленными у основания, в середине и на вершине ребра. При проведении расчетов учитывалось распределение температуры по высоте ребра. За температуру гладкой (основной) поверхности теплообмена принималось значение температуры у основания ребра. Температура поверхности ребра вычислялась как среднее значение между показателями термомпар у основания, в середине и на вершине ребра.

В экспериментах, проводимых при атмосферном давлении, температура основной поверхности изменялась $t_{\text{о.п.}}=86-10^\circ\text{C}$. При различных значениях избыточного давления $t_{\text{о.п.}}=106-139^\circ\text{C}$.

Температура жидкости определялась как средняя температура между температурой поверхности образца и температурой насыщения. Температурный напор определялся как разность температуры поверхности образца и температуры жидкости.

температура насыщения жидкости в экспериментах изменением избыточного давления контролировалась образцовым манометром. Коэффициент теплоотдачи определялся по отношению к внешней поверхности образца без учета теплопотерь.

Графические зависимости коэффициента теплоотдачи α от плотности теплового потока q при кипении воды на технически шероховатой и оребренной поверхности при атмосферном давлении представлены на рис.1, при различных значениях избыточного давления на рис.2. На рис. 3,4 представлены зависимости коэффициента теплоотдачи от температурного напора Δt соответственно: при атмосферном давлении и различных значениях избыточного давления.

Коэффициент теплоотдачи оребренной поверхности приблизительно в 2 раза больше коэффициента теплоотдачи технически шероховатой поверхности, что согласуется данными полученными авторами [1].

ВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРОЦЕССА КИПЕНИЯ

Визуальные наблюдения за процессом кипения воды на горизонтальной оребренной поверхности в кольцевых каналах показали, что в исследуемом диапазоне изменения плотности теплового потока возможны три режима теплообмена: свободная конвекция, неразвитое и развитое кипение. Протяженность областей существования данных режимов зависит от изменения насыщения и направления изменения теплового потока.

На исследуемой поверхности режим свободной конвекции наблюдался в диапазоне плотностей теплового потока до 6500 Вт/м², который уменьшался с увеличением давления насыщения. Первые центры парообразования возникали в межреберном пространстве. Достигнув определенного размера паровой пузырь отрывался от центра парообразования и всплывая скользил по поверхности теплообмена. За время скольжения объем парового пузыря увеличивался в несколько раз. С увеличением прогрева образца плотность центров парообразования повышалась. Появлялись центры парообразования на обеих плоскостях ребер, увеличивались размеры и частота отрыва пузырей.

При дальнейшем повышении тепловой нагрузки до 1000 Вт/м² наблюдалось «однообразное» образование пузырей на торцевой части ребра.

На нижней части оребрения образовывалась пузырьковая прослойка, которая заполняла межреберное пространство по всей длине образца.

При достижении тепловой нагрузки 11500 Вт/м² наблюдался режим развитого кипения. Образовывались устойчивые центры парообразования у основания ребер.

В межреберном пространстве нижней части поверхности теплообмена устойчиво сохранялась паровая прослойка, достигнув края ребра происходил ее отрыв.

При изменении тепловой нагрузки в обратном направлении картина изменения режимов теплообмена сохранялась, однако режим кипения распространялся на область, ранее занятую свободной конвекцией. Даже при очень низких тепловых нагрузках ($q < 0,3 \text{ кВт/м}^2$) на нижней образующей наблюдались редкие центры парообразования с очень низкой частотой отрыва.

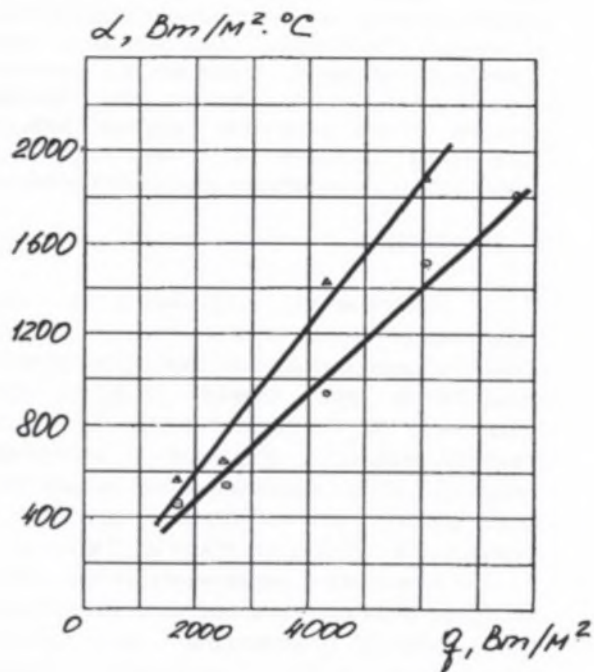


Рис.1. Зависимость $\alpha=f(q)$ при $P_{\text{изб}}=0 \text{ кгс/см}^2$

- - технически гладкая поверхность;
- △ - поверхность оребрения

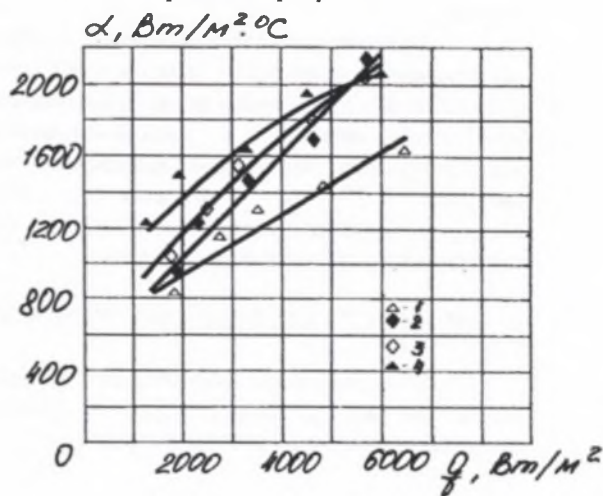


Рис.2. Зависимость $\alpha=f(q)$ при различных значениях

- избыточного давления: 1 - $P_{\text{изб}}=0,5 \text{ кгс/см}^2$;
- 2 - $P_{\text{изб}}=0,9 \text{ кгс/см}^2$;
- 3 - $P_{\text{изб}}=1,3 \text{ кгс/см}^2$;
- 4 - $P_{\text{изб}}=1,7 \text{ кгс/см}^2$

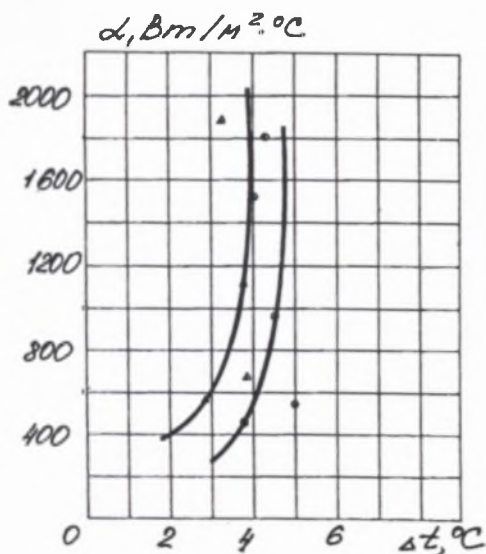


Рис.3. Зависимость $\alpha=f(\Delta t)$ при $P_{изб}=0$ кгс/см²
 ○ - технически шероховатая поверхность;
 Δ - поверхность оребрения.

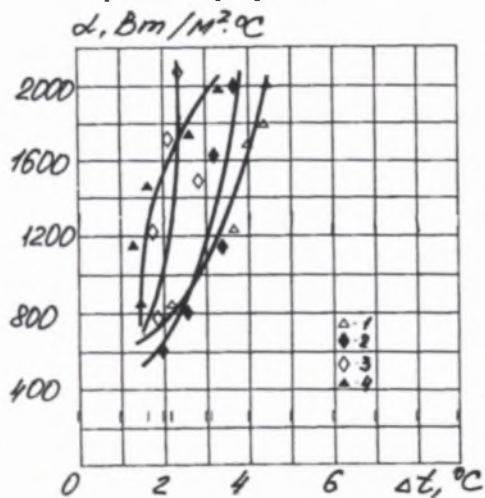


Рис.4. Зависимость $\alpha=f(\Delta t)$ при различных значениях избыточного давления: 1 - $P_{изб}=0,5$ кгс/см²;
 2 - $P_{изб}=0,9$ кгс/см²;
 3 - $P_{изб}=1,3$ кгс/см²;
 4 - $P_{изб}=1,7$ кгс/см²

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

- коэффициент теплоотдачи при кипении воды на оребренной поверхности имеет большее значение, чем на технически шероховатой;
- коэффициент теплоотдачи возрастает при увеличении избыточного давления при одних и тех же значениях плотности теплового потока.

Установлены особенности влияния поверхности на теплообмен при кипении. Построены графические зависимости описывающие протекание процессов:

- зависимость коэффициента теплоотдачи от температурного напора;
- зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- L - длина исследуемого образца, мм;
 l - длина ребра образца, мм;
 h - высота ребра образца, мм;
 δ - толщина ребра образца, мм;
 S - шаг ребра образца, мм;
 q - плотность теплового потока у основания ребра, Вт/м²;
 P_{о.с.} - давление окружающей среды, кПа;
 t_{о.с.} - температура окружающей среды, °С
 α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К;
 Δt - температурный напор, °С.

Индексы:

- о.с.-окружающая среда;
 о.п.-основная поверхность;
 бар.-барометрическое;
 изб.-избыточное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Васильев Л.Л., Хроленок В.В., Журавлев А.С. Интенсификация теплообмена при кипении пропана на горизонтальных трубах: Сборник научных трудов «Тепло и массоперенос-97». Минск, 1997, С.9-14.
2. Ройзен Л.И., Дулькин И.Н. Тепловой расчет оребренных поверхностей. М.: Энергия, 1997. 252 с.
3. Соболев О.Б., Платонов В.М. Выбор оптимальных размеров оребренных поверхностей при кипении// Химическая промышленность, 1996. № 8. С.60-63.
4. Петухов В.С. Ковалев С.А., и др. Методика и экспериментальная установка для исследования местной теплоотдачи при кипении жидкости на неизотермической поверхности //ТВТ. Т.9. № 6. 1991С.1260-1263.
5. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. М.: Высшая школа, 1986. 448 с.