

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ

Д.А. Гуриков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Овсяник А.В.

Существующие в настоящее время методы интенсификации теплообмена при кипении на теплоотдающей поверхности можно разделить на несколько групп: структурированные поверхности (с искусственной регулярной микрогеометрией), оребрение, пористые покрытия. Необходимо отметить, что при выборе для практического применения того или иного метода интенсификации теплообмена приходится учитывать не только эффективность самой поверхности, но и ее универсальность для различных теплоносителей, технологичность изготовления поверхности, технологичность сборки теплообменного аппарата, прочностные требования, загрязняемость поверхности, особенности эксплуатации и т. д.

В последние годы энергомашиностроение, кондиционирование, криогенная техника предъявляют два основных требования к элементам систем теплообмена – компактность и малые гидравлические сопротивления. По совокупности предъявляемых требований большое распространение в теплообменных аппаратах, применяемых современной промышленностью, получили оребренные поверхности различных типов. К достоинствам этих поверхностей следует отнести: технологичность и дешевизну изготовления; технологичность сборки; широкий диапазон тепловых потоков; возможность работы на загрязненных теплоносителях.

Различают прямые и кольцевые ребра, а также оребрение в виде отдельных шипов. Ребра могут иметь различные профили – прямоугольный, треугольный, трапециевидный, могут быть продольные или поперечные и т. д.

В настоящее время в кожухотрубных аппаратах фреоновых холодильных установок широкое применение нашли трубки с низкими ребрами. На их изготовление идут дорогостоящие материалы (медь, мельхиор), поэтому возникает необходимость создания наиболее оптимальной, с точки зрения теплообмена, весовых и габаритных показателей, ребристой трубчатой поверхности.

На рис.1 приведены зависимости коэффициентов теплоотдачи от плотности теплового потока несущей поверхности при кипении ацетона и этанола для типов оребренных поверхностей.

Наибольшие значения коэффициентов теплоотдачи, в три раза превышающие аналогичные значения для шероховатой и в три – четыре раза для полированной поверхности, были получены для образца с поперечным прямоугольным оребрением. Экспериментально определено, что при горизонтальном расположении труб, поперечное оребрение в 1,5 – 2 раза эффективнее продольного для одинаковых типов ребер, вследствие большего развития поверхности теплообмена и лучших условий отвода паровой фазы. Интенсивность теплоотдачи на ребре практически не зависит от профиля ребра при достаточном межреберном расстоянии, одинаковой толщине основания и высоте ребер, а определяется только теплофизическими свойствами кипящей жидкости.

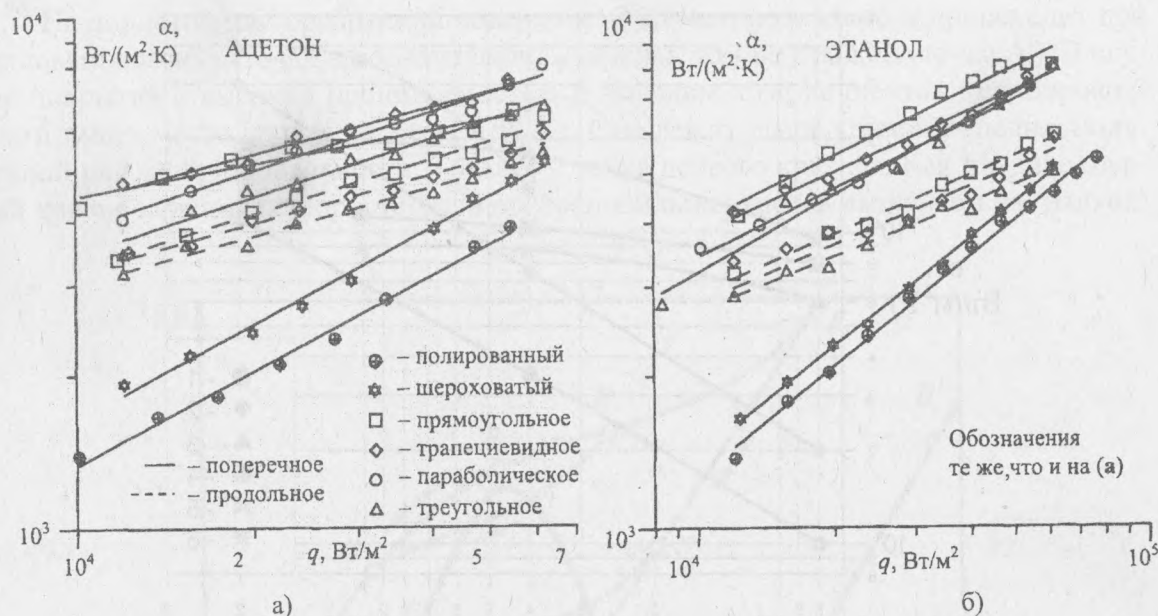


Рис. 1. Зависимости коэффициентов теплоотдачи от плотности теплового потока для ацетона (а) и этанола (б)

Параметры исследованных образцов представлены в таблице

Таблица 1

Характеристики исследованных образцов

№ п/п	Тип ребра	d_b/d_0 , мм	h , мм	s , мм	δ_b/δ_0	L_{op} , мм	L_0 , мм	n , шт.
Продольное ребрение								
1	треугольное	47/25	11	4,33	0/4	280	310	10
2	трапециевидное	47,5/25	11,25		2/4			
3	прямоугольное				4/4			
Поперечное ребрение								
4	треугольное	50/25	12,5	4	0/4	284	310	36
5	трапециевидное				2/4			
6	параболическое				2/4			
7	прямоугольное				2/2			278

Кроме того, в промышленности получили применение: покрытия с неупорядоченными структурами – слои спеченных металлических порошков (БРНПО ПМ, фирма Union Carbide – покрытие типа High Flux); покрытия, получаемые методами электродугового и плазменного напыления, электроосаждением металлических частиц и т. д.

На рис. 2 представлены зависимости коэффициентов теплоотдачи от плотности теплового потока при кипении фреона-113 для различных типов интенсифицированных поверхностей.

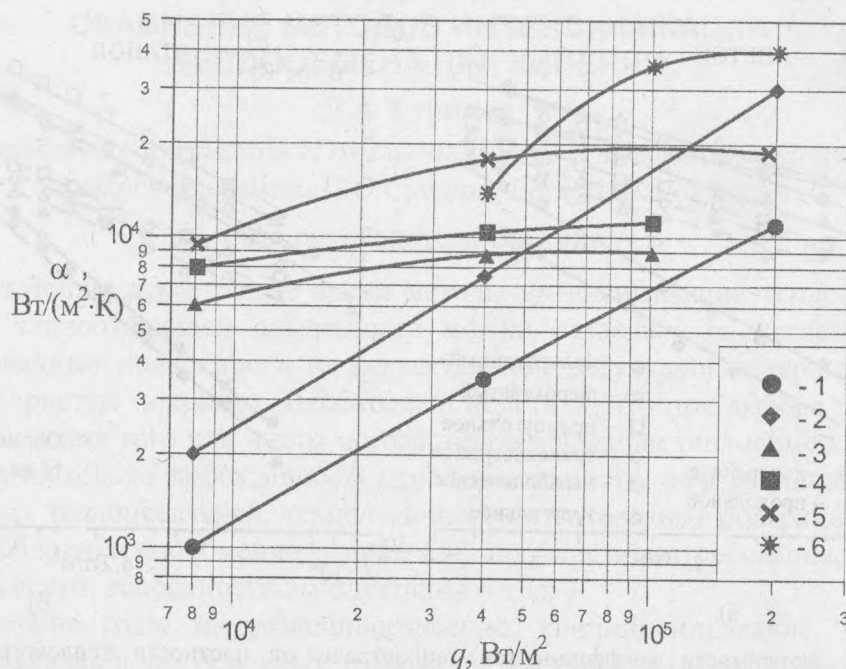


Рис. 2. Результаты опытов кипения фреона-113 на различных интенсифицированных поверхностях. (Температура насыщения $T_n = 321$ К): 1 – гладкая труба; 2 – напыленное покрытие; 3 – Thermoxcel-E; 4 – Gewa-T; 5 – High Flux; 6 – спеченное покрытие

Покрытие High Flux состоит из 46 % медных частиц размером менее 44 мкм, остальные – от 44 до 74 мкм. Процесс нанесения покрытия заключался в припайивании (твердым припоем) металлического порошка к базовой поверхности. Пористость структуры составляла 50-65 %. Толщина покрытия 0,38 мм. Такая поверхность содержит большое количество потенциальных центров парообразования, образованных сетью каналов, которые случайным образом пронизывают пористый слой.

Thermoxcel-E представляет собой группу винтовых каналов с малым шагом, изготовленных путем токарной обработки, непосредственно под верхним слоем поверхности. На поверхности выполнены отверстия треугольной формы для выхода пара. Потенциальными центрами парообразования служат углубления диаметром ~0,1 мм. Толщина покрытия $\delta = 0,19$ мм.

Структура Gewa-T состоит из ряда спиральных каналов, образованных низкими ребрами (высота 1,04 мм, шаг 1,35 мм). Для повышения интенсивности кипения вершины ребер частично сплюснены и имеют Т-образное поперечное сечение. Зазор между ребрами (0,18 мм) существенно превышает размеры пор на других развитых поверхностях, что должно способствовать более легкому заполнению каналов жидкостью.

При кипении фреона-113 в режиме развитого кипения наилучшие результаты были достигнуты на поверхности High Flux. При низких плотностях теплового потока ($q \sim 4$ кВт/м²) коэффициенты теплоотдачи α на этой поверхности были почти в 10 раз выше, чем на гладкой трубе. При увеличении q до 100 кВт/м² это превышение уменьшалось до трехкратного. Для сравнительного анализа влияния параметров поверхности на интенсивность теплоотдачи при кипении рассмотрим график схематического положения кривых кипения на гладкой поверхности и на поверхности с пористым покрытием (рис. 3).

На пористой или оребренной поверхности вскипание жидкости происходит при тепловых потоках (точка A), значительно меньших, чем на гладкой (точка A'). В случае покрытия с высокой проницаемостью и высоким коэффициентом теплопроводности имеет место кривая кипения $ABCDE$. Она лежит выше кривой кипения, полученной на гладкой поверхности. Точка E – точка первого кризиса. Как правило, первый кризис кипения на пористой или оребренной поверхности выше, чем на гладкой.

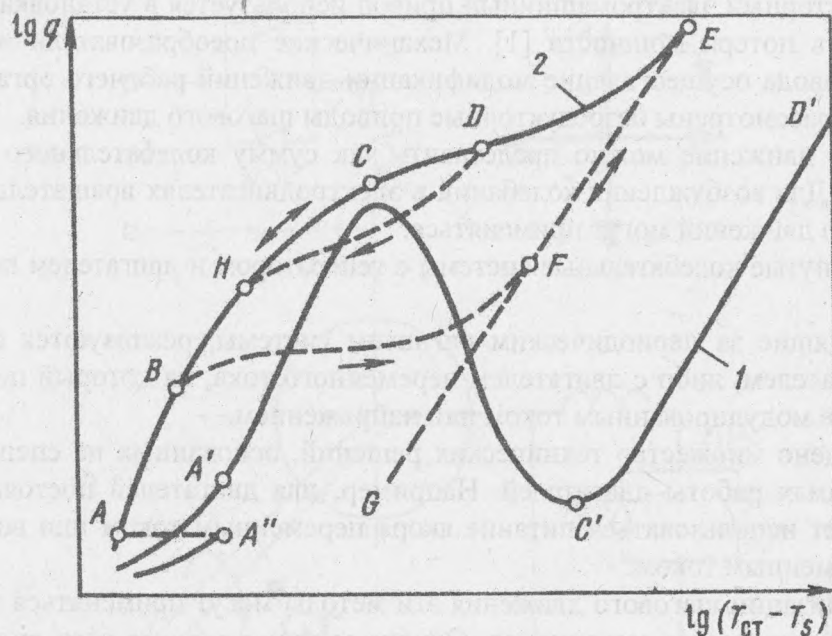


Рис. 2. Обобщенные кривые кипения: 1 – на гладкой поверхности; 2 – на поверхности с капиллярно-пористым покрытием или оребренной поверхности

Таким образом, на основании анализа можно сделать вывод, что пористые поверхности при низких и средних тепловых потоках оказываются эффективнее оребренных. Однако при высоких тепловых потоках (когда наблюдается запаривание поверхности) и при работе на загрязнённых теплоносителях более эффективными оказываются оребренные поверхности. Но для достижения наилучших результатов необходимо подбирать и оптимизировать поверхность для каждого конкретного теплоносителя и определённых условий работы.

Литература

1. Несис Е.И. //Кипение и конденсация. – Рига. – 1983.
2. Ермаков Г.В., Фёдоров А.П. //ТВТ. – 1985. – Т. 23, № 6. – С. 1092-1095.
3. Данилова Г.Н., Тихонов А.В. Экспериментальное исследование теплообмена при кипении холодильных агентов на интенсифицированных поверхностях теплообмена //Кипение, кризисы кипения, закризисный теплообмен: Тр. Первой Российской национальной конференции по теплообмену (М., Россия, ноябрь 1994). – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – Т.4. – С. 91–95.