

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 536.423

П.Т. Петрик, Е.Ю. Старикова, И.В. Дворовенко

ГИСТЕРЕЗИС ПРИ КИПЕНИИ ХЛАДОНА R227 НА ТРУБАХ В ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ

При экспериментальном изучении процесса теплообмена при кипении жидкостей и на гладких поверхностях и в зернистых слоях одним из интересных и важных аспектов является исследование гистерезисных явлений, то есть несовпадения зависимостей коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока в условиях повышения (прямой ход) и уменьшения (обратный ход) плотности теплового потока.

При кипении жидкостей на гладких поверхностях при повышении плотности теплового потока появление первых паровых пузырей и переход к развитому кипению происходят при более высокой плотности теплового потока q_{nk} по сравнению с ее значением, отвечающим прекращению процесса кипения q_{nk} при проведении опыта в обратном направлении [1]. В связи с этим, в интервале значений q между q_{nk} и q_{hk} коэффициенты теплоотдачи α в первом случае оказываются меньше, чем во втором. Это объясняется тем, что при переходе от низких к более высоким плотностям тепловых потоков не все центры парообразования соответствующего радиуса кривизны (при данном перегреве жидкости) оказываются активными. Часть из них еще заполнена жидкостью и не может генерировать паровую фазу. При переходе от высоких значений q к более низким практически все центры, соответствующие данному температурному напору, являются активными. Это явление и получило название гисте-

резиса по тепловому потоку [1].

Гистерезисные явления в зернистых и пористых слоях при переходе от пузырькового кипения к пленочному и обратно, согласно [2, 3], значительно превосходят эти явления на гладких поверхностях, то есть коэффициенты теплоотдачи α меньше при "прямом ходе", чем при "обратном", причем гистерезисные явления достигают наибольшей величины в случае использования толстых пористых покрытий [4], что связано с большой разницей в размерах между парогазовыми зародышами во впадинах поверхности и ячейками покрытия, а в [5] получены результаты, в которых гистерезис не обнаружен.

Анализировались причины возникновения гистерезисных явлений. В [3] представляются две причины многообразия гистерезисных явлений при кипении на пористых покрытиях:

условия закипания, которые определяются наличием и условиями активации зародышей; структура пористого материала, характерной особенностью которого является непостоянство сечения каналов для течения жидкости и пара.

В зависимости от параметров пористого покрытия, степени его дегазации, угла смачивания и граничных условий при кипении жидкости, на пористой поверхности наблюдаются новые явления: возникновение протяженной гистерезисной петли с развитием неравномерного кипения на теплоотдающей поверхности; гистерезис кризиса кипения в результате значительного понижения критической плотности теплового потока, в зависимости от предыстории процесса. Существенные гистерезисные явления характерны для хорошо смачиваемых поверхностей.

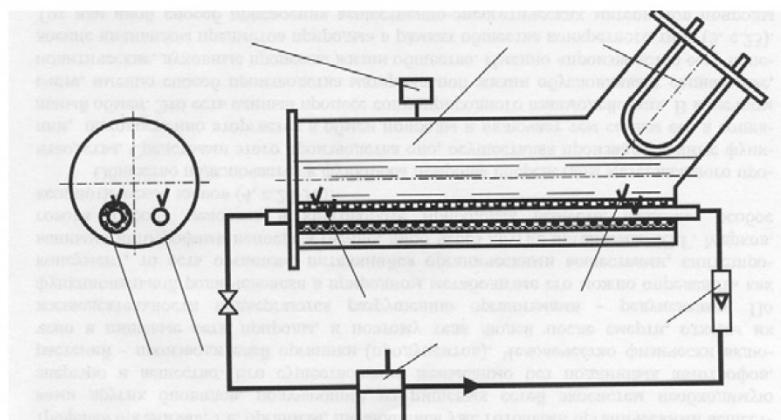


Рис.1. Схема экспериментальной установки по исследованию теплообмена при кипении на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои: 1 – кипятильник, 2 – конденсатор, 3 – термостат, 4 – трубка в зернистом слое, 5 – трубка, 6 – датчик давления, 7 – ротаметр, 8 – термопары

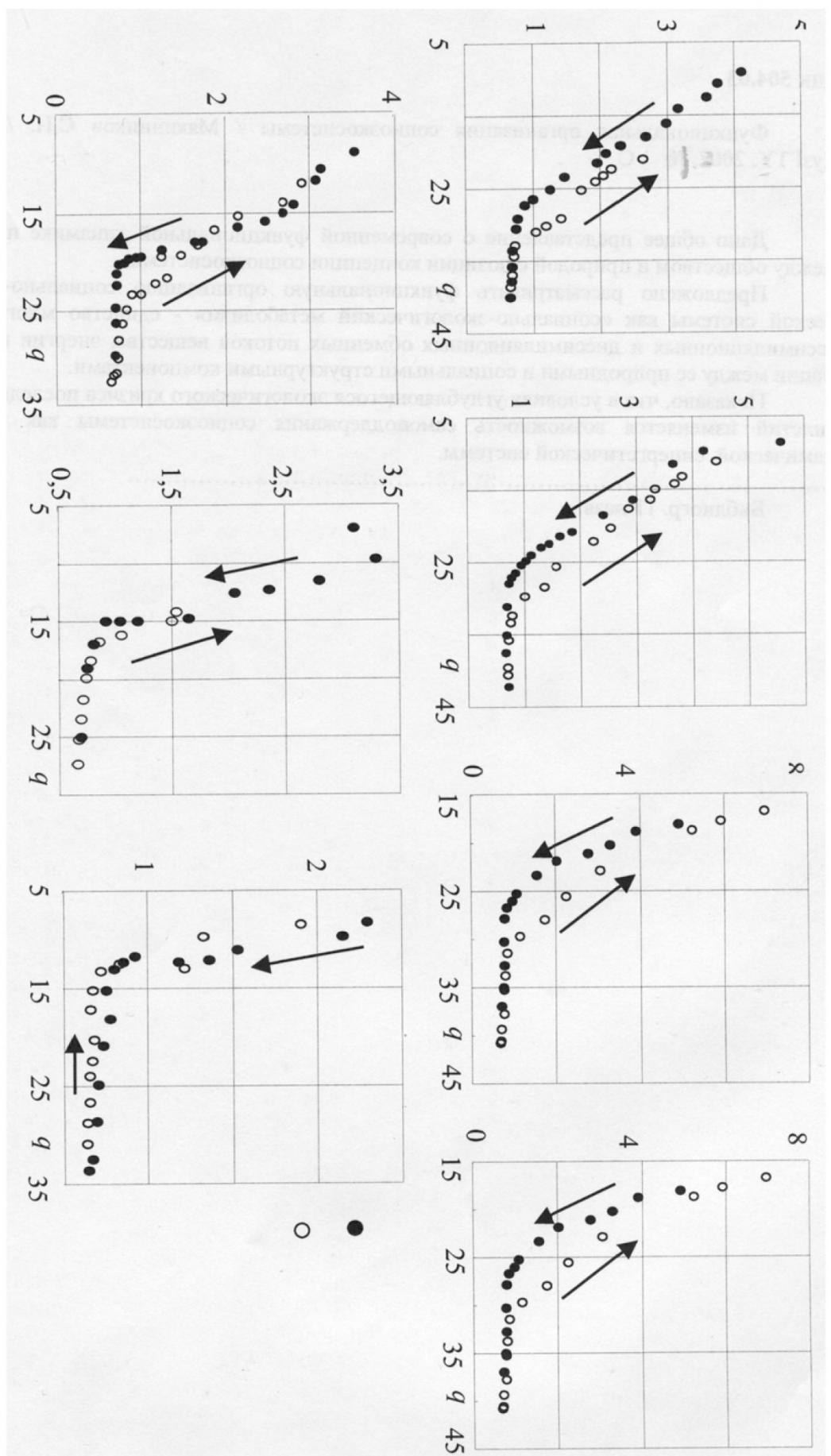


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи при кипении хладона R227, угол наклона трубы –
 а) 0° , б) 5° , в) 10° , г) 35° , д) 50° , е) 70° , ж) 90° , α – коэффициент теплоотдачи, $Bm/m^2 \cdot K$; q – плотность теплового потока, kBm/m^2 .

Ухудшение смачивания затрудняет дегазацию поверхности и облегчает закипание, поэтому в этом случае гистерезисные явления выражены слабо.

В [2] исследовалось влияние свойств и состава жидкостей на гистерезисные явления: при кипении чистой воды на образцах с пристыми покрытиями, полученными путем газотермического напыления гистерезиса кипения не обнаружено; при кипении спирта на элементах покрытия наблюдался существенный гистерезис; при кипении смесей воды со спиртом гистерезис наблюдался, причем по мере снижения концентрации спирта гистерезис уменьшался.

Авторами данной статьи проведены экспериментальные исследования влияния на гистерезис по тепловому потоку угла наклона трубы, помещенной в зернистый слой при кипении хладона R227 на лабораторной установке, схема которой представлена на рис.1.

Основные узлы стенда - кипятильник 1 и конденсатор 2, совмещенные в одной емкости. В кипятильнике установлены две медные трубы 4 и 5 диаметром 8 мм. Одна из трубок помещалась в зернистый слой.

При проведении экспериментов в одну из трубок кипятильника подавалась горячая вода из термостата 3, жидкость вскипала на поверхности трубы, и образовавшийся пар поднимался в конденсатор 2, где конденсировался на трубках змеевика, в который поступала холодная вода. С помощью шарнира менялось положение стенда от горизонтального до вертикального через промежуточные углы наклона трубы к горизонту. Угол наклона стендса (соответственно, и трубы) изменился с помощью катетометра.

В ходе опытов измеряли давление насыщения в кипя-

тильнике датчиком давления "Сапфир 22ДИ" 6, температуру поверхности стенки рабочей трубы - хромель-копелевыми термопарами 8, зачеканенными в нее, расход горячей воды в трубке - ротаметром 7, температуру воды на входе и выходе трубы - термопарами. Температуру жидкости определяли с помощью термопар, установленных в соседней необогреваемой трубке. Измерения проводились в автоматизированном режиме с использованием компьютера IBM PC.

По полученным данным рассчитывали параметры, определяющие теплоотдачу при кипении: температуру насыщения $T_s, ^\circ\text{C}$ по $P - T$ зависимости для соответствующих хладонов; среднюю температуру стенки трубы $T_w, ^\circ\text{C}$, как среднюю арифметическую температуру стенки трубы в восьми точках; плотность теплового потока $q, \text{Вт}/\text{м}^2$, через поверхность рабочей трубы по разности энтальпий воды на входе и выходе; температурный напор "стенка – жидкость" ΔT ; коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости $\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

В качестве зернистого слоя использовались стеклянные шарики диаметром 0,8 мм, углы наклона трубы к горизонту устанавливались следующие: 0°, 5°, 10°, 35°, 50°, 70° и 90°. Полученные нами экспериментальные данные обрабатывались в координатах $\alpha = f(q)$. Кривые кипения хладона R227 на трубах в зернистом слое представлены на рис. 2. Стрелками на данных рисунках показано направление ведения процесса кипения: "прямой ход" (увеличение значений теплового потока) и "обратный ход" (уменьшение значений теплового потока). Исследованные нами процессы кипения лежат в области "переходного" и пленоч-

ного режимов кипения.

Как видно из рис. 2, с изменением угла наклона трубы от 0° до 90° "кривые кипения" видоизменяются. При углах наклона 0°, 5°, 10° и 35° (рис. 2 а, б, в, г) гистерезис аналогичен картине данного явления, наблюдавшейся на "гладких" поверхностях, то есть без зернистых или пористых покрытий, а именно, коэффициенты теплоотдачи α меньше при "прямом ходе", чем при "обратном". Но при больших углах наклона, то есть при 50° и 70° (рис. 2 д, е), картина качественно изменяется, то есть на "обратном ходе" при уменьшении значений q до $15\div20 \text{ кВт}/\text{м}^2$ значения коэффициентов α становятся меньшими для "обратного хода". А при вертикальном положении трубы (рис. 2 ж) кривые кипения меняют взаимное расположение по сравнению с кривыми на рис. (рис. 2 а, б, в). Кроме того, необходимо отметить, что гистерезисные явления наблюдались в переходной области кипения, а при пленочном кипении практически отсутствовали.

Таким образом, с увеличением угла наклона трубы наблюдалась тенденция к уменьшению гистерезисных явлений. Этот факт можно объяснить увеличением пути движения паровых пузырьков в зернистом слое с приближением положения трубы к вертикальному и, следовательно, к более ранней активации центров кипения.

Данная работа поддержана грантом INTAS – OPEN –99 – 1107 и интеграционным проектом фундаментальных исследований СО РАН № 47 "Процессы переноса перфторуглеродов и разработка научных основ синтеза новых перфтористых соединений с заданными свойствами".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. -

М.: Высшая школа, 1986. 448 с.

2. Кравченко В.А., Островский Н.Ю., Сливаков Ю.А.. Исследование теплообмена при кипении воды, этилового спирта, и их смесей на поверхности нагрева с пористым покрытием // Инж.- физ. ж. 1984. Т. 47. № 5. С. 753.
3. Техвер А.Я. Гистерезисные явления при кипении на пористых покрытиях // Теплоэнергетика. 1990. № 12. С. 12-14.
4. Антоненко В.А., Иваненко Г.В. Гистерезисные явления на начальном участке кривой кипения на поверхностях с сетчатым покрытием. // Изв. АН СССР. Энерг. и трансп. 1989. №5. С.125-131.
5. Chuah Y.K., Carey V.P. Boiling heat transfer in a shallow fluidized particulate bed // Trans. ASME; J. Heat Transf. 1987. V. 109. № 1. P. 196-203

□ Авторы статьи:

Петрик

Павел Трофимович

- доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой процессов, машин и аппаратов химических производств

Старикова

Елена Юрьевна

- кандидат технических наук, доцент кафедры процессов, машин и аппаратов химических производств

Дворовенко

Игорь Викторович

- кандидат технических наук, доцент кафедры процессов, машин и аппаратов химических производств

УДК 678.046.39 (742.3)

О.В. Касьянова, Т.Н. Теряева

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИЙ

В настоящее время увеличен выпуск полимерных изделий из полипропилена (ПП). Растущий интерес к полимеру не случаен. ПП обладает хорошим сочетанием физико-механических, теплофизических, электрических свойств, а также хорошей перерабатываемостью по сравнению с другими термопластами, что создает ему прочное конкурентоспособное положение на мировом рынке. Однако большой рыночный спрос выдвигает новые требования к изделиям общего и технического назначения получаемым из полимера: увеличению твердости, жесткости, ударной вязкости, термостойкости. Применение минеральных наполнителей позволяет регулировать технологические и термодеформационные параметры, снизить стоимость, повысить прочностные характеристики, придать декоративные свойства. Модифицирование ПП достигается обычно в процессе переработки полимера, путем введения наполнителя в расплав полимера, что позволяет оптимизировать технологический процесс получения изделий с заданными эксплуатационными свойствами.

Широкое распространение в качестве минеральных наполнителей для ПП получили: тальк, мел, асбест, слюда содержание которых составляет 20 - 40%масс. [1]. Эффективность применения наполненных пластмасс повышается при использовании отходов производств в качестве наполнителей. Свойства полимерного композиционного материала (ПКМ) отличаются от свойств исходного полимера. Как правило, потребителей интересуют прочностные характеристики полимеров. Между тем для технологии переработки знание реологических свойств является не менее важным

Целью работы являлось изучение свойств минерального сырья различного химического состава, добываемого и получаемого в регионе, пригодность его в качестве наполнителей для полипропилена, а так же исследование реологического поведения ПКМ.

Объектами исследования в работе были минеральные наполнители, получаемые и добываемые в регионе.

Охра представляет собой природный кристал-

Физические свойства минеральных наполнителей

Таблица 1

Наполнитель	ρ , г/см ³	W %	$V_{уд}$, см ³ /г	ρ_h , г/см ³	$\Psi_{макс}$ %	Микротвердость, МПА	pH
Охра	2,6	1,66	1,48	0,68	0,26	0,071	6
Зола	2,76	0,15	0,86	1,14	0,41	0,21	7
Микросферы	< 0,806	0,18	2,61	0,38	0,54	0,13	6
Тальк	2,46	0,18	1,5	0,7	0,27	0,06	9