

## Теплообменные аппараты нового поколения

Если рассмотреть общемировые тенденции в сегменте теплоснабжения, то первое очевидное явление – это снижение максимальной температуры, подаваемой от источника в тепловые сети. Разность температур между греющей и нагреваемой стороной сокращается каждое десятилетие на несколько градусов. Обусловлено данное явление несколькими факторами, включающими в себя износ генерирующих мощностей и тепловых трасс, желание снизить коррозионные процессы в теплоэнергетическом оборудовании, внедрение возобновляемых источников энергии.

Снижение температурного графика неизбежно приводит к снижению средне логарифмического температурного напора, который непосредственно влияет на тепловую мощность теплообменного аппарата.

$Q = k * F * \Delta t_{\text{лог}}$	1
-------------------------------------	---

Где Q-тепловая мощность теплообменного аппарата, F-поверхность теплообмена,  $\Delta t_{\text{лог}}$  – среднелогарифмический температурный напор, k – коэффициент теплопередачи.

В этих условиях, для сохранения тепловой мощности аппарата на прежнем уровне, необходимо увеличивать поверхность нагрева или коэффициента теплопередачи. Увеличение поверхности нагрева неизбежно влечет за собой удорожание теплообменного аппарата и увеличение его габаритных и весовых характеристик. Именно поэтому вопрос интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах является все более актуальным в последние годы. **Инновационное решение предложили инженеры компании «Данфосс». В теплообменниках под торговой маркой Micro plate задача максимальной интенсификации теплообмена реализована путем применения сферических углублений вместо традиционного шевронного рифления пластин.**

### Интенсификация теплообмена в теплообменных аппаратах

Развитие интенсификации теплообмена связано с организацией турбулентного режима течения жидкости в теплообменном аппарате. Как известно, режим течения обусловлен геометрическими характеристиками канала, скоростью тока теплоносителя и его кинематической вязкостью (число Рейнольдса). Условно можно сказать, что чем скорость тока выше, а поверхность обтекания сложнее, тем более вероятен турбулентный режим течения. Многие средства интенсификации теплообмена направлены на создание дополнительной турбулизации в канале течения теплоносителя. Одним из наиболее популярных способов является нанесение шероховатости на поверхности теплообмена.

Основная проблема, которую необходимо решить инженерам демонстрирует простейшая аналогия Рейнольдса(2).

$Nu/Nu_0 = Cf/Cf_0$	2
---------------------	---

Где Nu, Cf число Нуссельта (безразмерный коэффициент теплоотдачи) и коэффициент трения на поверхности с интенсификаторами теплообмена, Nu<sub>0</sub>, Cf<sub>0</sub> число Нуссельта и коэффициент трения на гладкой поверхности.

Данное уравнение показывает неразрывную связь между интенсификацией теплообмена и ростом гидравлического сопротивления.

Рассмотрим проблему снижения температурного графика на примере пластинчатого аппарата. Увеличение поверхности нагрева в теплообменном аппарате данного типа (сфокусируемся на разборных) можно осуществить навеской дополнительного пакета пластин в раму, но, как уже говорилось ранее, это обеспечивает увеличение стоимости аппарата, а кроме того, снижения скорости тока в канале (при увеличении пакета пластин увеличивается проходное сечение каналов для теплоносителя, что снижает скорость тока и, как следствие, коэффициента теплопередачи в аппарате). Т.е. навеска пластин неэффективна, поэтому для пластинчатых аппаратов вопрос интенсификации теплообмена, возможно, стоит более остро, чем для аппаратов других типов. Что же может предложить классическая пластина с шевронным профилем с точки зрения теплообмена? На данный момент пластины данного типа практически исчерпали себя с точки зрения путей дальнейшей интенсификации теплообмена. Производители предлагают пластины с разным углом рифления (обычно 2 угла рифления, которые могут в сумме составить каналы 3 и более типов) и разной глубиной штамповки для увеличения или заужения канала.

Однако сейчас, спустя более, чем 50 лет развития данного типа рифления, видны ограничения этого типа конструкции теплообменной пластины:

- наличие застойных зон в периферийной части пластины, трудно решаемые посредством использования распределительных площадок,
- большие механические напряжения в зоне контакта двух пластин, обусловленные формой шевронного рифления, приводят к необходимости увеличения толщины металлического листа и, как следствие, увеличению термического сопротивления между двумя тепло-обменивающимися средами
- соотношение роста гидравлического сопротивления к росту коэффициента теплоотдачи не является оптимальным

Необходимо искать новые поверхности нагрева, которые подарят большую возможность оптимизации конструкции. Такое, инновационное, решение разработано и реализовано инженерами компании «Данфосс» в теплообменниках типа XGM. На Рис. 1 приведены результаты экспериментального анализа различных способов интенсификации теплообмена [1]. Более всего нас интересуют области, помеченные следующими цифрами: 6, 6a, 6b – сферические углубления различной геометрии; 12 – сферические углубления (кипение); а: линия аналогии Рейнольдса.

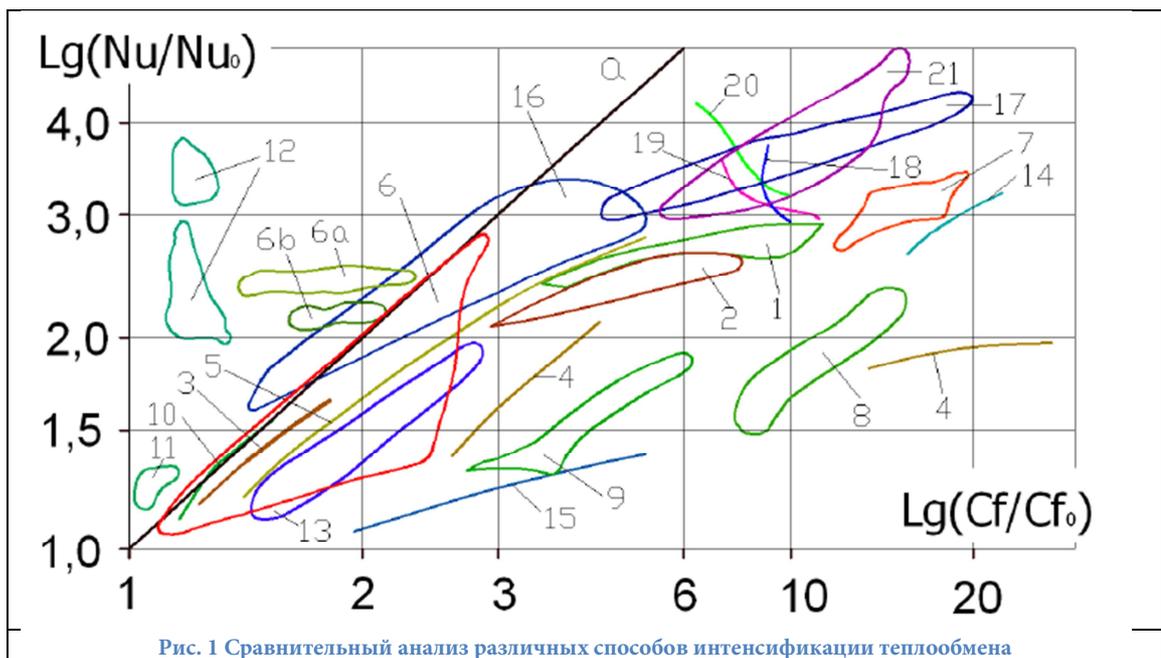


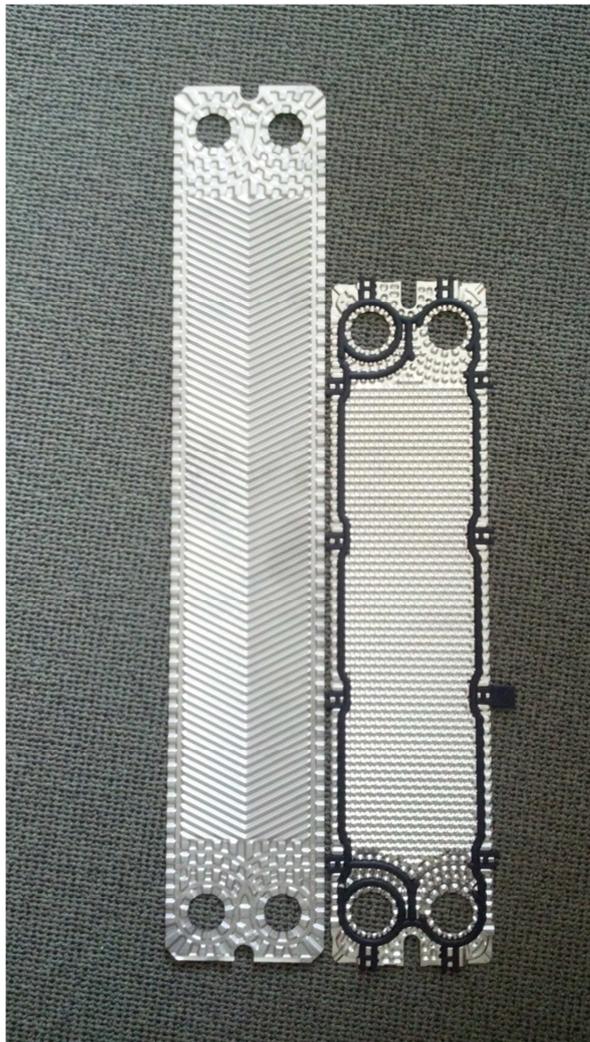
Рис. 1 Сравнительный анализ различных способов интенсификации теплообмена

Очевидно, наиболее оптимальным будет средство интенсификации, область экспериментальных данных которых находится над кривой аналогии Рейнольдса. Обычно подобные результаты показывают средства вихревой интенсификации теплообмена. Они позволяют существенно улучшить теплообмен при умеренном росте сопротивления. В ряде работ экспериментально установлено, что при использовании сферических углублений рост теплоотдачи не сопровождается типичным квадратичным увеличением гидравлического сопротивления. В данном случае существенному росту теплообмена соответствует практически равноценный рост гидравлического сопротивления, в отличие от прочих средств интенсификации, когда рост гидравлического сопротивления существенно опережает рост коэффициента теплоотдачи.

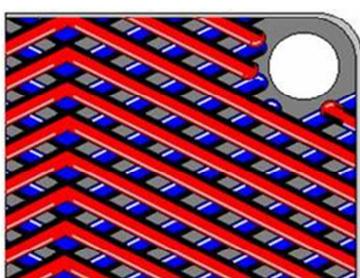
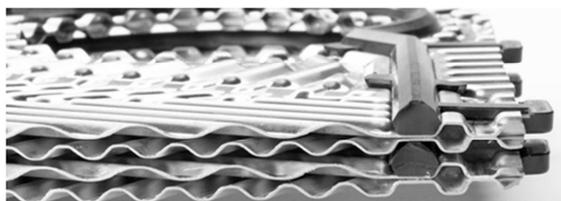
«Использование данной технологии в пластинчатых теплообменных аппаратах имеет большой потенциал»- отмечает ведущий специалист по теплообменному оборудованию компании «Данфосс» Илья Григорьев. Специалист поясняет, применение сферических

**углублений для рифления теплообменных пластин** позволяет увеличить коэффициент теплопередачи без существенного роста гидравлического сопротивления и размеров теплообменника. Помимо этого, появляется ряд дополнительных преимуществ:

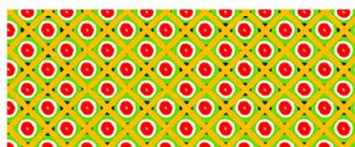
Во-первых, появляется возможность более гибкой настройки теплогидравлических характеристик пластины под конкретные условия работы. Сферические углубления предоставляют значительно больший уровень свободы в разработке пластин, так как переменной величиной могут являться глубина штамповки, относительный шаг расположения, тип расположения (шахматный, коридорный или комбинированный), форма углубления (сферическая, овальная и т.д.). Более сложная структура тока по пластине позволяет осуществить увеличение эквивалентной термической длины пластины без физического увеличения ее длины.



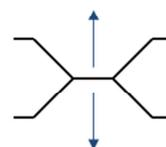
Во-вторых, механическую прочность пластин можно повысить путем увеличения точек касания пластин между собой (чем больше сферических углублений на пластине сформировано, тем больше точек касания, которые будут находиться на вершинах углублений). Точки касания можно размещать относительно произвольно, увеличивая их количество там, где это необходимо. **Кроме этого, контактные площадки можно делать плоскими, что реализовано в теплообменниках типа XGM компании «Данфосс», и способствует разгрузке пластины в зоне касания. При плоском выполнении контактных площадок имеют место только нормальные напряжения, а не совокупности касательных и нормальных, как это происходит в точке касания округлых вершин шевронных профилей.** Кроме этого, за счет увеличения количества точек контакта силы, возникающие при касании двух пластин в пакете, распределяются на большую площадь, что уменьшает напряжения в металле в точке касания пластин, позволяя сделать пластину более тонкой. Снижение толщины пластины приводит к уменьшению веса теплообменного аппарата, что особенно актуально при монтаже в стесненных условиях или при использовании аппаратов с большим пакетом пластин. Вес пакета пластин может быть до 30% меньше, чем в случае с шевронным рифлением.



Напряжения

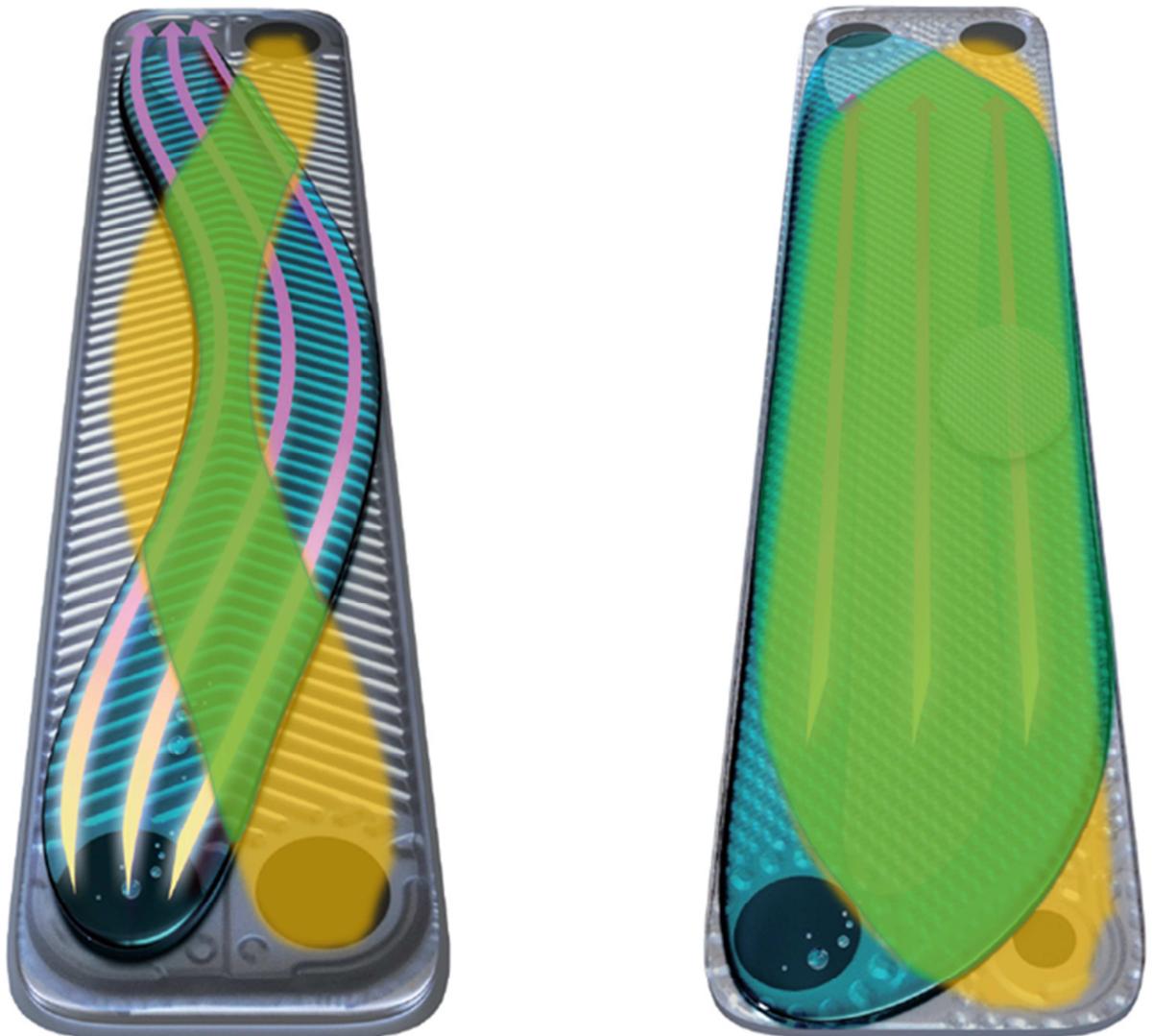


Напряжения

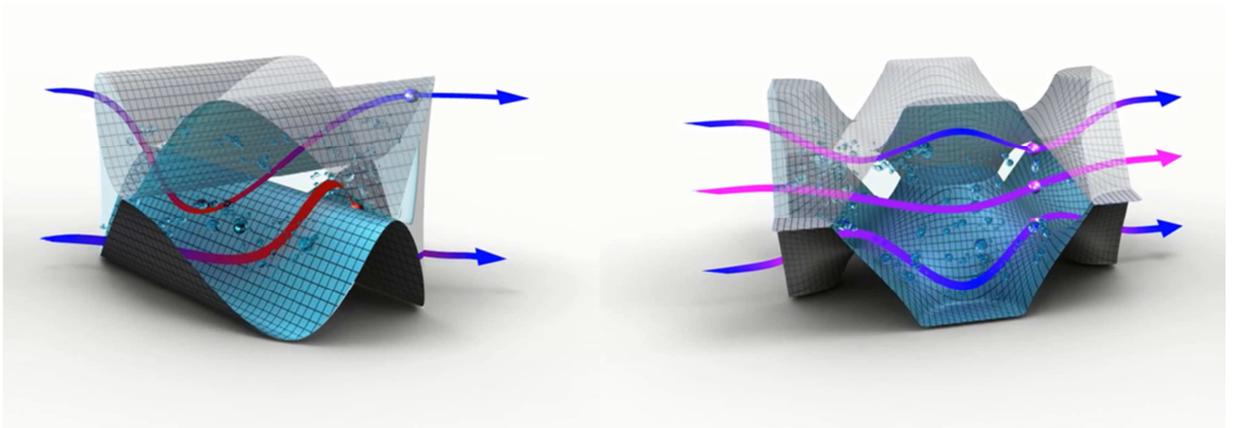


В-третьих, возможно более эффективное использование поверхности нагрева пластины за счет более равномерного протока теплоносителя по пластине теплообменника. При использовании углублений вместо шеврона нет существенной зависимости гидравлического сопротивления от угла набегания, есть лишь обычная

зависимость гидравлического сопротивления от длины траектории пробега объема теплоносителя. За счет этого гидравлические сопротивления основной линии тока и периферийной для пластины с углублениями практически идентичны и скорость на пластине более равномерна, без ярко выраженных минимумов и максимумов. Этот факт позволяет более эффективно использовать теплопередающую поверхность пластины. На данном рисунке условно приведено ядро потока, имеющее наибольшую скорость тока и, как следствие, наибольший коэффициент теплоотдачи (синим цветом обозначено ядро потока на данной пластине, оранжевым на пластине, установленной следующей за изображенной на рисунке). В зоне пересечения данных потоков (обозначена зеленым) коэффициент теплопередачи максимален. Данное пересечение имеет значительно меньшую площадь у теплообменника с шевронной пластиной.



Кроме того, две пластины с дискретными шероховатостями при соприкосновении образуют канал формы сопло-диффузор, что образует теплообменную поверхность нового типа. Последовательность сопло-диффузор образует микропульсации потока, которые помогают эффективнее смывать загрязнения с пластины, что приводит к меньшим затратам при обслуживании теплообменного аппарата.



Литература:

1. Бурцев С. А., Васильев В. К., Виноградов Ю. А., Киселёв Н. А., Титов А. А. Экспериментальное исследование характеристик поверхностей, покрытых регулярным рельефом. Наука и образование, 1, 2013, стр. 263-290