

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2023 Issue: 11 Volume: 127

Published: 30.11.2023 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Andrey Igorevich Popov

Samara State Technical University
Senior Lecturer

Dmitriy Mihailovich Bragin

Samara State Technical University
Assistant

Nikita Nikolaevich Kechin

Samara State Technical University
Graduate Student

Anton Vladimirovich Eremin

Samara State Technical University
Head of the Department of Industrial Heat Power Engineering

STUDY OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A CHANNEL WITH TPMS RIBBING

Abstract: The paper presents a study of heat and mass transfer in a channel, where triply periodic minimal surfaces (TPMS) are used to intensify heat transfer. TPMS are surfaces that have minimal mean curvature, have no self-intersections, and periodic in all directions of the Cartesian coordinate system. Their use in heat exchange devices can significantly increase the efficiency of the heat transfer. There are many types of TPMS. To determine the TPMS topology most suitable for intensification, a series of computational experiments were carried out in ANSYS Fluent. The results of the study demonstrate that TPMS ribs promote the formation of vortices in the fluid flow and increase heat transfer.

Key words: minimal surface, ANSYS, CFD modeling, heat and mass transfer, TPMS.

Language: Russian

Citation: Popov, A. I., Bragin, D. M., Kechin, N. N., & Eremin, A. V. (2023). Study of heat and mass transfer in a channel with TPMS ribbing. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11 (127), 406-410.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-11-127-50> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2023.11.127.50>

Scopus ASCC: 2611.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В КАНАЛЕ С TPMS ОРЕБРЕНИЕМ

Аннотация: В работе представлено исследование теплообмена в канале, где для интенсификации теплообмена применяются трижды периодические минимальные поверхности (TPMS). TPMS – это поверхности, которые обладают минимальной средней кривизной, не имеют самопересечений и периодичны во всех направлениях декартовой системы координат. Их применение в теплообменных устройствах может значительно повысить эффективность теплообмена. Существует множество видов TPMS. Для определения наиболее подходящей для интенсификации TPMS топологии проведена серия вычислительных экспериментов в ANSYS Fluent. Результаты исследования демонстрируют, что TPMS-оребрение способствует образованию завихрений в потоке жидкости и увеличивает теплоотдачу.

Ключевые слова: минимальная поверхность, ANSYS, CFD-моделирование, теплообмен, TPMS.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Введение

УДК 532.5

Разработка эффективных методов интенсификации процессов теплопереноса является важным направлением науки и инженерии. Как правило, увеличение эффективности теплообменного оборудования достигается за счет использования следующих подходов: оребрение поверхностей теплообмена, турбулизация потока, фазовые переходы, улучшение тепловой изоляции и т.д. [1-3]. Однако, данные методы интенсификации можно отнести к классическим. Они давно известны и их развитие достигло такой степени, при которой новые открытия в данной области не приносят значительной прибавки к эффективности теплообменного оборудования. В связи с этим в настоящей работе затрагивается вопрос создания совершенно новой конструкции теплообменных устройств, основанной на трижды периодических минимальных поверхностях (TPMS, от англ. triply periodic minimal surface) [4].

TPMS – это поверхности, имеющие кристаллическую симметрию, а также обладающие наименьшей средней кривизной среди всех поверхностей, который могут быть вписаны в один и тот же контур. Существует

множество работ, посвященных исследованию свойств трижды периодических минимальных поверхностей [5-9]. Особенно интересны механические свойства TPMS. Например, в работе [6] выполнено исследование прочности при сжатии напечатанных на 3D принтере образцов TPMS. Также стоит отметить, что большая площадь поверхности и необычная форма TPMS может способствовать турбулизации потока и значительному увеличению эффективности теплообмена [10-12].

Существует множество видов трижды периодических минимальных поверхностей, каждый из которых обладает своей особенной геометрией. В связи с этим возникает необходимость в определении наиболее эффективной TPMS для использования в теплообменном оборудовании. В настоящей работе проводится исследование влияния различных TPMS на температуру и гидродинамику потока жидкости в канале с квадратным сечением.

Постановка задачи

В статье рассматривается 5 видов TPMS, а именно: Schwarz Primitive, Neovius, Schoen's I-WP, Fischer-Koch S Surface, Schoen's O,C-TO (см. рис. 1).

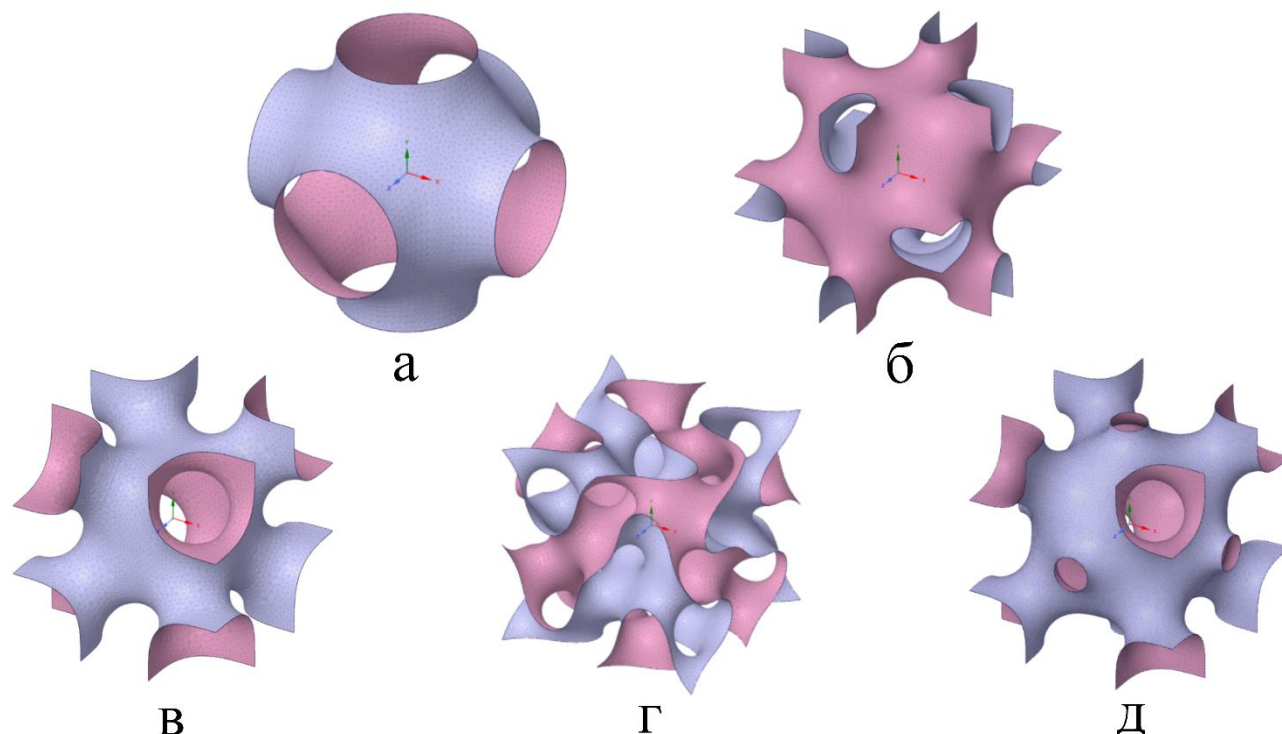


Рисунок 1. Трижды периодические минимальные поверхности: а) Schwarz P; б) Neovius; в) Schoen's I-WP; г) Fischer-Koch S Surface; д) Schoen's O,C-TO

Все исследуемые TPMS обладают кубической симметрией, то есть могут быть

идеально вписаны в куб с длиной ребра a . Каждой TPMS придается определенная толщина δ путем

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

построения эквидистант к исходной поверхности (см. рис. 2).

На рис. 2 изображена твердотельная модель трижды периодической минимальной поверхности Шварца Р. Определяющим параметром в данном исследовании является пористость структуры, которая принимается одинаковой для всех исследуемых типов TPMS, и определяется следующим выражением:

$$\phi = \frac{V_k - V_{TPMS}}{V_k} \quad (1)$$

где V_k – объем куба, в который вписана TPMS; V_{TPMS} – объем твердотельной TPMS.

Примем постоянной длину ребра куба $a = 5 \text{ мм}$ и пористость $\phi = 0.9$ для каждого типа TPMS и построим расчетную геометрию для задачи тепломассопереноса (см. рис. 3).

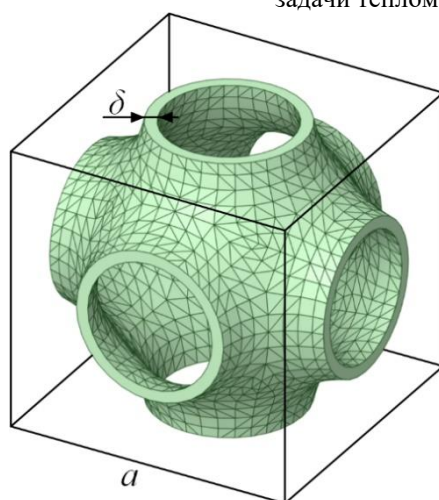


Рисунок 2. Твердотельная модель TPMS Шварца Р

Решение задачи течения жидкости через TPMS канал осуществляется методом конечных элементов в модуле Fluent программного комплекса ANSYS. На входе в канал задается скорость потока жидкости $v = 0.05, 0.1, 0.15 \text{ м/с}$ и

температура $T_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. К твердотельной TPMS, расположенной в центре канала, присоединена пластина, на поверхности которой задается граничное условие первого рода $T_{ст} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

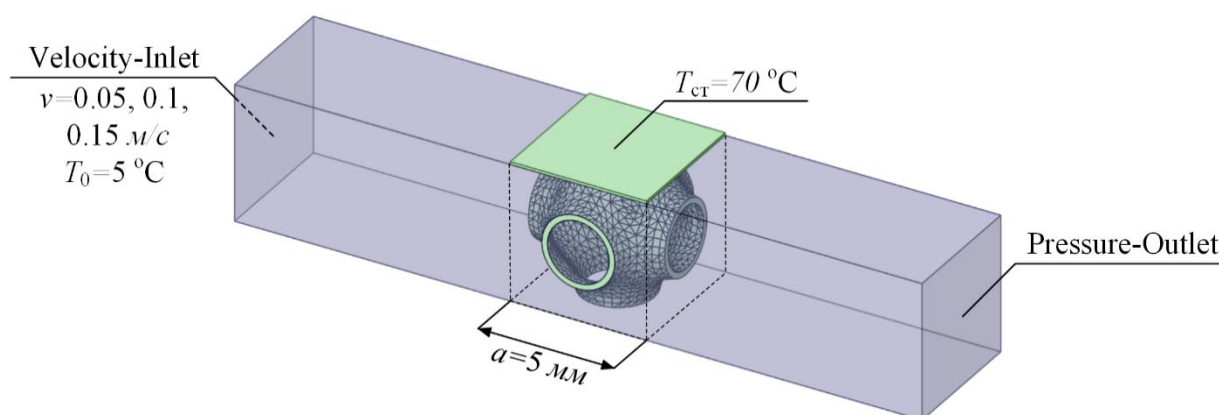


Рисунок 3. Схема задачи.

Твердотельной части геометрии присваивается материал алюминий с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 202.4 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, теплоемкостью $c_p = 871 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{C)}$ и плотностью $\rho = 2719 \text{ кг/м}^3$. В качестве жидкости, протекающей в канале, используется вода с теплопроводностью $\lambda = 0.6 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$,

теплоемкостью $c_p = 4182 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{C)}$, плотностью $\rho = 998.2 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\mu = 0.001003 \text{ кг/(мс)}$. Стоит отметить, что все указанные свойства в данном исследовании приняты постоянными и не зависящими от температуры.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Результаты

На рисунке 4 в качестве примера представлены, полученные в ходе численного решения, контуры распределения скорости и температуры в канале с TPMS Neovius. Из анализа рисунка видно, что вблизи стенок трижды периодической минимальной поверхности

образуются завихрения потока, которые способствуют интенсификации теплообмена. Подобная картина характерна для всех исследуемых видов TPMS, однако количество теплоты, передаваемой от нагретого каркаса к холодному потоку жидкости, будет отличаться у разных TPMS.

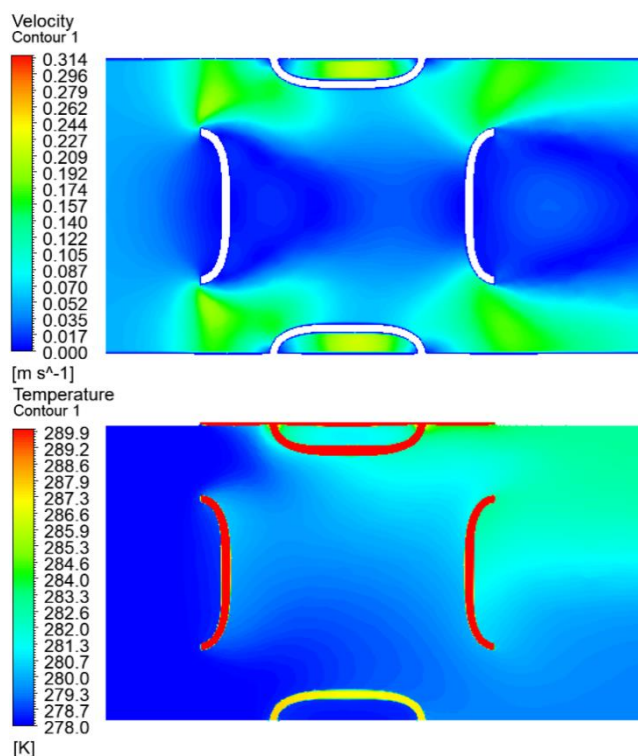


Рисунок 4. Контуры скорости и температуры в исследуемом канале.

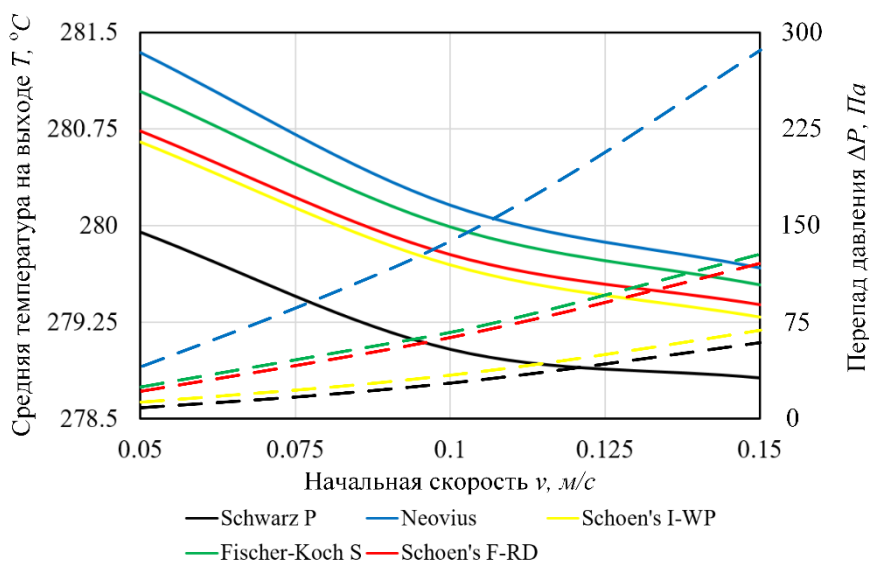


Рисунок 5. График зависимости температуры на выходе и перепада давления от начальной скорости.

Для более детального сравнения эффективности использования различных TPMS в

теплообменнике построим графики зависимости средней температуры на выходе из канала в

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

зависимости от начальной скорости потока (см. рис. 5). Также нанесем на данный график зависимость перепада давления от начальной скорости. Из анализа графика можно заключить, что наиболее эффективной с точки зрения теплоотдачи является TPMS Neovius. Однако, при течении жидкости через данную TPMS наблюдаются наибольшие потери давления. Хуже всего себя показала трижды периодическая минимальная поверхность Schwarz P, которой соответствует наименьшая эффективность теплоотдачи.

График на рис. 5 позволяет выбрать наиболее оптимальную топологию TPMS для задачи интенсификации теплообмена, что может быть полезно в различных отраслях промышленности, а также при проектировании теплообменного и другого оборудования.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>

References:

1. Lepesh, G. V., & Luneva, S. K. (2017). Povyshenie jeffektivnosti teploobmennyh apparatov. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2017, №. 1 (39), pp. 42-57.
2. Klemeš, J. J., et al. (2020). Heat transfer enhancement, intensification and optimisation in heat exchanger network retrofit and operation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, T. 120, p.109644.
3. Afanas`eva, I. V. (2019). Perspektivnye metody orebrenija teploobmennyh apparatov. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2019, №. 7, pp. 114-121.
4. Han, L., & Che, S. (2018). An overview of materials with triply periodic minimal surfaces and related geometry: from biological structures to self-assembled systems. *Advanced Materials*, 2018, T. 30, №. 17, p. 1705708.
5. Kaur, I., & Singh, P. (2021). Flow and thermal transport characteristics of Triply-Periodic Minimal Surface (TPMS)-based gyroid and Schwarz-P cellular materials. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2021, T. 79, №. 8, pp. 553-569.
6. Abueidda, D. W., et al. (2017). Mechanical properties of 3D printed polymeric cellular materials with triply periodic minimal surface architectures. *Materials & Design*, 2017, T. 122, pp. 255-267.
7. Balabanov, S. V., et al. (2020). Mechanical properties of 3D printed cellular structures with topology of triply periodic minimal surfaces. *Materials Today: Proceedings*, 2020, T. 30, pp. 439-442.
8. Cai, Z., et al. (2019). The effect of porosity on the mechanical properties of 3D-printed triply periodic minimal surface (TPMS) bioscaffold. *Bio-Design and Manufacturing*, 2019, T. 2, pp. 242-255.
9. Xu, H., et al. (2020). Piezoelectric properties of triply periodic minimum surface structures. *Composites Science and Technology*, 2020, T. 200, p. 108417.
10. Cheng, Z., Xu, R., & Jiang, P. X. (2021). Morphology, flow and heat transfer in triply periodic minimal surface based porous structures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2021, T. 170, p. 120902.
11. Clarke, D. A., et al. (2021). Investigation of flow through triply periodic minimal surface-structured porous media using MRI and CFD. *Chemical Engineering Science*, 2021, T. 231, p. 116264.
12. Li, W., Li, W., & Yu, Z. (2022). Heat transfer enhancement of water-cooled triply periodic minimal surface heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 2022, T. 217, p. 119198.