

# Самозаклинивающиеся структуры

А.Я. Белов<sup>1</sup>, Д.Д. Воробьев<sup>2</sup>, Д.А. Завадский<sup>2</sup>, Ф.К. Нилов<sup>2</sup>, А.В. Сайгак<sup>3</sup>, Д.И. Сорокина<sup>4</sup>, and А.А. Шамсутдинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>4</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

19 марта 2024 г.

Известно, что если на плоскости имеется конечный набор выпуклых фигур, внутренности которых не пересекаются, то среди этих фигур имеется хотя бы одна крайняя - такая, которую можно непрерывно передвинуть “на бесконечность” (за пределы большого круга, содержащего остальные фигуры), оставляя все остальные фигуры неподвижными и не пересекая их внутренности в процессе движения. Около пятнадцати лет назад было обнаружено, что в пространстве размерности три имеет место феномен самозаклинивающихся структур. Самозаклинивающаяся структура — это такой конечный (или бесконечный) набор выпуклых тел с непересекающимися внутренностями, что если зафиксировать все, кроме любого одного, оставшееся нельзя “унести на бесконечность”.

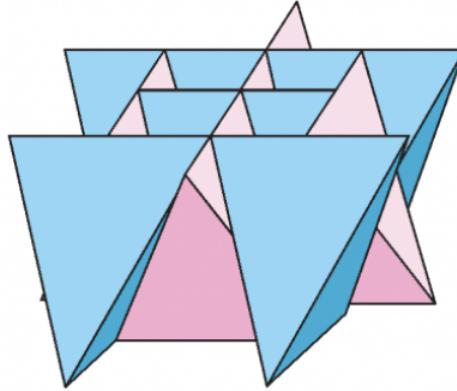
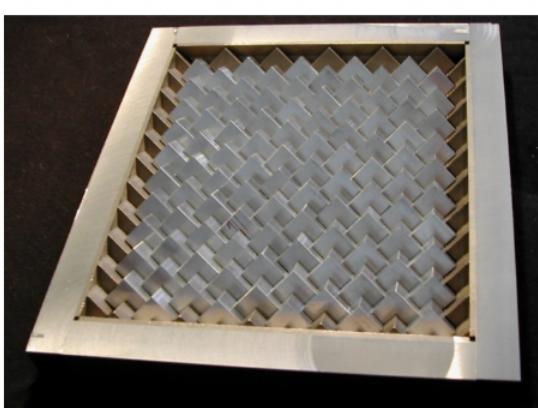


Рис. 1: Самозаклинивающиеся структуры из тетраэдров и кубов

Известные структуры базировались на рассмотрении слоя из кубов, тетраэдров и октаэдров. Они обладают высокой прочностью, остаются таковыми даже при разрушении части зерен, трещины останавливаются на границах между зернами, а зерна друг друга держат. По этой причине самозаклинивающиеся структуры могут быть использованы в инженерном деле. Уже создана специальная лаборатория под руководством Ю. Эстринга, выигран ряд грантов.

На научной смене в Сириусе в 2023 году были разработаны несколько принципиально новых многослойных структур, обладающих дополнительными свойствами. По итогам семинара в Магнитогорске в 2024 году были зарегистрированы два патента.

Рассмотрим одинаковые выпуклые многогранники, замощающие пространство. Это могут быть, например, кубы, ромбододекаэдры или усеченные октаэдры. Перекосим грань каждого многогранника так, как это показано на картинке: каждая грань поворачивается относительно направленного отрезка, лежащего в этой грани.

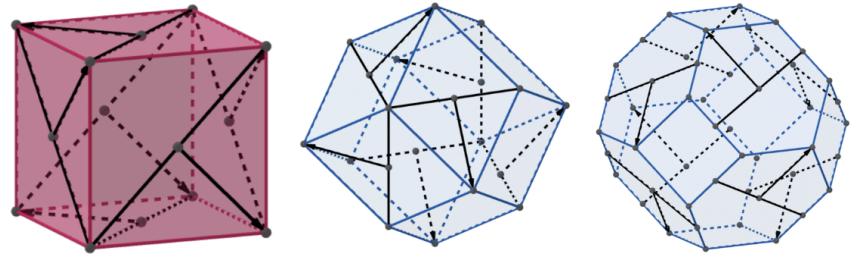


Рис. 2: Перекашивание граней

Из копий перекошенного таким образом многогранника собирается многослойная самозаклинившаяся структура.

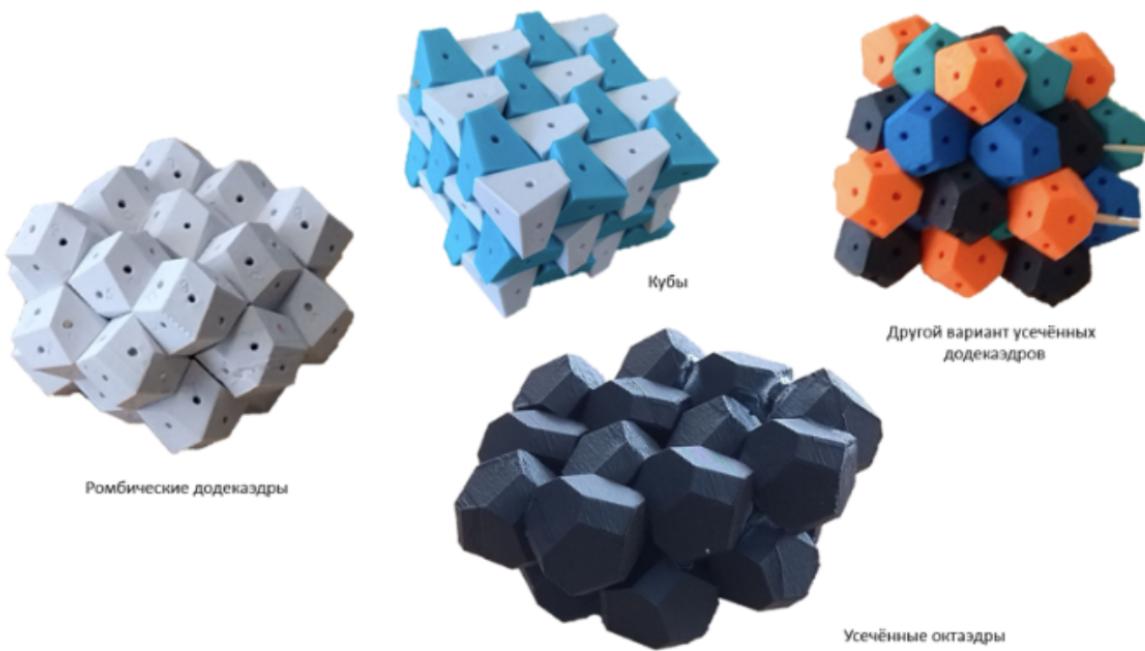


Рис. 3: Новые многослойные самозаклинивающиеся структуры

Назовем слоем заклиненности подмножество блоков, образующих плоскую самозаклинивающуюся структуру. В предложенных нами структурах каждый многогранник содержится сразу в нескольких различных слоях заклиненности. Это позволяет использовать данные сборки в создании массивных материалов, способных противостоять росту трещин, демпфированию вибрации, превосходящие по показателю ковкости материалы, из которых состоят блоки. Для получения и исследования структур была написана компьютерная программа, содержащая в себе функцию оценки "заклиненности" блока и перекос граней.

## **Источник финансирования**

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Научно-образовательного математического центра Приволжского федерального округа (соглашение № 075-02-2021-1393) и была поддержана грантом РНФ номер 22 -1920073.

## **Список литературы**

А.Я. Белов, Самозаклинивающиеся структуры, Квант, 2009, номер 1, 20–23

## **Патенты**

1) Белов Алексей Яковлевич, Локотунина Наталья Михайловна, Пивоварова Ксения Григорьевна, Певницкий Дмитрий Львович, Шамсутдинов Артем Анварович, Нилов Федор Константинович, Полозков Сергей Сергеевич, Завадский Дмитрий Алексеевич, Сорокина Дарья Игоревна, Сайгак Алла Владимировна, Воробьев Денис Денисович, Бахчев Арсений Дмитриевич, Антивибрационная подложка, Тип: патент на изобретение Номер патента: RU 2813410 С1 Патентное ведомство: Россия Год публикации: 2024 Дата регистрации: 08.12.2023 Дата публикации: 12.02.2024 Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова” МЕЖДУНАРОДНАЯ ПАТЕНТНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ: B32B 3/00 Слоистые изделия, содержащие слой с внешней или внутренней прерывистостью или неровностью, 20

2) Белов Алексей Яковлевич, Пивоварова Ксения Григорьевна, Локотунина Наталья Михайловна, Певницкий Дмитрий Львович, Нилов Федор Константинович, Полозков Сергей Сергеевич, Шамсутдинов Артем Анварович, Завадский Дмитрий Алексеевич, Сорокина Дарья Игоревна, Сайгак Алла Владимировна, Воробьев Денис Денисович, Сборная многослойная конструкция для использования в качестве деталей оборудования и элементов строительства, Тип: патент на изобретение Номер патента: RU 2813412 С1 Патентное ведомство: Россия Год публикации: 2024 Дата регистрации: 08.12.2023 Дата публикации: 12.02.2024 Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова” МЕЖДУНАРОДНАЯ ПАТЕНТНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ: B32B 3/00 Слоистые изделия, содержащие слой с внешней или внутренней прерывистостью или неровностью, 2024