

ModenaFiere
3-rd Congress for the Polymer
Composites Materials Technologies
October 13-14, 2010, Modena, Italy



**КОМПОЗИТНЫЕ СТРУКТУРЫ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОГО СЕКТОРА**

**COMPOSITE STRUCTURES
FROM POLYMER MATRIX MATERIALS
FOR THE AEROSPACE SECTOR**

**Prof. I.M. Zakirov,
Prof. V.N. Paimushin
Associative prof. K.A. Alexeev**

**Kazan State Technical University n.a. A.N. Tupolev
10, K.Marx St., Kazan, Tatarstan 420111, Russia.**

Phone: +7 843 571 34 70, Fax: +7 843 510 53 71 Email: nurzak@mail.ru, Web: www.kai.ru



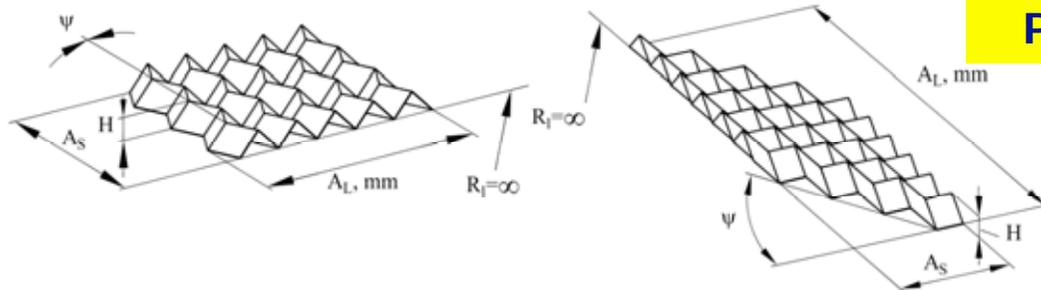
Схема технологического процесса формообразования Shaping Sequence

Этапы складывания
и калибровки
Folding and calibration stages

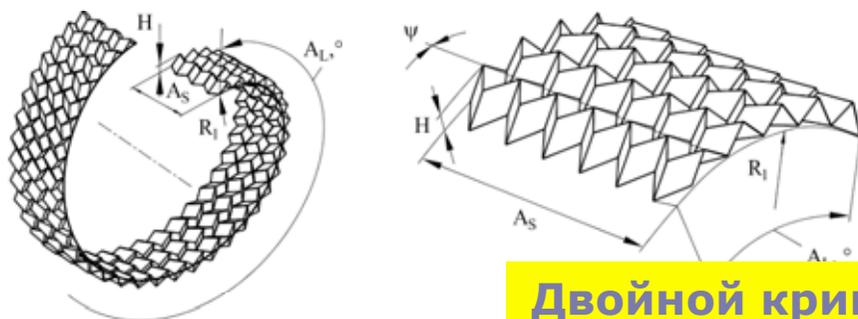


Архитектурные формы складчатых структур Architectural forms of folded structures

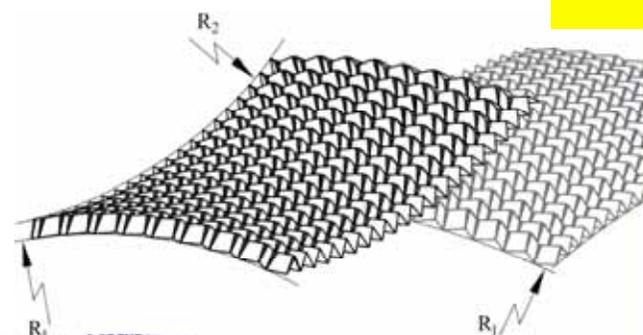
Плоская
Plane



Одиной кривизны
Single curvature

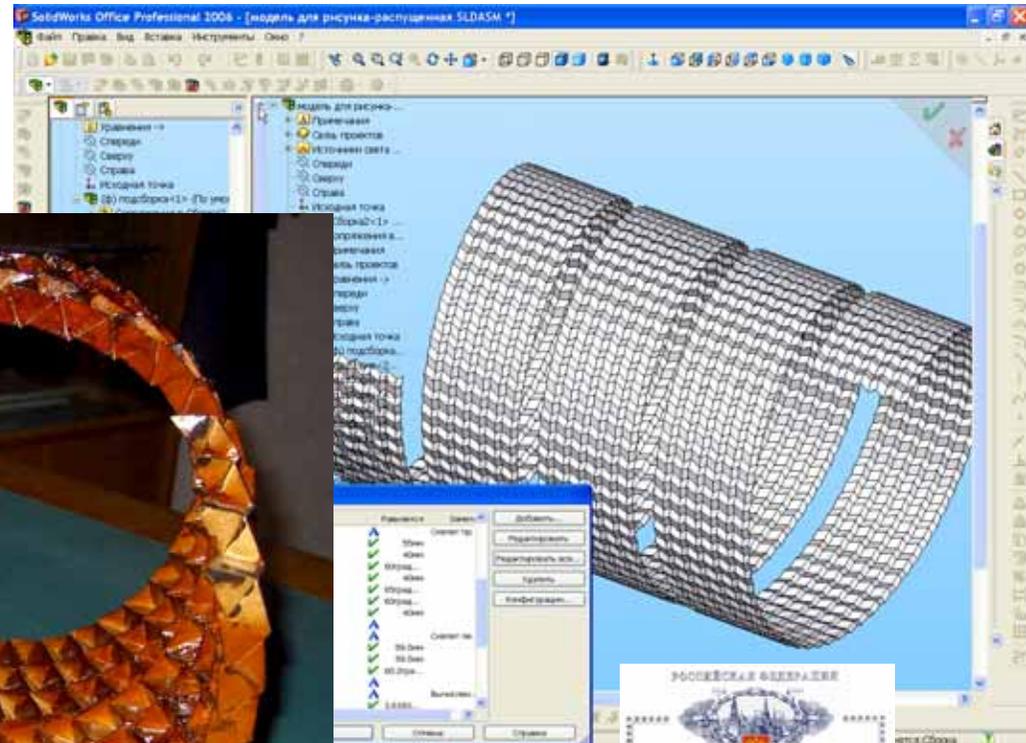
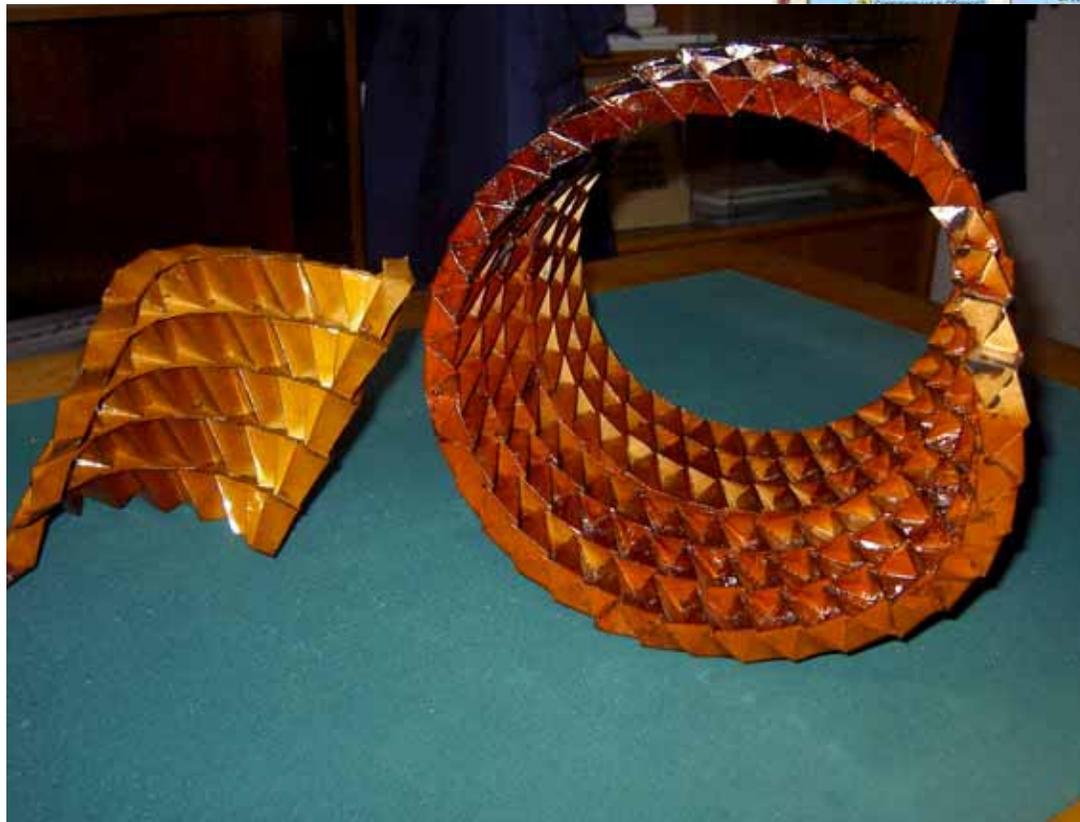


Двойной кривизны и переменной высоты
Double curvature and variable height

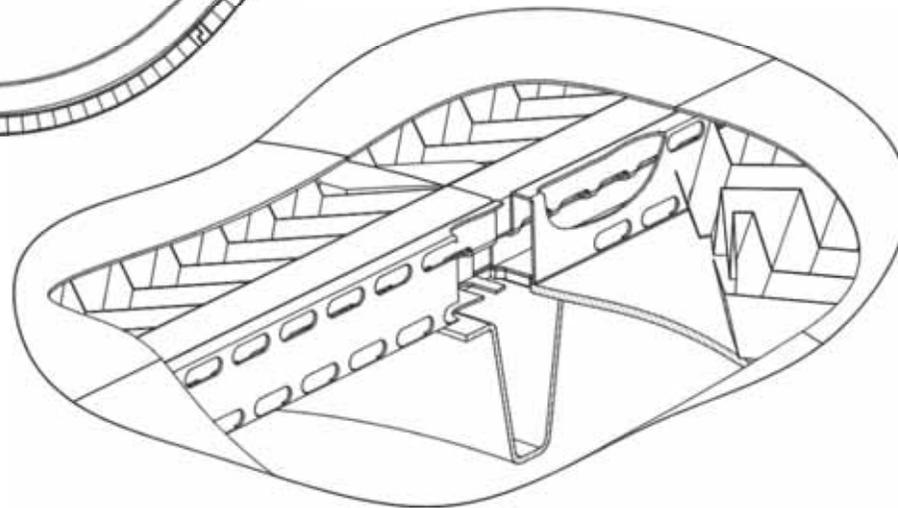
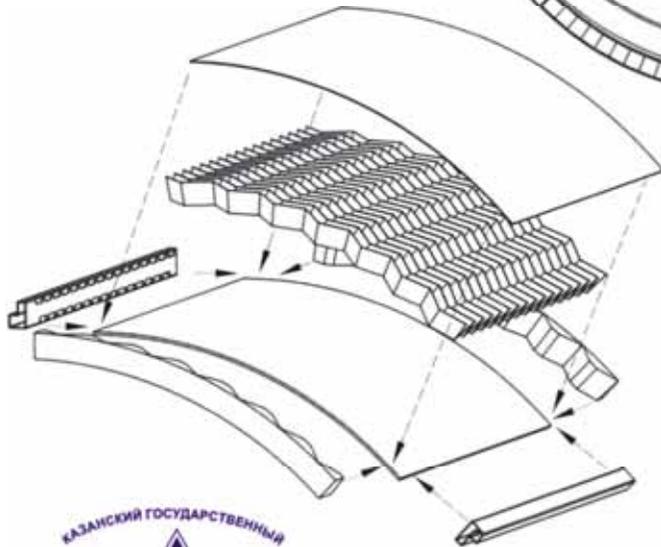
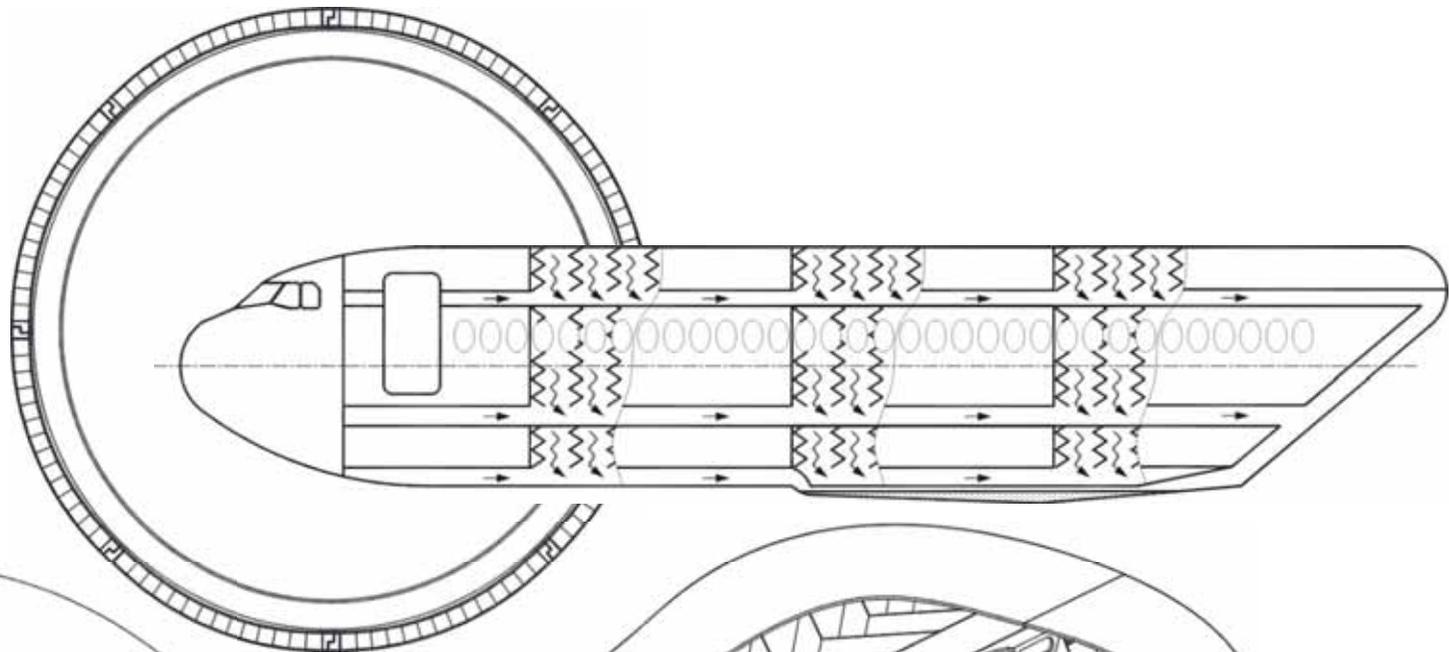


Шевронные структуры Chevron Structures

Спиралевидная структура Helix shaped structure



Способ дренирования панелей фюзеляжа самолета Aircraft Fuselage Panel Drainage



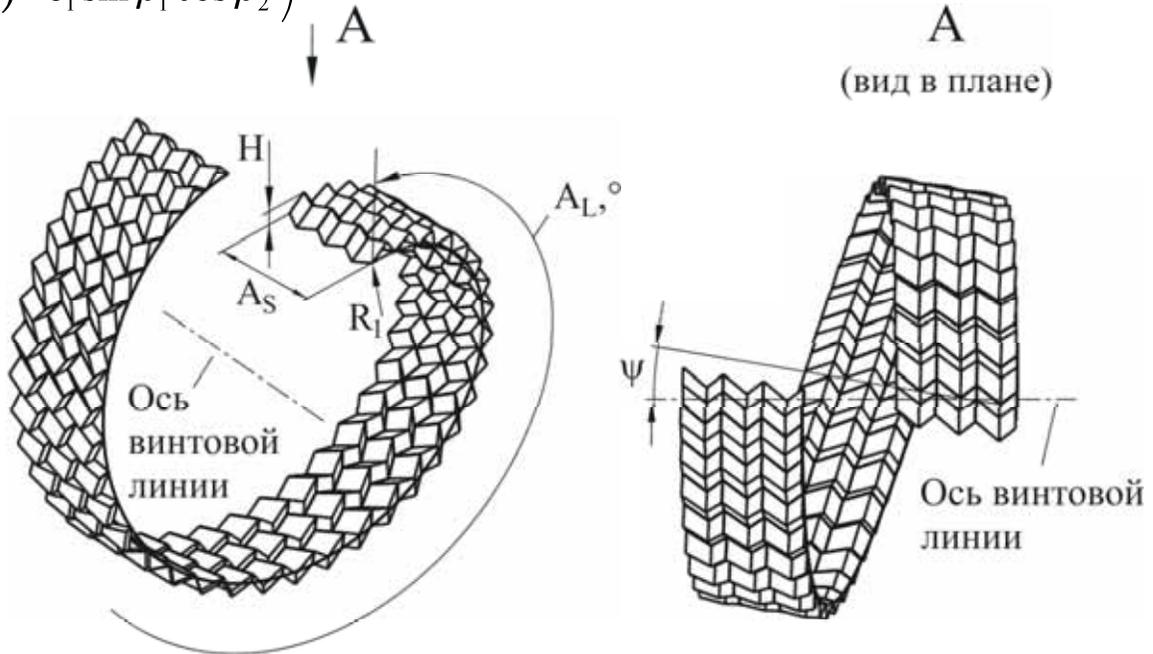
Шевронные структуры Chevron Structures

Закономерности образования шевронных складчатых структур Regularities of chevron fold structures construction

Transformation parameter in ultimate compressed state:

$$\alpha_{i\delta\ddot{a}\ddot{a}} = 2 \left(90 - \operatorname{arctg} \frac{b_1 \sin \beta_1 \sin \beta_2}{b_0 \sin(\beta_1 - \beta_0) - b_1 \sin \beta_1 \cos \beta_2} \right), \quad (\beta_2 < \beta_0); \quad \alpha_{i\delta\ddot{a}\ddot{a}} = 2(90 - \beta_1), \quad (\beta_2 > \beta_0)$$

- $a_0, a_1, b_0, b_1, \beta_0, \beta_1, \beta_2$ – internal geometry parameters;
- n_S, n_L – elementary modules number;
- α – transformation parameter of folded structure.



Шевронные структуры Chevron Structures

Определение конструктивных параметров криволинейной ячеистой ШСК Determining the design parameters of the helix shaped structure

$$R_1 = \sqrt{\left(\frac{X_{N1} + X_{N5}}{2} - X_{0C}\right)^2 + \left(\frac{Y_{N1} + Y_{N5}}{2} - Y_{0C}\right)^2} \quad \text{- radius of inside cylinder curvature;}$$

$$R_2 = \sqrt{X_{0C}^2 + Y_{0C}^2} \quad \text{- radius of outside cylinder curvature;}$$

$$t = \frac{2\pi(Z_{C8} - Z_{C6})}{\arccos \frac{(X_{0C} - X_{C8})(X_{0C} - X_{C6}) + (Y_{0C} - Y_{C8})(Y_{0C} - Y_{C6})}{\sqrt{(X_{0C} - X_{C8})^2 + (Y_{0C} - Y_{C8})^2} \sqrt{(X_{0C} - X_{C6})^2 + (Y_{0C} - Y_{C6})^2}}} \quad \text{- helix step.}$$

$$\psi = \arcsin \frac{Z_{C8} - Z_{C6}}{\sqrt{(X_{T8} - X_{T6})^2 + (Y_{T8} - Y_{T6})^2 + (Z_{T8} - Z_{T6})^2}} \quad \text{- value characterizing the distortion of the folded block.}$$

$$X_{0C} = \frac{(Y_{C5} - Y_{C1})[X_{mid6-8}(X_{C6} - X_{C8}) + Y_{mid6-8}(Y_{C6} - Y_{C8})] - (Y_{C8} - Y_{C6})[X_{mid1-5}(X_{C1} - X_{C5}) + Y_{mid1-5}(Y_{C1} - Y_{C5})]}{(X_{C5} - X_{C1})(Y_{C8} - Y_{C6}) - (X_{C8} - X_{C6})(Y_{C5} - Y_{C1})}$$

$$Y_{0C} = \frac{(X_{C8} - X_{C6})[X_{mid1-5}(X_{C1} - X_{C5}) + Y_{mid1-5}(Y_{C1} - Y_{C5})] - (X_{C5} - X_{C1})[X_{mid6-8}(X_{C6} - X_{C8}) + Y_{mid6-8}(Y_{C6} - Y_{C8})]}{(X_{C5} - X_{C1})(Y_{C8} - Y_{C6}) - (X_{C8} - X_{C6})(Y_{C5} - Y_{C1})}$$

Шевронные структуры Chevron Structures

Определение конструктивных параметров криволинейной ячеистой ШСК Determining the design parameters of the helix shaped structure

$$X_{Ci} = X_{Ti}s_{11} + X_{Ti}s_{12} + X_{Ti}s_{13}$$

$$Y_{Ci} = Y_{Ti}s_{21} + Y_{Ti}s_{22} + Y_{Ti}s_{23}$$

$$Z_{Ci} = Z_{Ti}s_{31} + Z_{Ti}s_{32} + Z_{Ti}s_{33}$$

$$s_{21} = \frac{-A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

$$s_{22} = \frac{-B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

$$s_{23} = \frac{-C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

$$s_{31} = \frac{X_{T8} - X_{T2}}{\sqrt{(X_{T8} - X_{T2})^2 + (Y_{T8} - Y_{T2})^2 + (Z_{T8} - Z_{T2})^2}}$$

$$s_{32} = \frac{Y_{T8} - Y_{T2}}{\sqrt{(X_{T8} - X_{T2})^2 + (Y_{T8} - Y_{T2})^2 + (Z_{T8} - Z_{T2})^2}}$$

$$s_{11} = \frac{X_{T6} - X_{T9}}{\sqrt{(X_{T6} - X_{T9})^2 + (Y_{T6} - Y_{T9})^2 + (Z_{T6} - Z_{T9})^2}},$$

$$s_{12} = \frac{Y_{T6} - Y_{T9}}{\sqrt{(X_{T6} - X_{T9})^2 + (Y_{T6} - Y_{T9})^2 + (Z_{T6} - Z_{T9})^2}},$$

$$s_{13} = \frac{Z_{T6} - Z_{T9}}{\sqrt{(X_{T6} - X_{T9})^2 + (Y_{T6} - Y_{T9})^2 + (Z_{T6} - Z_{T9})^2}}$$

$$X_{mid\ 1-5} = \frac{X_{\tilde{N}1} + X_{\tilde{N}5}}{2}, \quad Y_{mid\ 1-5} = \frac{Y_{\tilde{N}1} + Y_{\tilde{N}5}}{2}, \quad X_{mid\ 6-8} = \frac{X_{\tilde{N}6} + X_{\tilde{N}8}}{2}, \quad Y_{mid\ 6-8} = \frac{Y_{\tilde{N}6} + Y_{\tilde{N}8}}{2}$$

$$A = Y_{T2}(Z_{T4} - Z_{T8}) + Y_{T4}(Z_{T8} - Z_{T2}) + Y_{T8}(Z_{T2} - Z_{T4}),$$

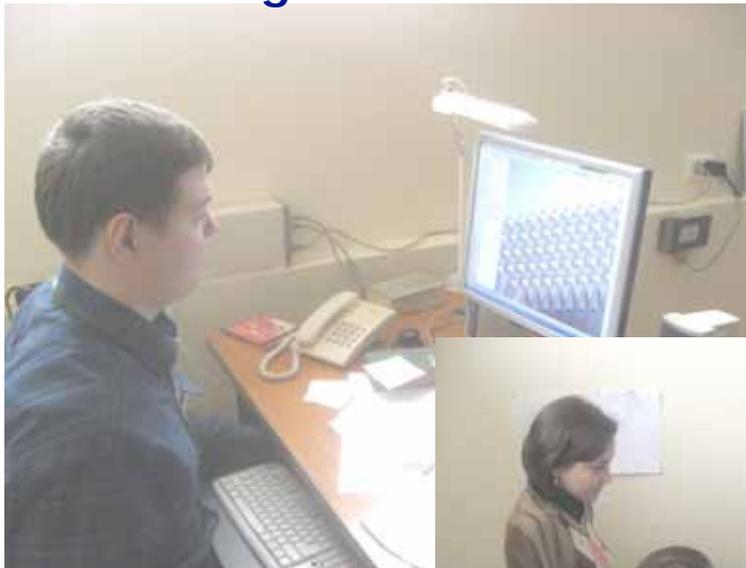
$$B = X_{T2}(Z_{T8} - Z_{T4}) + X_{T4}(Z_{T2} - Z_{T8}) + X_{T8}(Z_{T4} - Z_{T2}),$$

$$C = X_{T2}(Y_{T4} - Y_{T8}) + X_{T4}(Y_{T8} - Y_{T2}) + X_{T8}(Y_{T2} - Y_{T4})A$$

$$s_{33} = \frac{Z_{T8} - Z_{T2}}{\sqrt{(X_{T8} - X_{T2})^2 + (Y_{T8} - Y_{T2})^2 + (Z_{T8} - Z_{T2})^2}}$$

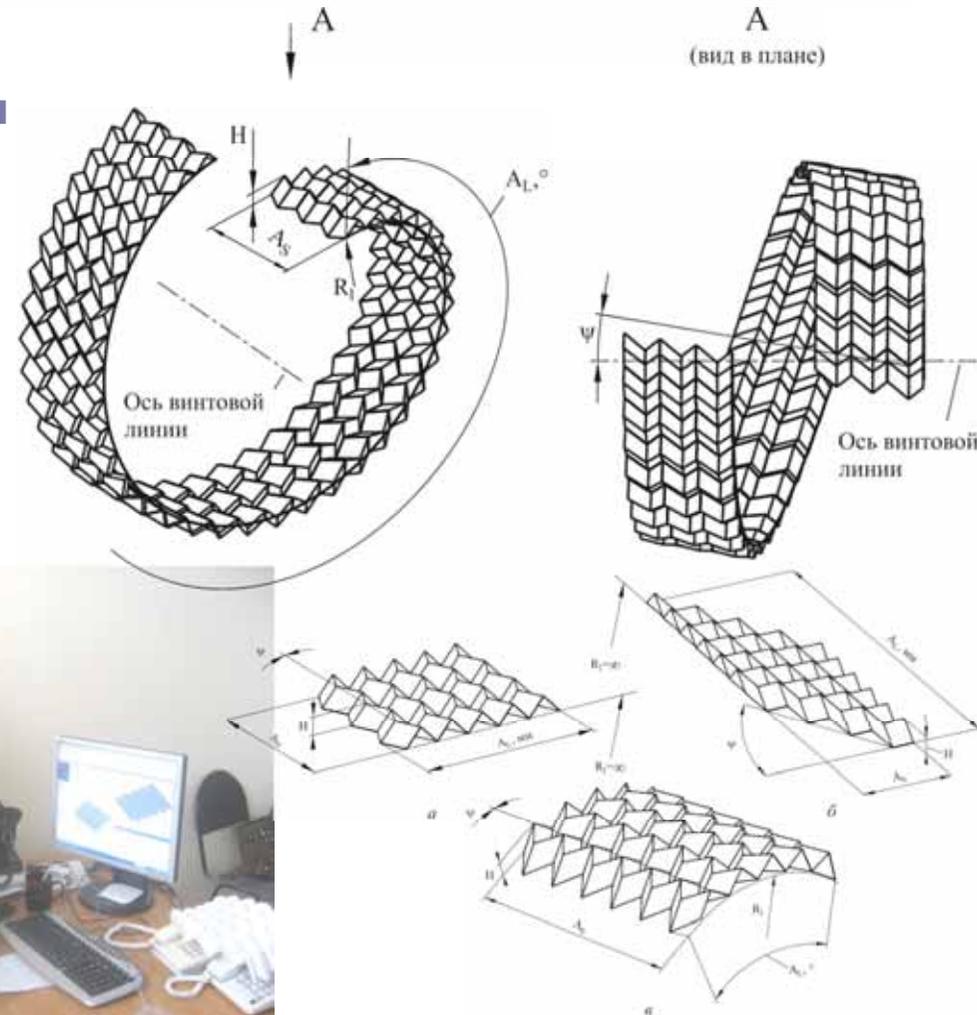
Научно-исследовательские лаборатории по технологии шевронных структур Research Laboratories for Chevron Constructions Production Engineering

Лаборатория Автоматизации
проектирования
Design Automation Lab



Используемое ПО:
Used Software:

1. CATIA V5
2. SolidWorks



Научно-исследовательские лаборатории по технологии шевронных структур **Research Laboratories for Chevron Constructions Production Engineering**



Лаборатория подготовки образцов
Для испытаний и термообработки

**Test Specimens Production
and Thermal Treatment Laboratory**



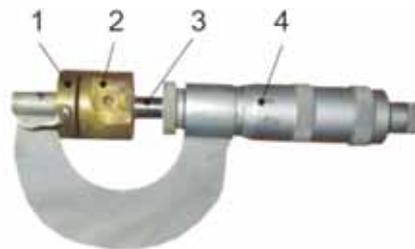
Лаборатория пропитки
Impregnation Laboratory

Научно-исследовательские лаборатории по технологии шевронных структур

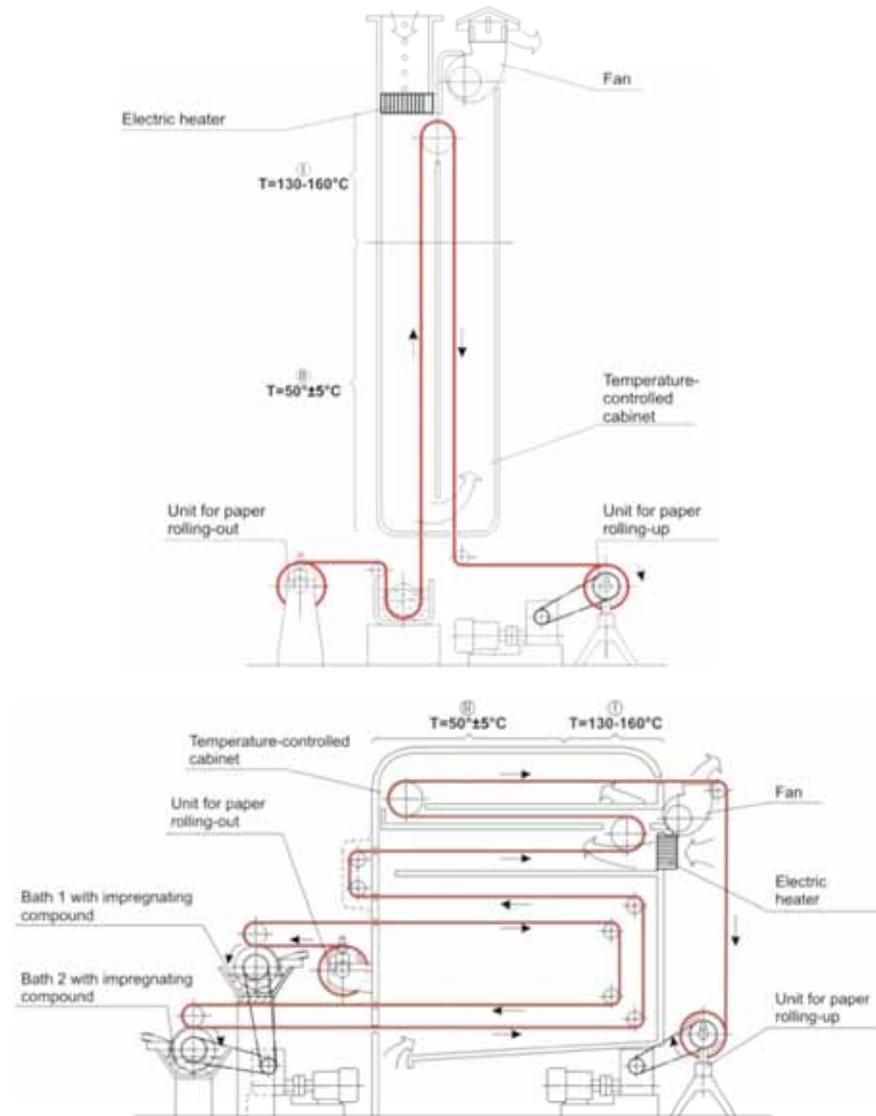
Research Laboratories for Chevron Constructions Production Engineering

Лаборатория исследования параметров полимеризации

Physical-Chemical Analysis Lab
(research of binder service properties)



Установка для нанесения покрытия окунанием Installation for Dip Coating



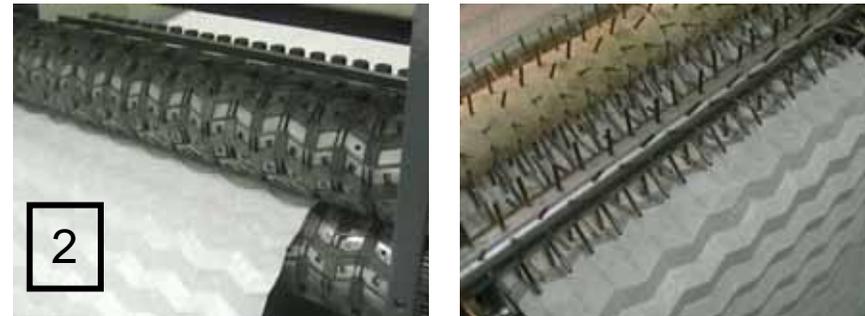
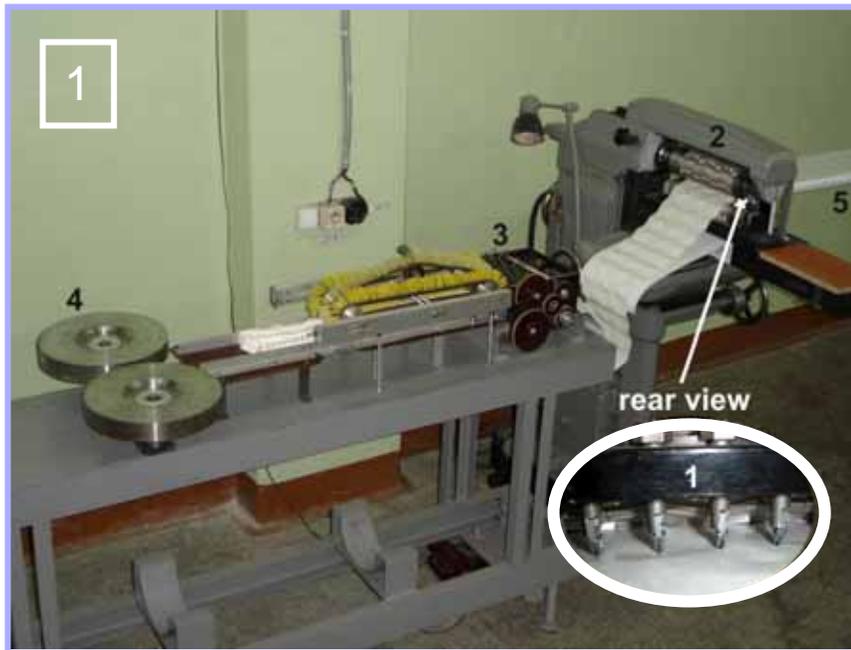
Установка для нанесения покрытия распылением Installation for Spraying



Научно-исследовательские лаборатории по технологии шевронных структур Research Laboratories for Chevron Constructions Production Engineering

Лаборатория ротационного формообразования

Rotary Shaping Lab



Установки для ротационного формообразования:

Rotary Shaping Machines:

1. экспериментальная / experimental (L = 200 mm)
2. опытно-промышленная / experimental-industrial (L = 700 mm)
3. модуль промышленной установки / industrial module (L = 1050 mm)

Схема предварительного ротационного формообразования Preliminary Folding by Rotary Shaping

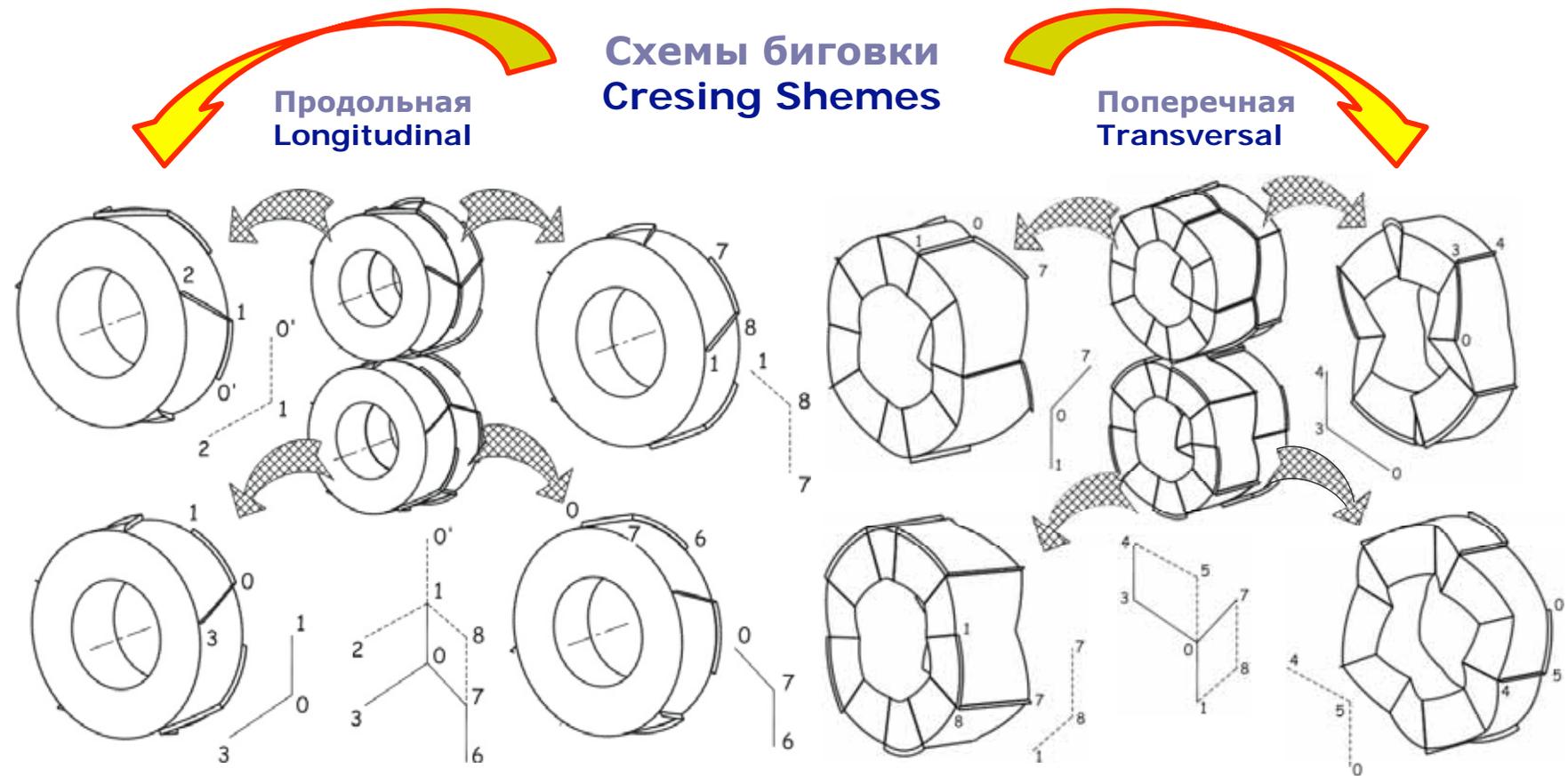
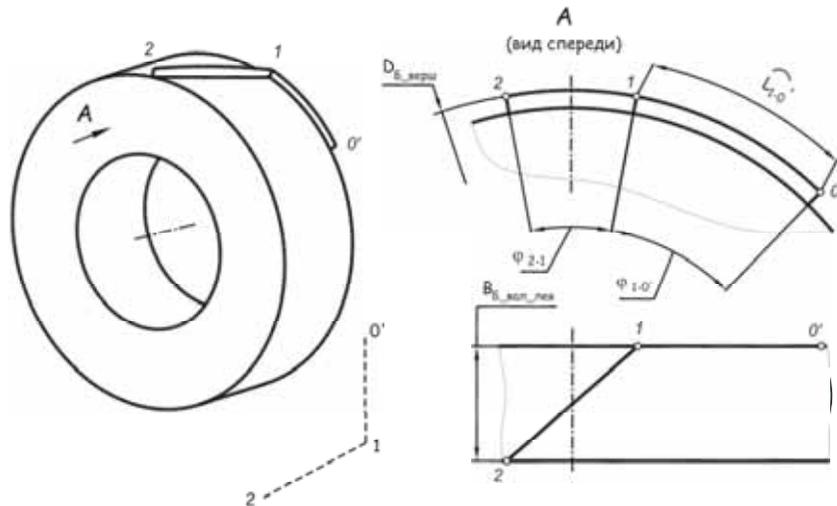


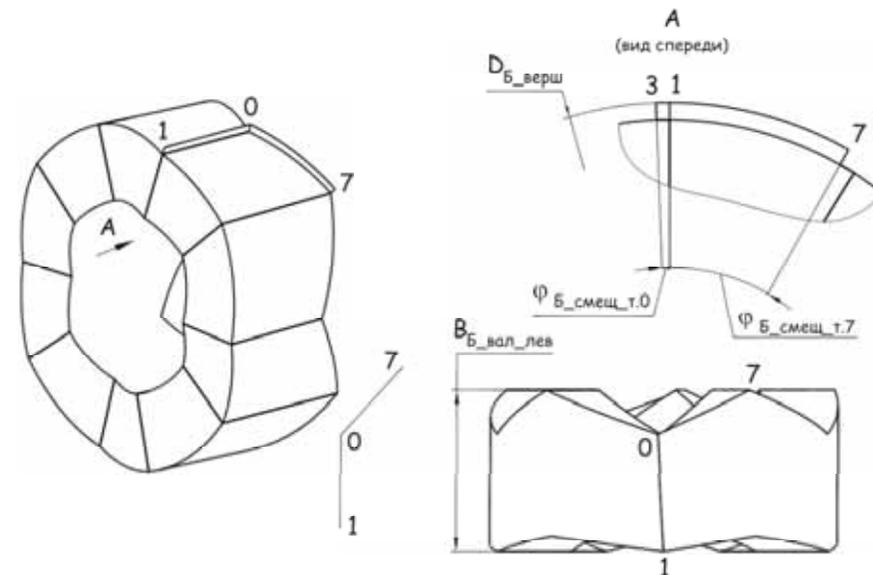
Схема предварительного ротационного формообразования Preliminary Folding by Rotary Shaping

Параметры валков Rolling Parameters

Продольная
Longitudinal



Поперечная
Transversal



$$D_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{d}\ddot{o}} = \frac{n_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{e}} (a_0 + a_1)}{\pi}$$

$$\varphi_{L_{i-j}} = \frac{360L_{i-j}}{\pi D_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{d}\ddot{o}}}$$

$$B_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{e}\ddot{k}} = b_i \sin \beta_i$$

$$n_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{k}.m.} = \frac{B_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{e}}}{\pi D_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{d}\ddot{o}} \operatorname{tg} \beta_i}$$

$$D_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{d}\ddot{o}} = \frac{n_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{e}} (L_{2'-1} + L_{1-8'})}{\pi}$$

$$\psi = \arctg \left(\frac{b_1 \cos \beta_2 - b_0 \cos \beta_0}{b_0 \sin \beta_0 + b_1 \sin \beta_2} \right)$$

$$\varphi_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{e}\ddot{k}.7} = \frac{360L_{1-7''}}{\pi D_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{d}\ddot{o}}}$$

$$B_{\dot{A}\ddot{a}\ddot{e}\ddot{k}} = L_{3-3'} + L_k$$

Схема предварительного ротационного формообразования Preliminary Folding by Rotary Shaping

Технические характеристики узла биговки-гибки (H=25 мм) Preliminary Folding Module Technical Characteristics (H=25 mm)

Ширина заготовки - 820 мм;
Blank width - 820 mm;

Схема ориентации гофра - поперечная;
Crimp orientation - transversal.

Геометрические параметры ШСК FC Geometrical Parameters

Шаг по ЗОЛ (2S) - 50 мм;
Zigzag Line Step (2S) - 50 mm;

Шаг по ПОЛ (2L) - 25 мм;
Saw-Tooth Line Step (2L) - 25 mm;

Высота ШСК (H) - 25 мм;
Folded structure height - 25 mm;

Амплитуда ЗОЛ (V) - 25 мм;
Saw-Tooth Line amplitude - 25 mm.



Схема окончательного ротационного складывания Final Rotary Folding

$$D_{\max \ i-i}^j = \frac{2L_{i-i}^j}{\pi} n_i^j \quad \text{- star wheel diameter, max}$$

$$D_{\min}^j = \frac{2L_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}^j}{\pi} n_i^j \quad \text{- star wheel diameter, min}$$

$$H_{i \ \hat{a}\hat{e} \ \hat{o}}^j = D_{\min}^j \cos \frac{\alpha_i^j}{2} - H_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}^j \quad \text{- distance between axes}$$

$$\alpha_{\hat{n}\hat{i} \ i-i}^j = \frac{360V_{\hat{a}\hat{o}}^j}{\pi D_{\max \ i-i}^j} \quad \text{- angular displacement between adjacent star wheels}$$

$$S_{\hat{o}\hat{y}\hat{a}\hat{a}}^j = n_{\hat{e}\hat{o}}^j S_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}^j \quad \text{- distance between adjacent star wheels}$$

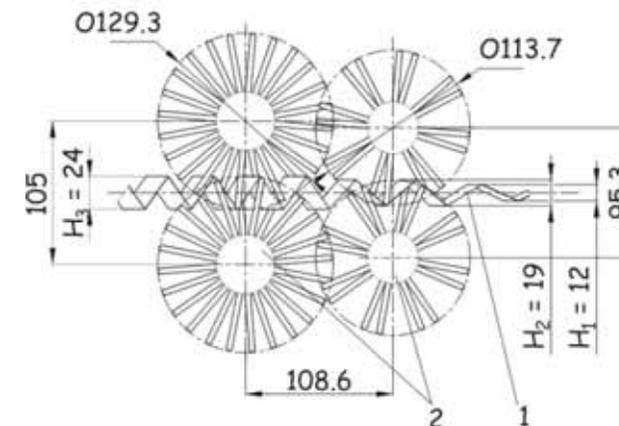
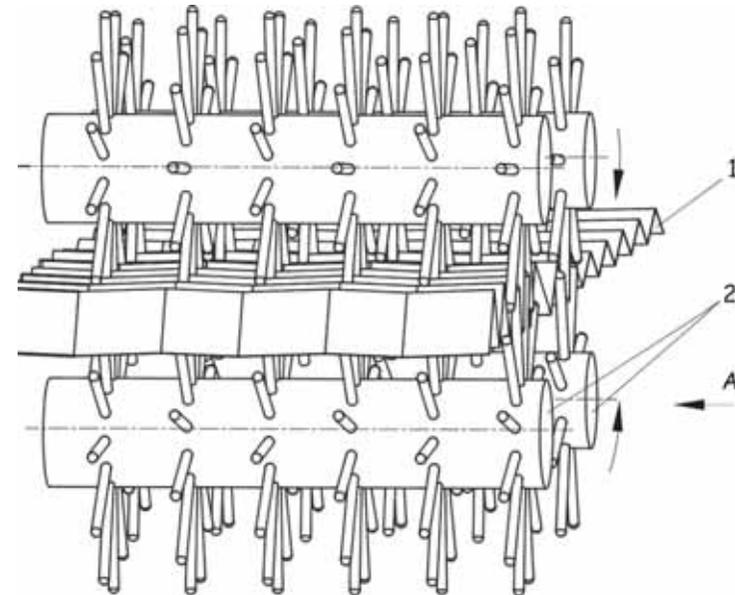


Схема окончательного ротационного складывания Final Rotary Folding

Технические характеристики узла складывания (H=25 мм) Final Rotary Folding Module Technical Characteristics (H=25 mm)

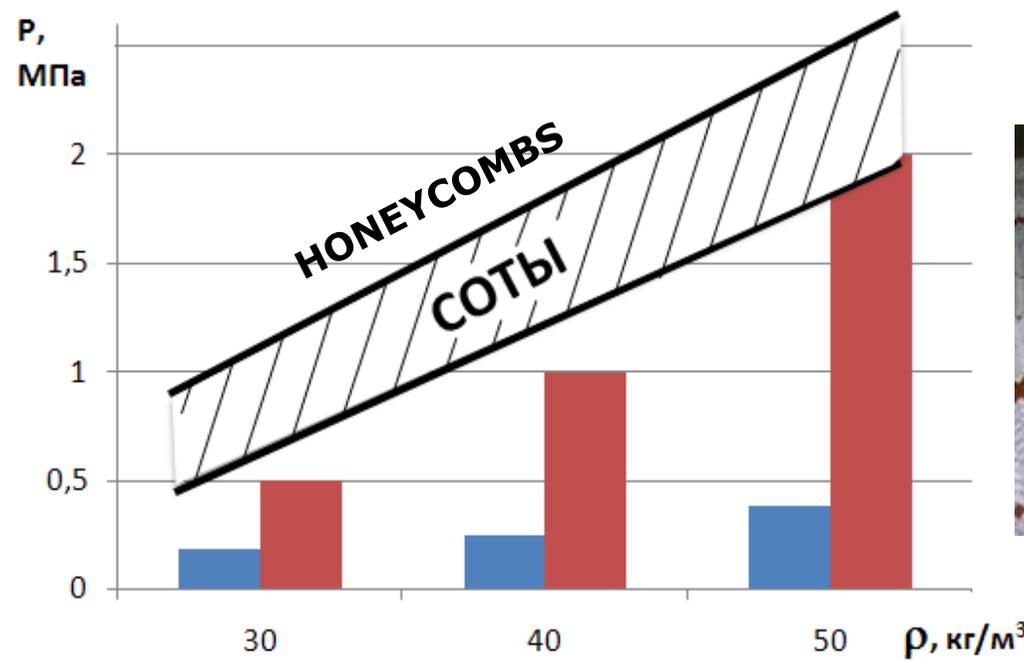
- Пальцы звездочек - неориентируемые;
Star pins - nonorientable;
- Количество ступеней складывания - 1;
Final Rotary Folding Stage Number - 1;
- Количество ЭМ, обрабатываемых за
один оборот - 8;
Number of Elementary Modules, handled per
revolution - 1;
- Перепад высот, срабатываемый в
ступени - 18 мм.
FC Elevation, operated in stage - 18 mm.



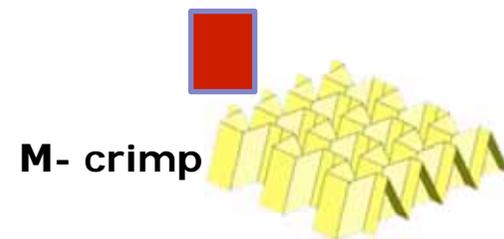
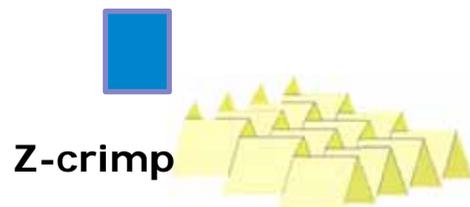
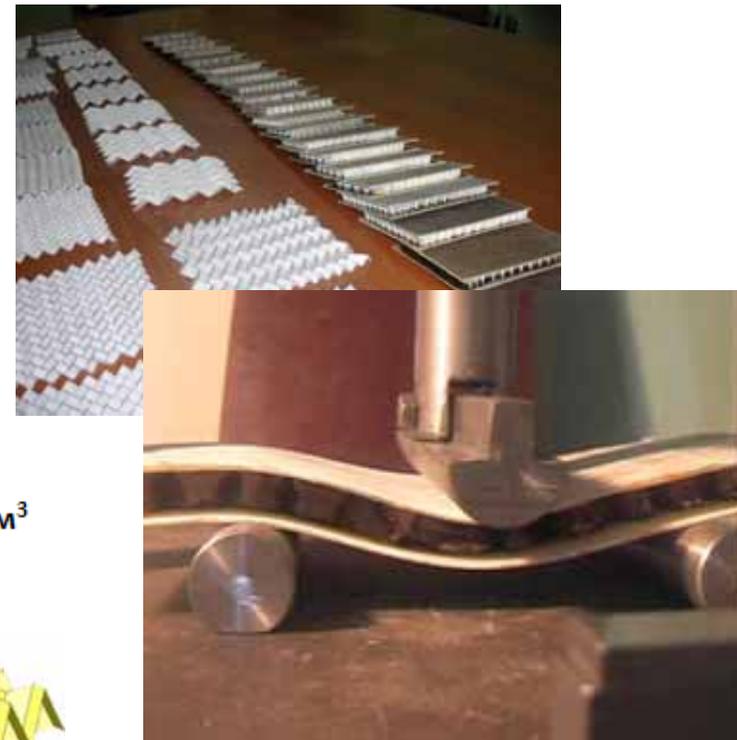
Выбор оптимальных параметров структуры Structure Optimal Parameters Selection

Сравнение типов заполнителя между собой по критерию «вес-прочность»
Comparison of core types between each other by the criterion of "weight-strength"

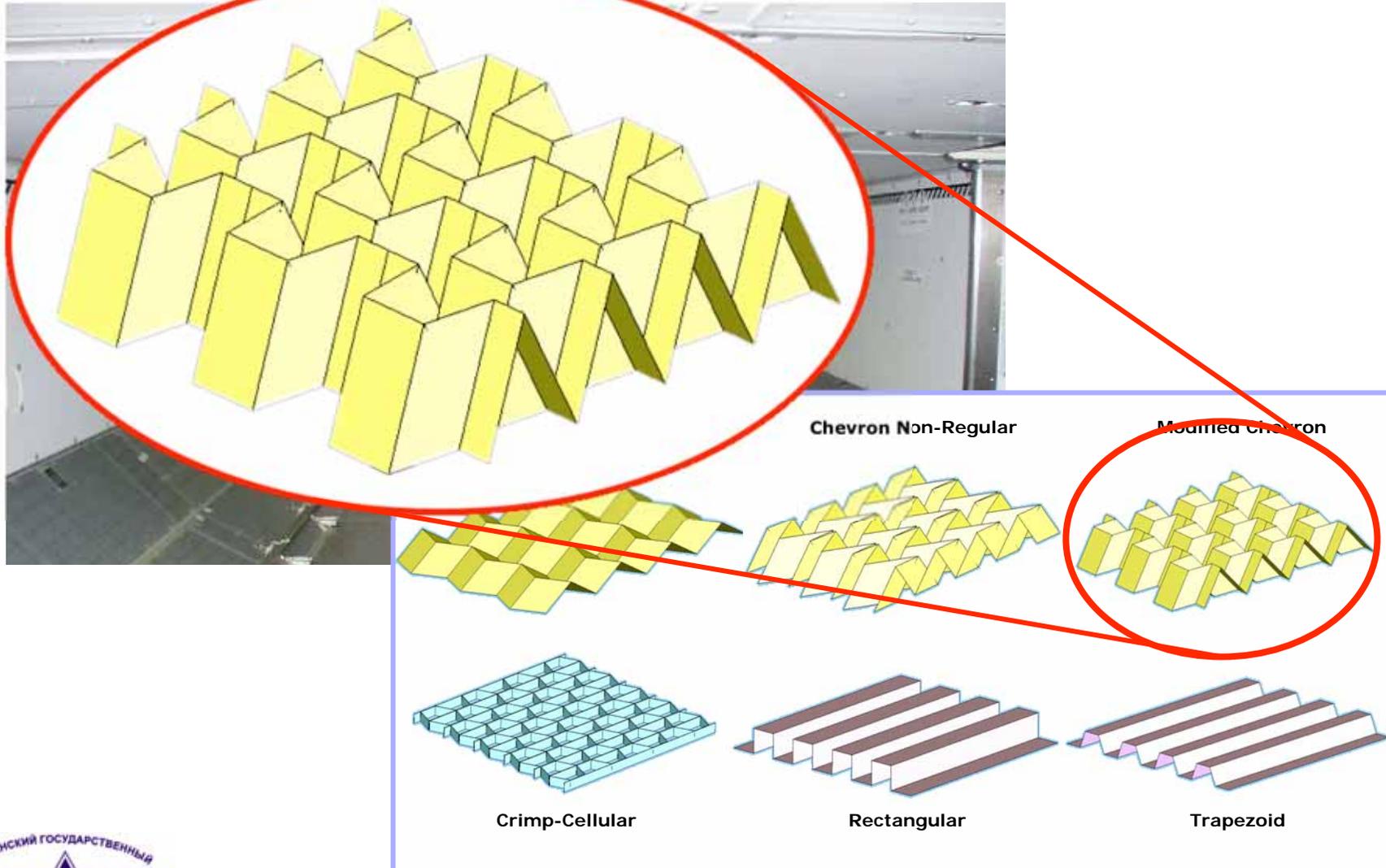
$$\frac{P}{\rho}, \frac{\text{MPa}}{\text{kg/m}^3}$$



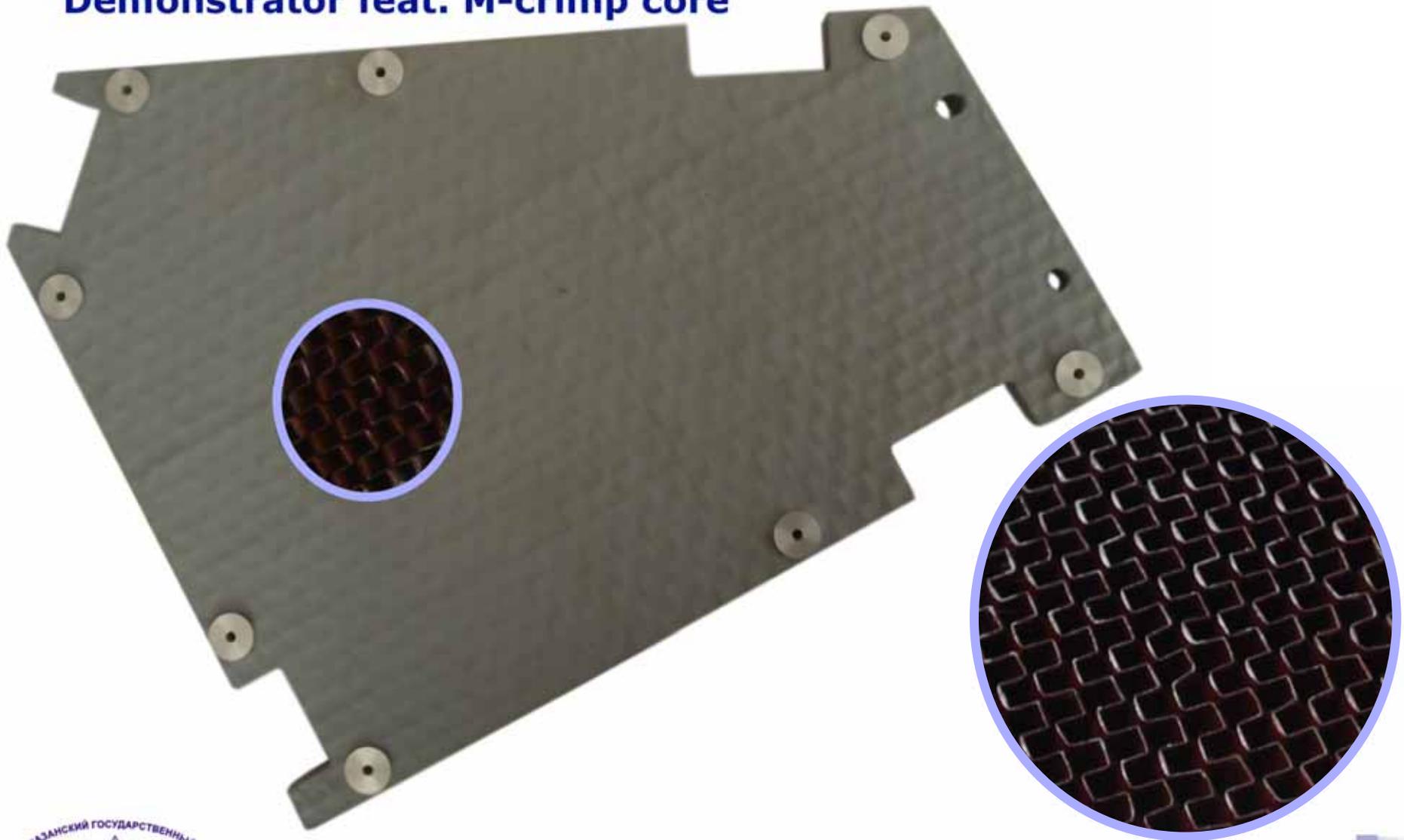
Количество испытаний > 300
Number of tests > 300



Варианты заполнителей для панелей грузового отсека Alternative Cores for Cargo Lining Panels



Демонстрационный образец с заполнителем типа М-гофр
Demonstrator feat. M-crimp core

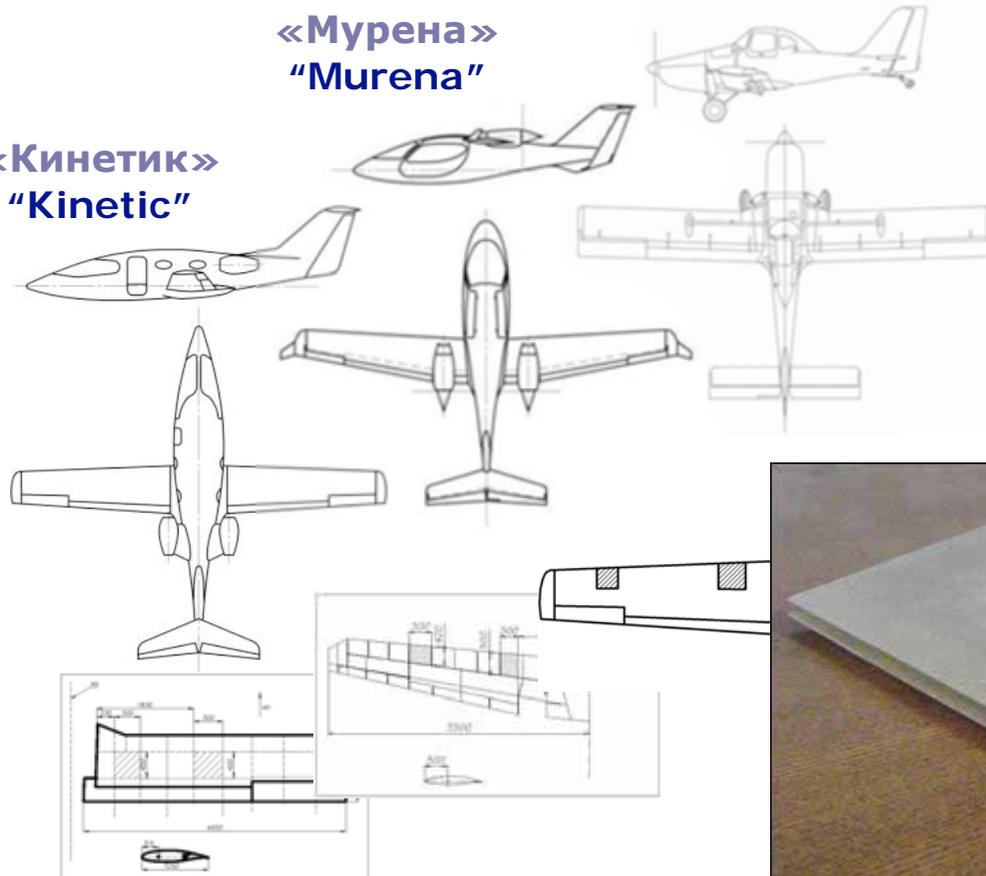


Использование складчатого заполнителя в элементах оперения летательных аппаратов Using the folded cores in aircraft tail and wing elements

«Фермер-2»
"Farmer-2"

«Мурена»
"Murena"

«Кинетик»
"Kinetic"



Проект, совместный с Дрезденским техническим университетом
Project, together with Technische Universität Dresden

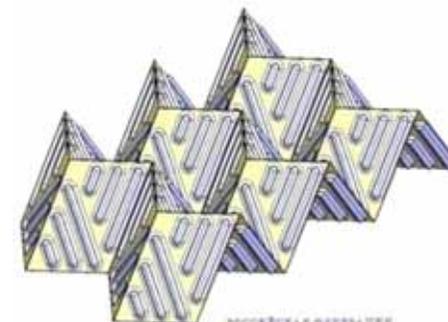
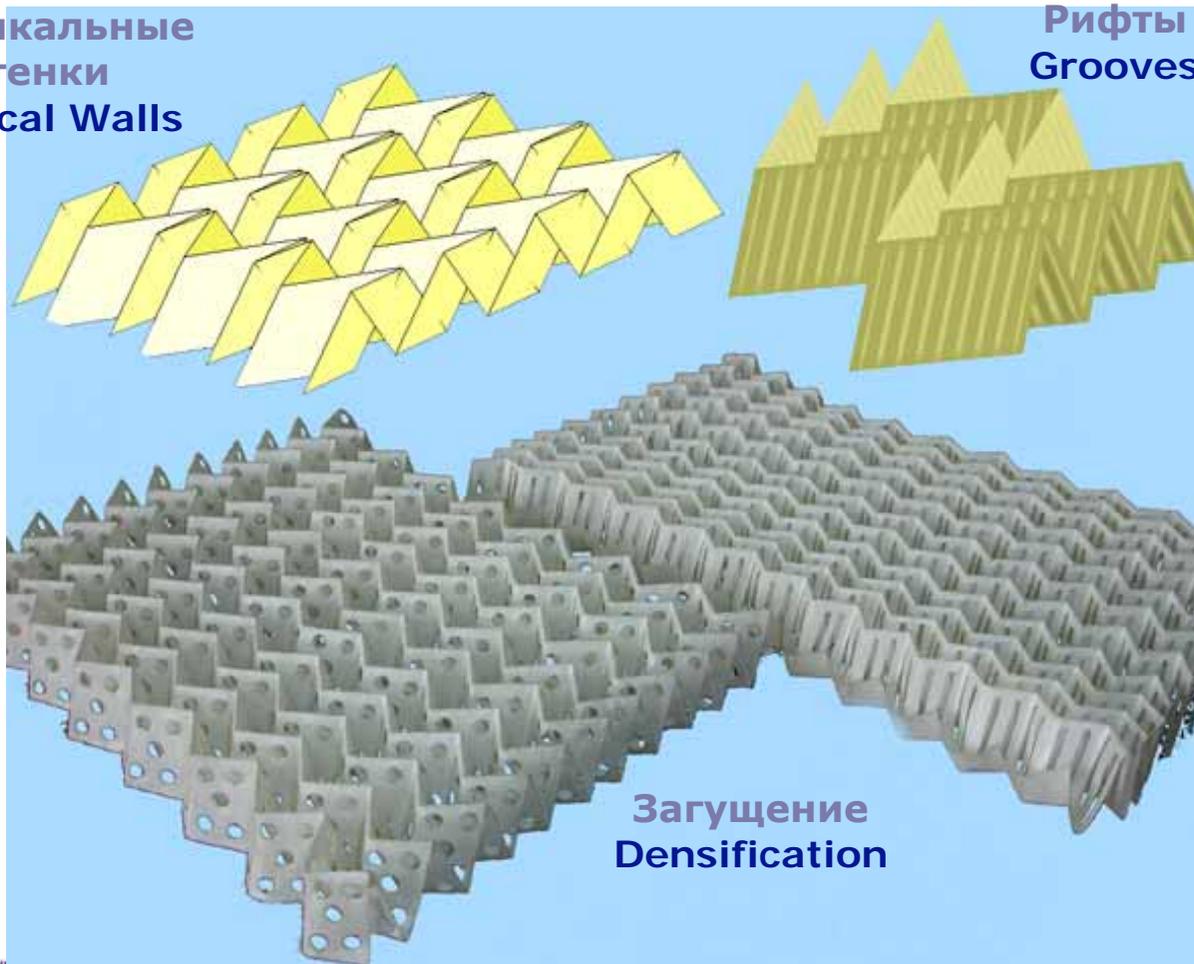


Предложения по повышению удельных прочностных характеристик заполнителя

Proposals to Improve Core Specific Strength Characteristics

Вертикальные
стенки
Vertical Walls

Рифты
Grooves



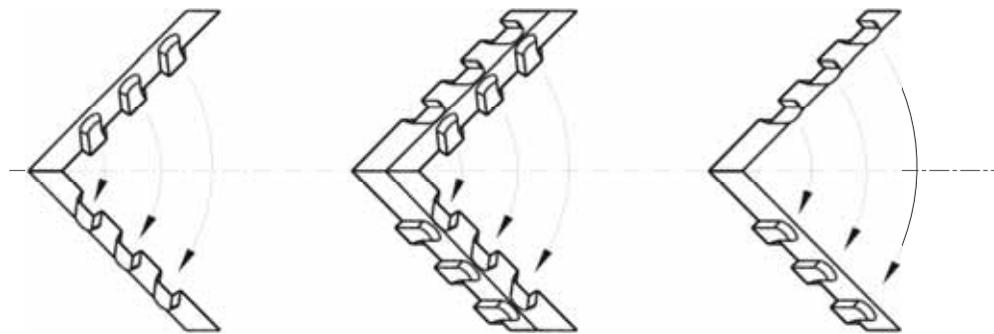
Предложения по повышению удельных прочностных характеристик заполнителя

Proposals to Improve Core Specific Strength Characteristics



A-A (óâãèè÷áíî)

B-B (óâãèè÷áíî)



$$k = \frac{2L_{i\delta}}{V_{i\delta}}$$

Коэффициент плотности СК
FC Density Coefficient

Параметры в предельно сжатом состоянии
Parameters in the ultimate compressed state

$$L_{i\delta} = \sqrt{S_{\delta}^2 + (L_{\delta} + S_{\delta} \operatorname{tg} \beta_{\delta})^2} - H_{i\delta} - \left(\frac{S_{\delta}}{\cos \beta_{\delta}} \right) \quad H_{i\delta} = \sqrt{L_{\delta}^2 - \left[\frac{L_{\delta}^2 + \left(\frac{S_{\delta}}{\cos \beta_{\delta}} \right)^2 - S_{\delta}^2 - (L_{\delta} + S_{\delta} \operatorname{tg} \beta_{\delta})^2}{2 \left(\frac{S_{\delta}}{\cos \beta_{\delta}} \right)} \right]^2} \quad \psi_{i\delta} = 2 \cdot \arccos \frac{H_{i\delta}}{L_{\delta}}$$

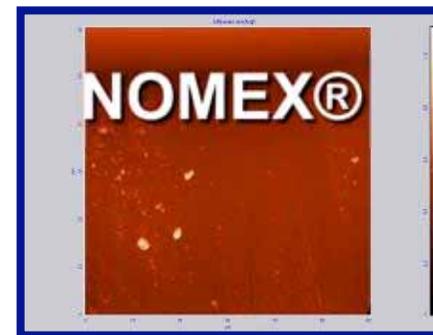
Перфорирование Punching



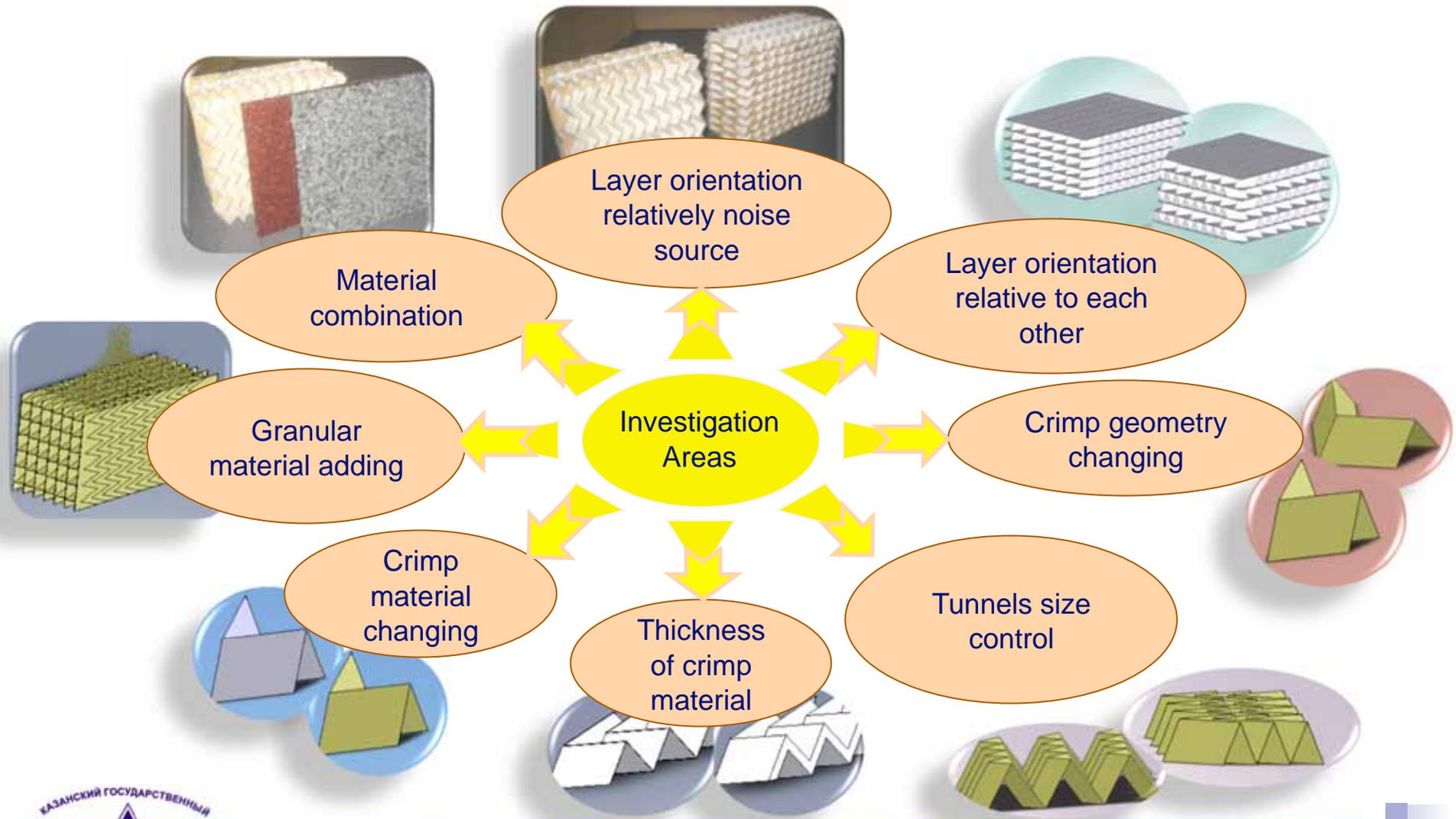
Применение наночастиц в качестве структурных наномодификаторов покрытий полимерных бумаг Using nanoparticles as structural nanomodificators for polymer papers coating

Углеродные нанотрубки
Carbon nanotubes

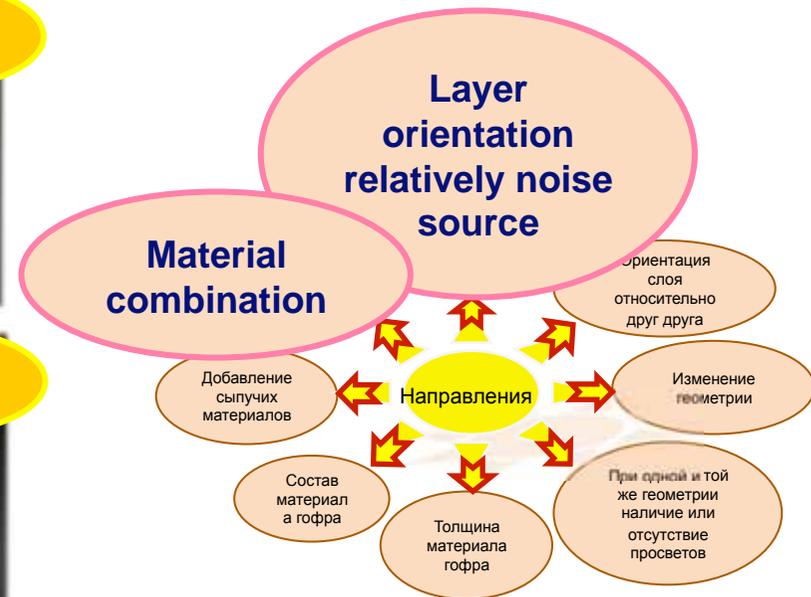
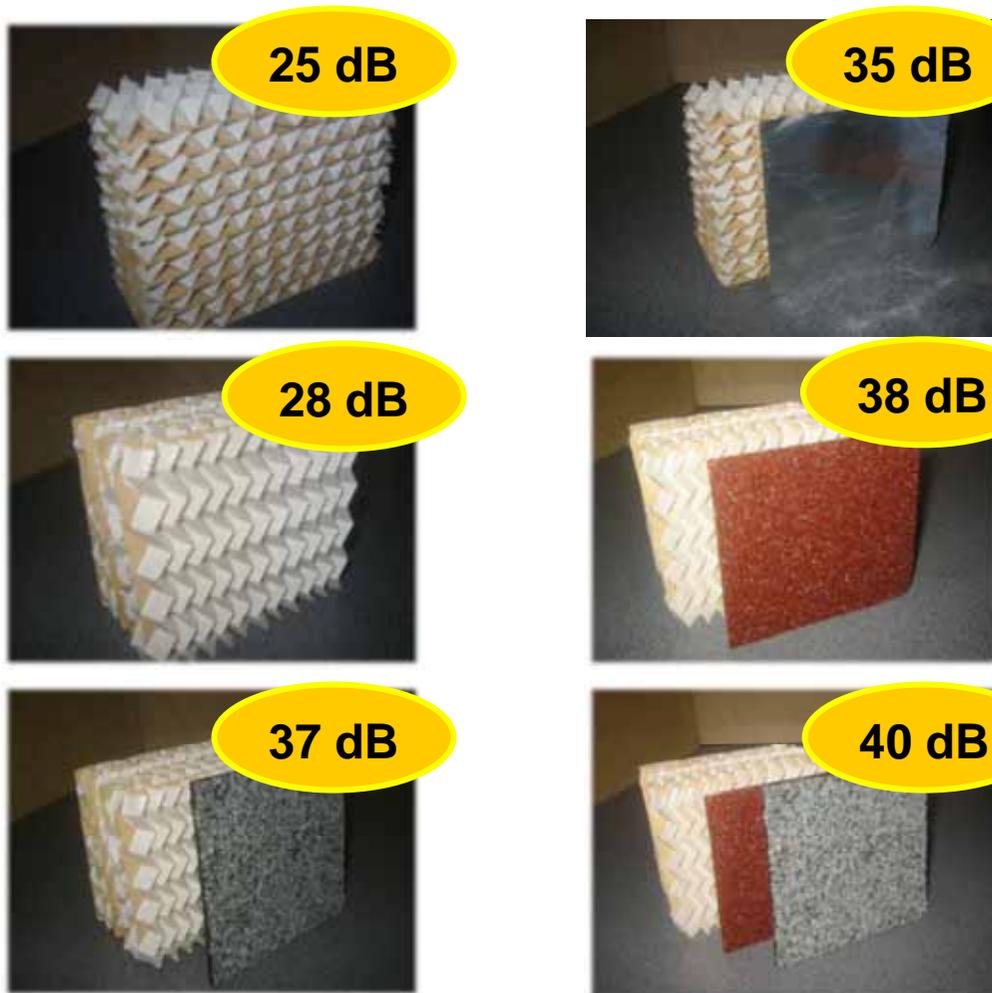
Концентрация наночастиц в покрытии Concentration of nanoparticles in coating	Эффективная прочность (критическая нагрузка / масса) Effective strength (critical load/mass)			
	0	0,02 %	0,2 %	2 %
Kevlar 0,1	417,16	544,1	753,37	456,6
Nomex 0,13	653,04	553,1	663,9	583,1



Исследование акустических характеристик Acoustic Characteristics Investigation



Исследованные направления The Studied Aries



Заполнитель для элементов конструкции

Core for structural elements

Назначение, характеристики

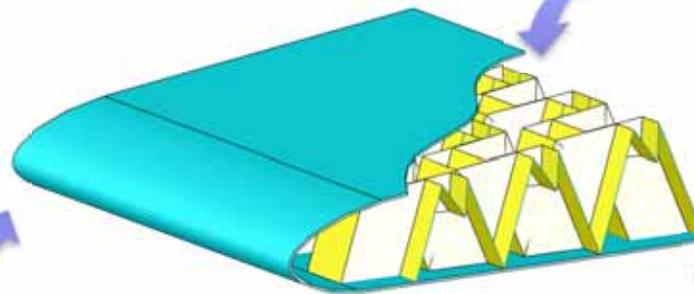
Purpose, characteristics



Габаритные размеры элементов структуры, мм

Dimensions of the structural elements, mm

~ 200x100x50



Ориентировочные прочностные характеристики заполнителя

Estimated strength characteristics of core

The density of core, kg/m ³	Strength, MPa	
	compression	shear
30	1,4	1,0
40	2,4	1,8
60	4,0	2,5



Следствия Consequences

Складчатые структуры позволяют:
Folded structures allow:

- проектировать конструкции с разнообразными архитектурными формами;
- make design with various architectural forms;
- имеет прочностные характеристики, сопоставимые с существующими заполнителями;
- has strength properties comparable with existing core types;
- потенциально более технологичен ввиду изготовления из листовых материалов без операций разрезания и склейки.
- potentially it is more technological, referring to the manufacture from sheet metal without cutting and gluing operations.

Вывод Conclusion

Складчатые структуры – перспективный тип заполнителя, который может найти применение в многослойных панелях транспортных машин, элементах теплообменников, фильтров, панелях интерьера и т.д.

Folded structures - a perspective type of core, which can be used in sandwich panels of load-bearing and auxiliary units of the transport vehicles, elements of the heat exchangers, filters, interior panels, etc.

