



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1830326 A1

(51)5 В 23 К 20/00

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО СССР
(ГОСПАТЕНТ СССР)

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

ВСЕСОЮЗНАЯ
ПАТЕНТНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

1

(21) 4850116/27

(22) 10.07.90

(46) 30.07.93. Бюл. № 28

(71) Казанский авиационный институт им.
А.Н.Туполева

(72) В.И.Халиулин и В.Е.Десятов

(56) Авторское свидетельство СССР
№ 1785154, кл. В 23 К 20/00, 1989.

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГО-
СЛОЙНОЙ ПАНЕЛИ КРИВОЛИНЕЙНОЙ
ФОРМЫ С ЗИГЗАГОБРАЗНЫМ ГОФРИ-
РОВАННЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

(57) использование: для изготовления мно-
гослойных панелей криволинейной формы с
легким наполнителем в виде слоев зигзаго-
образного гофра, в производстве летатель-
ных аппаратов, самолетостроении и других
отраслях промышленности. Сущность: спо-
соб включает три этапа изготовления пане-
ли: формообразование внешних обшивок
криволинейной формы, изготовление легко-
го наполнителя в виде слоев зигзагообраз-

2

ного гофра, соединение внешних обшивок с
заполнителем. Предлагаемый способ позво-
ляет повысить прочность и жесткость мно-
гослойной панели за счет того, что
заполнитель изготавливают в виде двух сло-
ев зигзагообразного гофра, при этом основ-
ной гофрированный слой соединяют с
верхней и нижней обшивками, а дополни-
тельный гофрированный слой, имеющий
кратное число линий впадин, — с верхней
обшивкой и основным гофрированным сло-
ем. При этом углы при вершинах зигзагооб-
разных линий выступов и впадин, а также
расстояния между вершинами основного и
дополнительного гофрированных слоев, оп-
ределяются с помощью приведенных в спо-
собе формул, что позволяет после изгиба
листа по намеченным линиям получить гоф-
рированный наполнитель заданной криво-
линейной формы и обеспечивает контакт
основного и дополнительного гофрирован-
ных слоев по боковым граням. 10 ил.

Изобретение относится к способам из-
готовления многослойных панелей криволи-
нейной формы с зигзагообразным
гофрированным наполнителем из листового
материала, применяющихся в производстве
летательных аппаратов, самолетостроении,
судостроении и других отраслях промыш-
ленности.

Цель изобретения — повышение качест-
ва за счет увеличения прочности и жестко-
сти панели.

Поставленная цель достигается тем, что
заполнитель изготавливают в виде двух сло-
ев зигзагообразного гофра, при этом основ-
ной гофрированный слой соединяют с

верхней и нижней обшивками, а дополни-
тельный гофрированный слой, имеющий
кратное число линий впадин, — с верхней
обшивкой и основным гофрированным сло-
ем, при этом зигзагообразные линии высту-
пов и впадин основного и дополнительного
гофрированных слоев выполняют с углами
при их вершинах и расстояниями между
вершинами соединений зигзагообразных
линий выступов и впадин, обеспечивающи-
ми контакт основного и дополнительного
гофрированных слоев по боковым граням,
причем эти параметры определяют путем
решения следующей системы уравне-
ний:

(19) SU (11) 1830326 A1

$$\begin{cases}
 2\alpha = 2\arccos \left\{ \sqrt{\frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4a_1c_1}}{2}} \right\}, \\
 2\beta = 2\arcsin \left\{ \frac{d}{b} \sin \alpha \right\}, \\
 L_1 = \frac{-b_2 + \sqrt{b_2^2 - 4c_2}}{2}, \\
 L_2 = \frac{L}{\sin \varepsilon} \cdot \sin \left[\arccos \left\{ 1 - 2 \frac{b^{(N)}}{b^{(N)2} - s^2} \cos^2 \beta^{(N)} \right\} + 2\arccos \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - 2\arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} + \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} \right], \\
 2\alpha^{(N)} = 2\alpha \\
 2\beta^{(N)} = 2\arctg \left\{ \frac{d \cos \alpha}{L_2^{(N)} - L_1^{(N)} + d \cos \alpha} \right\}, \\
 L_1^{(N)} = \frac{\sin \left[\arcsin \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} + \arccos \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - \arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} \right]}{\sin \left[\arcsin \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} + \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} + 2\arccos \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - 2\arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} \right]} L^{(N)}, \\
 L_2^{(N)} = \frac{\sin \left[\arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} + \arccos \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - \arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} \right]}{\sin \left[\arcsin \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} + \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} + 2\arccos \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - 2\arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} \right]} L^{(N)}
 \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 2de \quad a_1 &= s^4 \sin^4 \frac{\lambda}{2} + ((L_2 - L_1)^2 \cos^2 \frac{\varepsilon}{2} + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2})^2 - 2s^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2} \left\{ (L_2 - L_1)^2 (\cos^2 \frac{\varepsilon}{2} - 2 \cos^4 \frac{\varepsilon}{2}) + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} \right\}; \\
 b_1 &= -2 \sin^2 \frac{\lambda}{2} \left\{ s^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2} (s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} + (L_2 - L_1)^2 \cos^2 \frac{\varepsilon}{2}) + ((L_2 - L_1)^2 \cos^2 \frac{\varepsilon}{2} + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2})^2 - ((L_2 - L_1)^2 \cos^2 \frac{\varepsilon}{2} + \right. \\
 &\quad \left. + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}) (s^2 \sin^2 \frac{\lambda}{2} + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}) \right\}; \\
 c_1 &= \sin^4 \frac{\lambda}{2} \left\{ s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} (s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} - 2((L_2 - L_1)^2 \cos^2 \frac{\varepsilon}{2} + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2})) + ((L_2 - L_1)^2 \cos^2 \frac{\varepsilon}{2} + s^2 \sin^2 \frac{\varepsilon}{2})^2 \right\}; \\
 d &= \frac{s \sin \frac{\lambda}{2}}{\sqrt{\sin^2 \frac{\lambda}{2} - \cos^2 \alpha}}; \quad b = \sqrt{d^2 + (L_2 - L_1)^2 + 2(L_2 - L_1)d \cos \alpha}; \\
 b_2 &= -2L_2 \cos \varepsilon; \quad c_2 = L_2^2 - L_1^2; \quad \varepsilon = 2\arccos \left\{ \frac{(H - 2h)}{L_2} \right\}; \\
 \lambda &= 2\arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} + \varepsilon - 180^\circ; \quad \beta^{(N)} = \frac{\sin d}{\sin \beta^{(N)}} d; \quad L^{(N)} = 2(R-h) \sin \left[\frac{\arcsin \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\}}{N} \right];
 \end{aligned}$$

где 2α и $2\alpha^{(N)}$ — углы при вершинах зигзагообразных линий выступов на развертке соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев;

2β и $2\beta^{(N)}$ — углы при вершинах зигзагообразных линий впадин на развертке соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев;

L_1 и $L_1^{(N)}$ — наименьшие расстояния между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев;

L_2 и $L_2^{(N)}$ — наибольшие расстояния между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин соответственно

основного и дополнительного гофрированных слоев;

(N) — параметр, характеризующий густоту дополнительного гофра и численно равный отношению количества зигзагообразных линий впадин дополнительного и основного гофрированных слоев;

d — длина отрезка, соединяющего вершины зигзагообразных линий выступов основного и дополнительного гофрированных слоев;

b , $b^{(N)}$ — длины отрезков, соединяющих вершины зигзагообразных линий впадин соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев;

λ — угол при вершинах пилообразных линий, прилегающих к обшивке большого

радиуса основного и дополнительного гофрированных слоев в собранном состоянии;

$\epsilon, \epsilon^{(N)}$ – углы при вершинах пилообразных линий, прилегающих к обшивке меньшего радиуса соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев в собранном состоянии;

$L, L^{(N)}$ – расстояния между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев в собранном состоянии;

$2S$ – шаг зигзагообразных линий выступов и впадин основного и дополнительного гофрированных слоев в собранном состоянии;

R – радиус кривизны наружной поверхности панели;

H – высота панели;

h – толщина наружных обшивок.

На фиг.1 показана многослойная криволинейная панель с наполнителем в виде одного слоя зигзагообразного гофра; на фиг.2 – многослойная криволинейная панель с наполнителем в виде двух слоев зигзагообразного гофра; на фиг.3 – сечение панели, показанной на фиг.1 (с однослойным наполнителем) вертикальной плоскостью, проходящей через одну из пилообразных линий; на фиг.4 – сечение панели, показанной на фиг.2 (с двухслойным наполнителем) вертикальной плоскостью, проходящей через одну из пилообразных линий, при густоте дополнительного гофра $N = 2$ (где N – параметр, характеризующий густоту зигзагообразных линий впадин основного и дополнительного гофрированных слоев). На фиг.5 изображено сечение панели вертикальной плоскостью, проходящей через одну из пилообразных линий для наполнителя у которого дополнительный гофрированный слой имеет густоту $N = 4$; на фиг.6 – развертка основного гофрированного слоя; на фиг.7 – развертка дополнительного гофрированного слоя (при $N = 2$); на фиг.8 – сечение панели, показанной на фиг.2, вертикальной плоскостью, проходящей через одну из пилообразных линий (при $N = 2$) с геометрическими построениями для определения технологических параметров.

На фиг.1–10 показаны: 1 – наружные обшивки панели; 2 – основной гофрированный слой; 3 – дополнительный гофрированный слой; 4 – зигзагообразные линии выступов; 5 – зигзагообразные линии впадин; 6 – пилообразные линии.

Предлагаемый способ позволяет изготавливать многослойную криволинейную

панель повышенной жесткости с зигзагообразным гофрированным наполнителем.

На фиг.1 изображена панель с однослойным зигзагообразным гофрированным наполнителем.

Жесткость криволинейной панели существенно увеличится, если между верхней обшивкой 1 и основным слоем 2 установить дополнительный гофрированный слой с более густым расположением зигзагообразных линий выступов 4 и впадин 5 (фиг.5). Дополнительный гофрированный слой 3 может иметь различную густоту при этом количество зигзагообразных линий впадин 5 дополнительного 3 и основного 2 гофрированных слоев должно быть кратным. Для обозначения густоты дополнительного гофрированного слоя 3 введем параметр N , численно равный отношению количества зигзагообразных линий впадин 5 дополнительного 3 и основного 2 гофрированных слоев (где N – натуральное число $N \geq 2$). Для упрощения записи в дальнейшем все величины, относящиеся к дополнительному гофрированному слою 3, будем отмечать символом N , например, $L^{(N)}, \epsilon^{(N)}$ и т.д.

На фиг.3 показано сечение панели без дополнительного гофрированного слоя 3; на фиг.4 изображено сечение панели с дополнительным гофрированным слоем 3, густота которого в два раза превышает густоту основного гофрированного слоя 2 (следовательно $N = 2$ и все величины, относящиеся к дополнительному гофрированному слою 3 будем обозначать символом (2), например, $L^{(2)}, \epsilon^{(2)}$ и т.д. (фиг.7 – 10)). На фиг.5 изображено сечение панели, у которой густота дополнительного гофрированного слоя 3 превышает густоту основного гофра 2 в четыре раза ($N = 4$).

Предлагаемый способ реализуется следующим образом.

На первом этапе из гладкого металлического методом обтяжки или прокатки получают наружные обшивки 1 заданной кривизны (фиг.2).

На втором этапе из плоских листовых заготовок изготавливают основной гофрированный слой 2 и дополнительный 3 для получения наполнителя (фиг.2).

Для придания основному 2 и дополнительному 3 гофрированному слоям одинаковой требуемой кривизны и для обеспечения контакта по плоскостям боковых граней на развертках основного 2 (фиг.6) и дополнительного 3 (фиг.7) гофрированных слоев производится разметка зигзагообразных линий выступов 4, линий впадин 5 и пилообразных линий 6, соединяющих вершины зигзагооб-

разных линий выступов 4 и впадин 5. При этом заданная кривизна и форма рельефа, обеспечивающая контакт по боковым граням основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев достигается за счет задания углов 2α , 2β (фиг.6) и $2\alpha^{(N)}$, $2\beta^{(N)}$ (фиг.7) при вершинах зигзагообразных линий выступов 4 и впадин 5 соответственного основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев и наименьших L_1 , $L_1^{(N)}$ и наибольших L_2 , $L_2^{(N)}$ расстояний (фиг.6,7) между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов 4 и впадин 5, вычисляемых из системы (1). При изгибе листовых заготовок по намеченным линиям 4, 5, 6 (фиг.6,7) последние приобретают форму зигзагообразных гофрированных слоев 2,3 с заданной криволинейной поверхностью и требуемой формой рельефа (фиг.2).

На третьем этапе осуществляют склеивание или пайку гофрированных слоев 2 и 3 между собой и наружными обшивками 1 любым известным способом.

Проведенные исследования показывают, что не для каждой формы основного гофрированного слоя 2 можно подобрать усиливающий дополнительный гофрированный слой 3, который бы имел заданную кривизну описанной поверхности и обеспечивал контактную боковым граням с основным гофрированным слоем 2. При заданных конструктивных параметрах панели (R – радиус кривизны наружной поверхности панели; H – высота панели; $2S$ – шаг зигзагообразных линий выступов и впадин основного и дополнительного гофрированных слоев в собранном состоянии; h – толщина наружных обшивок; N – густота дополнительного гофрированного слоя и т.д. форма основного гофрированного слоя 2 и дополнительного 3 должны быть увязаны между собой. Отсюда, при изготовлении основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев, возникает необходимость определения технологических параметров их разверток путем совместного решения системы уравнений (1), связывающих конструктивные и технологические параметры.

Известные соотношения позволяют определить технологические параметры гофрированного слоя для панели с однослойным заполнителем, но они не пригодны для определения технологических параметров основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев двухслойного заполнителя, т.к. в этом случае на форму основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев кроме заданных конструктивных параметров накладываются дополнительные ограничения, определяемые условиями со-

пряжения гофрированных слоев 2 и 3 по линиям выступов 4 и боковым граням (фиг.2). Таким образом, рельеф основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев взаимоувязан, а соотношения, определяющие технологические параметры, являются связанными и не позволяют определить технологические параметры этих гофров по отдельности.

Ниже приводится вывод соотношений (1), позволяющих установить зависимость между заданными конструктивными параметрами многослойной панели (фиг.2) и технологическими параметрами разверток основного 2 (фиг.6) и дополнительного 3 (фиг.7) зигзагообразных гофрированных слоев, обеспечивающих контакт по боковым граням.

Конструктивными параметрами многослойной криволинейной панели (фиг.2) являются:

R – радиус кривизны наружной поверхности панели;

H – высота панели;

$2S$ – шаг зигзагообразных линий выступов и впадин основного и дополнительного гофрированных слоев в собранном состоянии;

L – расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов основного гофрированного слоя в собранном состоянии;

h – толщина наружных обшивок;

N – параметр, характеризующий густоту дополнительного гофра, численно равный отношению количества зигзагообразных линий впадин основного и дополнительного гофрированных слоев.

Технологическими параметрами разверток основного и дополнительного гофрированных слоев (фиг.6,7), которые обеспечивают контакт гофрированных слоев по боковым граням и изготовление криволинейной панели с заданными конструктивными параметрами являются:

2α и $2\alpha^{(N)}$ – углы при вершинах зигзагообразных линий выступов на развертках соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев;

2β и $2\beta^{(N)}$ – углы при вершинах зигзагообразных линий впадин на развертках соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев;

L_1 и $L_1^{(N)}$ – наименьшие расстояния между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин соответственного основного и дополнительного гофрированных слоев;

L_1 и $L_2^{(N)}$ – наибольшие расстояния между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин соответственно основного и дополнительного гофрированных слоев.

Для того, чтобы контакт основного 2 и дополнительного 3 гофрированных слоев происходит по боковым граням, (фиг.2) необходимо, чтобы выполнялись следующие условия:

$$2S^{(N)} = 2S, \quad (2)$$

где $2S^{(N)}$ – шаг зигзагообразных линий выступов и впадин дополнительного гофрированного слоя в собранном состоянии (фиг.2);

$2S$ – шаг зигзагообразных линий выступов и впадин основного гофрированного слоя в собранном состоянии;

(N) – параметр, характеризующий плотность дополнительного гофра.

$$d^{(N)} = d, \quad (3)$$

где $d^{(N)}$ – длина отрезка соединяющего вершины зигзагообразных линий выступов дополнительного гофрированного слоя (фиг.2);

d – длина отрезка, соединяющего вершины зигзагообразных линий выступов основного гофрированного слоя;

(N) – параметр, характеризующий плотность дополнительного гофра.

$$\rho^{(N)} = \frac{\rho}{N} \quad (N = 2, 3, \dots), \quad (4)$$

где $\rho^{(N)}$ – центральный угол окружности с радиусом $R-h$ (фиг.8), опирающийся на хорду длиной $L^{(N)}$ ($L^{(N)}$ – расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов дополнительного гофрированного слоя в собранном состоянии);

ρ – центральный угол окружности с радиусом $R-h$, опирающийся на хорду длиной L (L – расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов основного гофрированного слоя в собранном состоянии);

N – параметр, характеризующий плотность дополнительного слоя.

$$\gamma^{(N)} = \gamma + C^{(N)}, \quad (5)$$

$$\eta^{(N)} = \eta + C^{(N)}, \quad (6)$$

где $\gamma^{(N)}$, γ , $\eta^{(N)}$, η , $C^{(N)}$ – вспомогательные углы, определяющие положение дополнительного гофрированного слоя относительно основного (фиг.8-10).

$$\lambda^{(N)} = \lambda, \quad (7)$$

где $\lambda^{(N)}$ – угол при вершинах пилообразных линий, дополнительного гофрированного слоя, прилегающий к обшивке большего радиуса в собранном состоянии;

λ – угол при вершинах пилообразных линий основного гофрированного слоя, прилегающий к обшивке большего радиуса в собранном состоянии;

(N) – параметр, характеризующий плотность дополнительного гофрированного слоя.

При соблюдении условий (4), (5), (6) условие (7) выполняется автоматически.

Треугольники $\triangle ABF$ и $\triangle BCD$ (фиг.8,9) конгруэнтны по трем сторонам. Следовательно, $ABF = BCD = \eta^{(N)}$ и $BAF = CBD = \gamma^{(N)}$.

$$\text{Отсюда } \delta^{(N)} = \lambda^{(N)} + \eta^{(N)} + \gamma^{(N)},$$

или с учетом выражений (5), (6)

$$\delta^{(N)} = \lambda^{(N)} + \gamma + \eta + 2C^{(N)}. \quad (8)$$

Треугольники $\triangle ACE$ и $\triangle CMI$ (фиг.8) также конгруэнтны по трем сторонам. Следовательно, $\widehat{ACE} = \widehat{CMI} = \eta$ и $\widehat{CAE} = \widehat{MCI} = \gamma$.

$$\text{Отсюда } \delta = \lambda + \eta + \gamma. \quad (9)$$

Из условия (4) следует, что треугольники $\triangle ABC$ и $\triangle BCG$ (фиг.8) конгруэнтны. Следовательно, $\widehat{ABC} = \widehat{BCG} = \delta^{(N)}$

или (фиг.10) $\alpha^{(N)} = \delta + 2C^{(N)}$.

Подставив полученное выражение в уравнение (8), имеем

$$\delta = \lambda^{(N)} + \gamma + \eta \quad (10)$$

Сравнивая выражения (9), (10), получим $\lambda^{(N)} = \lambda$, т.е. для того, чтобы контакт основного 2 и дополнительного 3 зигзагообразных гофрированных слоев происходит по граням необходимо соблюдение пяти условий, а именно (2)–(6).

Определим величины $L^{(N)}$, $L_1^{(N)}$ и $L_2^{(N)}$. Из треугольника $\triangle BCO$ (фиг.8) имеем

$$\frac{L^{(N)}}{2} = (R - h) \sin \frac{\rho^{(N)}}{2} \quad (11)$$

Величину центрального $\rho^{(N)}$ определим из рассмотрения треугольника $\triangle COM$ с учетом условия (4). Для треугольника имеем

$$\frac{L}{2} = (R - h) \sin \frac{\rho}{2}$$

$$\text{или } \rho = 2 \operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\}$$

Используя условие (4), получаем

$$\rho^{(N)} = \frac{2 \operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\}}{N}$$

Подставив в уравнение (11), имеем

$$L^{(N)} = 2(R-h) \sin \left[\frac{\operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\}}{N} \right]. \quad (12)$$

Для треугольника ΔABF (фиг.9) по теореме синусов имеем

$$L_1^{(N)} = \frac{\sin \eta^{(N)}}{\sin \varepsilon^{(N)}} L^{(N)} \quad (13)$$

$$L_2^{(N)} = \frac{\sin \gamma^{(N)}}{\sin \varepsilon^{(N)}} L^{(N)} \quad (14)$$

Определим величины, входящие в выражение (13), (14).

$$\text{Угол } \varepsilon^{(N)} = \pi - \gamma^{(N)} - \eta^{(N)} \quad (15)$$

Найдем величину угла $C^{(N)}$, входящего в уравнения (5), (6). Из треугольников ΔABO и ΔACO (фиг.8) находим

$$C^{(N)} = \widehat{BAO} - \widehat{CAO}$$

или

$$C^{(N)} = \arccos \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - \operatorname{arccos} \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\}. \quad (16)$$

Полученное выражение справедливо для любых N ($N = 2, 3, \dots$).

Из треугольника ΔACE (фиг.9) по теореме синусов найдем величины углов η и γ

$$\eta = \operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} \quad (17)$$

$$\gamma = \operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} \quad (18)$$

Подставив выражения (5), (6), (16), (15), (17), (18) в уравнения (13), (14), получим

$$L_1^{(N)} = \frac{\sin \left[\operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} + \operatorname{arccos} \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} \right]}{\sin \left[\operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} + 2 \left(\operatorname{arccos} \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - \operatorname{arccos} \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} \right) \right]} L^{(N)}, \quad (19)$$

$$L_2^{(N)} = \frac{\sin \left[\operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} + \operatorname{arccos} \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} \right]}{\sin \left[\operatorname{arcsin} \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} + 2 \left(\operatorname{arccos} \left\{ \frac{L^{(N)}}{2(R-h)} \right\} - \operatorname{arccos} \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} \right) \right]} L^{(N)}. \quad (20)$$

где величины $L^{(N)}$ определяются из выражения (12).

Таким образом, получим пять величин, которые однозначно определяют геометрию дополнительного гофрированного слоя, а именно:

25 $2S^{(N)}$ - шаг зигзагообразных линий выступов и впадин дополнительного гофрированного слоя в собранном состоянии;

30 $d^{(N)}$ - длина отрезка, соединяющего вершины зигзагообразных линий выступов дополнительного гофрированного слоя. Определяется выражением (2);

35 $L^{(N)}$ - расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов дополнительного гофрированного слоя в собранном состоянии, определяется из уравнения (12);

40 $L_1^{(N)}$ - наименьшее расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин дополнительного гофрированного слоя, определяется из уравнения (19);

45 $L_2^{(N)}$ - наибольшее расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин дополнительного гофрированного слоя, определяется из уравнения (20).

50 Для вывода уравнений, входящих в систему (1) воспользуемся полученными зависимостями между конструктивными, технологическими и вспомогательными величинами, а именно:

$$\frac{b^{(N)} \cos \beta^{(N)}}{\sqrt{b^{(N)2} - S^2}} = \sin \frac{\varepsilon^{(N)}}{2} \quad (21)$$

$$\frac{d \cos \alpha^{(N)}}{\sqrt{d^2 - S^2}} = \sin \frac{\lambda}{2} \quad (22)$$

$$b^{(N)} \sin \beta^{(N)} = d \sin \alpha^{(N)} \quad (23)$$

$$L_2^{(N)} - b^{(N)} \cos \beta^{(N)} = L_1^{(N)} - s \cos \alpha^{(N)} \quad (24)$$

Приведенные выше уравнения относятся к дополнительному гофрированному слою и при их записи учтены (2), (3) и (7) условия сопряжения. 10 или

Для основного гофрированного слоя уравнение (22) имеет вид

$$\frac{d \cos \alpha}{\sqrt{d^2 - S^2}} = \sin \frac{\lambda}{2} \quad (25)$$

Из уравнений (22), (25) следует, что

$$\alpha^{(N)} = \alpha \quad (26)$$

Разрешив уравнение (23) относительно $b^{(N)}$, получим

$$b^{(N)} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta^{(N)}} d \quad (27)$$

Из совместного решения уравнений (27) и (24) имеем

$$\beta^{(N)} = \arctg \left\{ \frac{d \cos \alpha}{L_2^{(N)} - L_1^{(N)} + d \cos \alpha} \right\} \quad (28)$$

Для определения величины L_2 воспользуемся выражением (21).

Возьмем левую и правую часть выражения (21) в квадрат, получим:

$$\frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} = \sin^2 \frac{\varepsilon^{(N)}}{2}$$

Воспользуемся формулой для понижения степени

$$\frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} = \frac{1}{2}(1 - \cos \varepsilon^{(N)})$$

Разрешим относительно

$$\varepsilon^{(N)} = \arccos \left\{ 1 - 2 \frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} \right\}$$

Подставим величину $\varepsilon^{(N)}$ из совместного решения выражений (15), (5), (6), (16), (17) и (18), получим

$$\arccos \left\{ 1 - 2 \frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} \right\} = \pi -$$

$$- \arcsin \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} - \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} -$$

$$- 2 \arccos \left\{ \frac{L_1}{2(R-h)} \right\} - 2 \arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\}$$

$$\arcsin \left\{ \frac{L_2}{L} \sin \varepsilon \right\} = \pi - \arccos \left\{ 1 - 2 \frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} \right\} -$$

$$- 2 \arccos \left\{ \frac{L_1}{2(R-h)} \right\} - 2 \arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} - \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\}$$

Преобразуем полученное выражение

$$\frac{L_2}{L} \sin \varepsilon = \sin \left[\pi - \arccos \left\{ 1 - 2 \frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} \right\} - \right.$$

$$\left. - 2 \arccos \left\{ \frac{L_1}{2(R-h)} \right\} - 2 \arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} - \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} \right]$$

или

$$L_2 = \frac{L}{\sin \varepsilon} \sin \left[\arccos \left\{ 1 - 2 \frac{b^{(N)2} \cos^2 \beta^{(N)}}{b^{(N)2} - S^2} \right\} + \right.$$

$$\left. + 2 \arccos \left\{ \frac{L_1}{2(R-h)} \right\} + 2 \arccos \left\{ \frac{L}{2(R-h)} \right\} + \arcsin \left\{ \frac{L_1}{L} \sin \varepsilon \right\} \right]$$

Таким образом, получим пять уравнений, а именно (19), (20), (26), (28), (29), которые совместно с тремя известными уравнениями для 2α , 2β и L_1 образуют замкнутую систему уравнений (1), позволяющую определить искомые технологические величины.

Рассмотрим алгоритм решения системы (1), составленной из трансцендентных уравнений.

Особенностью системы (1) является то, что, задаваясь величиной L_2 , можно вычислить искомые технологические параметры 2α , 2β , L_1 , $2\alpha^{(N)}$, $2\beta^{(N)}$, $L_1^{(N)}$ и $L_2^{(N)}$. При этом должно выполняться условие

$$I = 2 \arcsin \left\{ \frac{b^{(N)} \cos \beta^{(N)}}{\sqrt{b^{(N)2} - S^2}} \right\} - \pi + \gamma^{(N)} - \eta^{(N)} =$$

$$= 0, \quad (30)$$

т.е. величины угла $\varepsilon^{(N)}$, найденные по выражениям (15) и (21), должны совпадать.

Для нахождения величины L_2 , при которой выполняется условие (30), воспользуемся методом половинного деления. В этом случае алгоритм решения системы (1) будет следующим. Задаем величину $L_2 = L_2^{нач}$ и вычисляем 2α , 2β , L_1 , $2\alpha^{(N)}$, $2\beta^{(N)}$, $L_1^{(N)}$, $L_2^{(N)}$. Проверяем $I = 0$? Если условие (30) выполнено (с заданной точностью), то полученные технологические параметры – решение системы. Если нет, то $L_2 = L_2 + step$ (где $step$ – шаг итерации) и с заданным шагом проводим вычисления до тех пор пока $sigN(I_{i-1}) = -sigN(I_i)$, т.е. I имеет разный знак для L_2 и $L_2 + step$. Затем делим шаг пополам и т.д. до тех пор пока условие (30) не выполняется.

Указанный алгоритм решения системы (1) реализован в прилагаемой программе на языке ФОРТРАН-77.

С помощью этой программы рассмотрим два примера конкретного исполнения многослойной панели. Пусть необходимо изготовить панель со следующими конструктивными параметрами:

Пример 1
 $R = 200$ мм
 $H = 30$ мм
 $h = 0,25$ мм
 $2S = 40$ мм
 $L = 70$ мм
 $N = 2$

В результате решения системы (1) находим:

Для основного гофрированного слоя
 $L_1 = 28$ мм
 $L_2 = 54$ мм
 $\alpha = 45^\circ$
 $\beta = 35^\circ$

Для дополнительного гофрированного слоя:

$L_1^{(2)} = 16$ мм
 $L_2^{(2)} = 27$ мм
 $\alpha^{(2)} = 45^\circ$
 $\beta^{(2)} = 40^\circ$

Пример 2.
 $R = 300$ мм
 $H = 25$ мм
 $h = 0,25$ мм
 $2S = 40$ мм
 $L = 70$ мм
 $N = 2$

Основной гофрированный слой

$L_1 = 36$ мм
 $L_2 = 46$ мм
 $\alpha = 45^\circ$
 $\beta = 38^\circ$

Дополнительный гофрированный слой

$L_1^{(2)} = 19$ мм
 $L_2^{(2)} = 24$ мм
 $\alpha^{(2)} = 45^\circ$
 $\beta^{(2)} = 42^\circ$

5 Использование предлагаемого способа позволит получить многослойные панели повышенной прочности и жесткости. Это достигается за счет изготовления заполнителя в виде двух слоев зигзагообразного гофра. При этом основной гофрированный слой соединяется с верхней и нижней обшивками, а дополнительный гофрированный слой, имеющий кратное число линий впадин с верхней обшивкой и основным гофрированным слоем. Технологические параметры разверток гофрированных слоев вычисляются по найденным формулам.

Формула изобретения

20 Способ изготовления многослойной панели криволинейной формы с зигзагообразным гофрированным заполнителем, заключающийся в раздельном формообразовании слоя заполнителя и наружных обшивок заданной кривизны с их последующим соединением, при котором заданную кривизну заполнителя получают путем изгиба листовой заготовки по намеченным на развертке зигзагообразным линиям выступов и впадин с углами при их вершинах соответственно 2α и 2β и с наименьшим расстоянием L_1 между вершинами соседних зигзагообразных линий, связанных с конструктивными параметрами соотношениями

$$2\alpha = 2\arccos \left\{ \frac{\sqrt{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4a_1c_1}}}{2a} \right\}$$

$$2\beta = 2\arcsin \left\{ \frac{d}{b} \sin \alpha \right\}$$

$$L_1 = \frac{-b_2 + \sqrt{b_2^2 - 4c_2}}{2}$$

45 отличающийся тем, что, с целью повышения качества панели за счет увеличения прочности и жесткости, изготавливают дополнительный гофрированный слой с числом впадин, кратным числу впадин на имеющемся основном слое, размещают его между обшивкой, имеющей наибольшую кривизну, и основным гофрированным слоем и соединяют с обшивкой и с основным гофрированным слоем по боковым граням их выступов и впадин, при этом углы при вершинах выступов и впадин и расстояние между вершинами соседних зигзагообразных линий выступов и впадин определяют по зависимостям.