

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 695 304**

51 Int. Cl.:

D21H 11/04 (2006.01)

B32B 29/08 (2006.01)

B65D 65/40 (2006.01)

D21H 21/10 (2006.01)

D21H 27/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2015** **E 15190876 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018** **EP 3153624**

54 Título: **Cartón corrugado**

30 Prioridad:

09.10.2015 EP 15189244

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

03.01.2019

73 Titular/es:

DS SMITH PACKAGING MARKETING N.V.
(100.0%)

Corporate Village, Building Gent, Da Vincilaan 2
1935 Zaventem, BE

72 Inventor/es:

FERGE, THOMAS y
RENMAN, MAGNUS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 695 304 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Cartón corrugado

La estructura conocida como cartón corrugado o cartón ondulado es un material comúnmente basado en papel que consiste en al menos un revestimiento (denominado material una sola cara), preferentemente al menos dos revestimientos, y al menos un acanalado, en la que cada acanalado se sitúa en un revestimiento adyacente, preferentemente entre dos revestimientos adyacentes, y se fija al uno o más revestimientos respectivos. El cartón corrugado se utiliza principalmente para recipientes de transporte y cajas de cartón corrugado y se fabrica en un procedimiento de conversión en el que dos, preferentemente tres o más capas de papel se laminan juntas. La capa superior o preferentemente intermedia, que se denomina acanalado o núcleo, se conforma por lo general en forma en una estructura aproximadamente de onda sinusoidal durante el procedimiento de corrugado y la una o más capas inferiores o preferentemente exteriores, denominadas uno o más revestimientos, se pegan a los puntos extremos del acanalado, haciendo así un intercalado entre revestimiento-acanalado-revestimiento. La estructura resultante es fuerte y rígida con respecto a su peso. El cartón corrugado a menudo es aproximadamente ortotrópico, es decir, tiene tres planos mutuamente perpendiculares de simetría. Las direcciones principales de simetría de material de un intercalado de núcleo ondulado se definen como la dirección de la máquina (MD) o en dirección x, dirección transversal (CD) o dirección y, perpendicular a MD en el plano, y la dirección del espesor hacia fuera del plano (Z) o dirección z. Ejemplos de cartón corrugado convencional con un acanalado sinusoidal que muestran las diferentes direcciones se representan en las Figuras 4 y 5.

Además del acanalado sinusoidal otros perfiles de estrías se han utilizado e investigado antes en términos de sus propiedades mecánicas. Tales perfiles son por ejemplo un perfil hemisférico (véase Figura 6) o un perfil trapezoidal. El acanalado trapezoidal comprende secciones rectas (básicamente) paralelas al revestimiento adyacente, que se alternan con secciones inclinadas que discurren inclinadas con respecto a los dos revestimientos adyacentes (véase, por ejemplo "Abschlussbericht der Projektpartner PTS, GVLmbH und Fraunhofer AVV für den Zeitraum 1.6.2002 bis 30.11.2005", Forschungsthema "integrierter Umweltschutz in der Verpackungsindustrie, Reduktion des Materialeinsatzes für ein Wellpappe durch kontinuierliches Längswellverfahren", Dresde, 28.04.2006). Otro ejemplo de cartón corrugado que incluye un acanalado que forma un perfil trapezoidal se conoce a partir del documento US 5443779 A. En servicio, un envase de cartón corrugado se puede someter a un número de diferentes situaciones de carga. Una situación de carga común es cuando se trata de cargas de compresión. Este podría ser el caso cuando, por ejemplo, una serie de envases llenos se apilan uno encima de otro, lo que podría entonces causar una inestabilidad global debido a cargas de compresión en el plano, de modo que algunos (o todos) de los lados del envase se desviarán debido a la flexión. Tal carga causará también la carga de cizallamiento en el plano. Tener también una rigidez de cizallamiento transversal demasiado baja podría a su vez causar otro tipo de inestabilidad, por ejemplo, formación de hoyuelos, lo que da como resultado el colapso por un pliegue en las láminas de las caras de la estructura de cartón corrugado o en un colapso de la estructura de acanalado. Esto significa que la rigidez de cizallamiento transversal del núcleo es crucial para la rigidez global de la estructura.

Otro tipo de carga crucial es cuando la estructura se carga con cargas de compresión normales al plano del panel, es decir, en la dirección z. Esto puede ocurrir durante, por ejemplo la impresión cuando el cartón corrugado se ve forzado a través de una línea de contacto de rodillos bajo alta presión o al cortar orificios en el cartón con troquelado. Tener una resistencia fuera del plano demasiado baja puede introducir un fallo/daños locales en el núcleo que más tarde pueden influir en la respuesta a la compresión de toda la estructura. Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar un cartón corrugado con propiedades mecánicas mejoradas.

El problema anterior se resuelve mediante un cartón corrugado con un perfil de acanalado trapezoidal en la dirección de la máquina como se ha descrito describe, en el que las secciones rectas y las secciones inclinadas del acanalado comprenden un ondulado en la dirección transversal (dirección y) transversal a la dirección de la máquina (dirección x) y transversal a la dirección del espesor (dirección z) de tal manera que la anchura de cada sección recta varía periódicamente entre un valor ($I_{\min}$) mínimo y un valor ($I_{\max}$) máximo, en el que $I_{\min} > 0$ y $I_{\max} > I_{\min}$.

Esto significa que debido a la variación de anchura, las secciones rectas forman en la dirección transversal (dirección y) una fila de planos más o menos hexagonales con un período o longitud I , en el que la anchura mínima del "hexágono", medida en la dirección x es $I_{\min}$ y la anchura máxima medida en la dirección x es $I_{\max}$. Como los bordes laterales del "hexágono" se forman por las secciones inclinadas, el ángulo de inclinación de las secciones inclinadas medido en el plano formado por la dirección x y la dirección z (plano xz) varía en consecuencia entre un valor mínimo y un valor máximo. Además, las secciones inclinadas no discurren perpendiculares al plano xz como el estado del núcleo trapezoidal de la técnica, pero están inclinados con respecto a este plano. Este ángulo de inclinación es diferente para dos secciones inclinadas adyacentes. El ángulo de inclinación depende directamente de la diferencia $I_{\max} - I_{\min}$. En una realización preferida, la longitud I de onda de la variación de anchura es de < 50 mm, preferentemente < 10 mm. La longitud I de onda de la variación de anchura se mide en dirección transversal (dirección y). Preferentemente, el ángulo de inclinación de la sección inclinada medido en el plano xz es entre 20° y 90° .

Con respecto a la presente solicitud la expresión "cartón corrugado" comprende estructuras onduladas en el sentido convencional de la expresión "cartón corrugado" que consiste en papel, cartón y/o material plástico, preferentemente

como se indica a continuación, y las estructuras corrugadas que consisten en o que comprenden material metálico, por ejemplo, aleación de hierro o aleación de aluminio, que contiene Fe o Al como componente principal (%en peso). Los materiales de papel, cartón, plástico y metal, preferentemente como se ha mencionado en esta solicitud, se pueden combinar.

En las realizaciones de la presente invención, el ondulado del acanalado en la dirección transversal es recta o curva. Aquí el ondulado recto significa que la transición de la anchura desde el valor mínimo hasta el valor máximo es una línea recta con un punto de inflexión en el respectivo valor extremo que forma un borde afilado. En contraste, el ondulado curvo comprende una transición suave en el punto de inflexión del respectivo valor extremo con una sección redondeada. El ondulado recto proporciona una estabilidad mecánica ligeramente más alta, mientras que la realización curva tiene ventajas en el procedimiento de fabricación de materiales basados en papel.

Se ha demostrado por modelización de elementos finitos que el cartón corrugado de la invención con el ondulado en la dirección transversal tiene un mejor rendimiento mecánico que el perfil acanalado sinusoidal estándar. En particular, el acanalado trapezoidal ondulado tiene una mayor rigidez de cizallamiento inicial en la dirección de la máquina (dirección x) y por lo tanto mayor resistencia a la compresión inicial, es menos propenso a daño inicial y por lo tanto a fallos de flexión. En la dirección transversal (dirección y) la rigidez cizallamiento inicial es al menos comparable al acanalado sinusoidal estándar. En cuanto a la carga de compresión en la dirección del espesor (dirección z), la rigidez inicial es aún de 2 a 5 veces mayor que para el núcleo sinusoidal estándar. En general, el rendimiento mecánico del cartón corrugado se mejora y se espera que el cartón corrugado de la invención tenga también mejor rendimiento BCT (prueba de compresión de caja). Por consiguiente, el riesgo de fallo mecánico del cartón corrugado de acuerdo con la invención se reduce sustancialmente. Otra ventaja importante del cartón corrugado de acuerdo con la invención con la estructura trapezoidal ondulada es que el uso de materiales es comparable con el del cartón corrugado sinusoidal estándar.

El comportamiento mecánico se ve particularmente reforzado si de acuerdo con una realización preferida de la invención, el período de la variación de anchura de una sección recta superior se desplaza en relación con el período de variación de anchura de una sección recta inferior del mismo acanalado, preferentemente por medio de la longitud l de onda de la variación de anchura. Esto significa que el ángulo de inclinación de la sección inclinada no solo varía con respecto al plano xz sino que las secciones inclinadas se tuercen también internamente alrededor de un eje que discurre paralelo a la dirección z.

Con respecto a la utilización del cartón corrugado de la invención, se prefieren las siguientes dimensiones del perfil.

- El valor l_{min} mínimo del ondulado del acanalado está comprendido entre L/50 y L/5, preferentemente entre L/20 y L/5. El valor l_{min} mínimo se mide en dirección de la máquina (dirección x).
- Además, el valor l_{max} máximo del ondulado del acanalado está comprendido entre L/10 y L/2, preferentemente entre L/5 y L/2. El valor l_{max} máximo se mide en dirección de la máquina (dirección x).
- La relación del valor l_{max} máximo y el valor l_{min} mínimo del ondulado del acanalado en la dirección transversal es mayor que o igual a 1,5 ($l_{\max}/l_{\min} \geq 1.5$), preferentemente mayor que o igual a 2 ($l_{\max}/l_{\min} \geq 2$).

En otra realización el acanalado comprende, en la dirección de la máquina (dirección x), que significa dentro plano xz, un radio predefinido r en una sección de transición entre cada sección recta y su sección inclinada adyacente, en la que el radio r es preferentemente entre L/20 y L/5, lo más preferentemente entre L/10 y L/5. Un pequeño radio evita la pérdida de estabilidad mecánica debido al plegado e interrupción potencial de la red de fibra en el material acanalado.

En otra realización, el núcleo de longitud del núcleo L del perfil trapezoidal en la dirección de la máquina (dirección x) es menor que o igual a 20 mm ($L \leq 20$ mm), preferentemente menor que o igual a 6,5 mm ($L \leq 6,5$ mm).

Además, el cartón corrugado de la invención se puede utilizar con una amplia gama de materiales. De acuerdo con un aspecto de la invención, el material del revestimiento y/o el acanalado de acuerdo con el significado convencional de la expresión "cartón corrugado" comprende preferentemente al menos uno de los materiales del grupo siguiente, que contiene

- todos los tipos de papel (Kraftliners, Testliners), preferentemente con un gramaje entre 40 g/m² y 500 g/m², incluyendo papeles con una alta magnitud de estiramiento (deformación a la rotura) entre el 5 % y el 15 % (bolsa de papel, papel ligero),
- papeles de acanalado basados en desechos o papeles semi-químicos, preferentemente con un gramaje entre 40 g/m² y 250 g/m²,
- todo tipo de material plástico termoconformable, material preferentemente no tejido que contiene al menos uno cualquiera de fibras de PE, fibras de PP o fibras de PET, preferentemente fibras largas cardadas, materiales agujeteados, materiales termounidos o químicamente unidos,
- materiales extruidos, y
- metales, preferentemente aleaciones de hierro y de aluminio.

Particularmente preferido, el material del revestimiento y el acanalado comprende papel y es diferente en cuanto a su composición. Sin embargo, un cartón corrugado de la invención en el que los revestimientos y el acanalado tienen la misma composición es también posible. También con respecto a otros materiales mencionados al respecto es posible utilizar la misma composición tanto para los revestimientos como para el acanalado o una composición diferente que dependa de la aplicación del cartón corrugado.

La invención se describirá a continuación con más detalle basándose en las realizaciones preferidas y los dibujos. Todas las características descritas o ilustradas forman la materia objeto de la invención independientemente de su combinación en las reivindicaciones o su referencia anterior.

En los dibujos:

- 10 la Figura 1 muestra esquemáticamente una primera realización del cartón corrugado de acuerdo con la invención en una vista lateral en perspectiva,
- la Figura 2 representa esquemáticamente una vista superior de la primera realización del cartón corrugado de la invención,
- 15 la Figura 3 representa esquemáticamente una vista superior de una segunda realización del cartón corrugado de la invención,
- la Figura 4 muestra esquemáticamente un estado del cartón corrugado sinusoidal de la técnica en una vista lateral en perspectiva,
- la Figura 5 representa esquemáticamente otro ejemplo de un estado del cartón corrugado sinusoidal de la técnica utilizado como una estructura para su comparación con el cartón corrugado de la invención,
- 20 la Figura 6 muestra esquemáticamente otro ejemplo de un estado del cartón corrugado semiesférico de la técnica utilizado como una estructura para su comparación con el cartón corrugado de la invención,
- la Figura 7 representa un esquema de la carga de cizallamiento de placa de los paneles intercalados a lo largo de la dirección de la máquina (dirección x) utilizados en el análisis de elementos finitos,
- 25 la Figura 8 representa un esquema de la carga de cizallamiento de placa de los paneles intercalados a lo largo de la dirección transversal (dirección y) utilizados en el análisis de elementos finitos,
- la Figura 9 representa un modelo de prueba de aplastamiento plano (FCT, dirección z),
- la Figura 10 muestra los resultados numéricos de la prueba de aplastamiento plano utilizando el modelo de elementos finitos descrito a continuación, en particular la presión P de contacto media [MPa] frente a la respuesta de tensión, en el que la altura inicial de la estructura es H, para el estado descrito a continuación del acanalado arco-tangente de la técnica, el acanalado trapezoidal ondulado de la invención y el estado descrito a continuación del acanalado semiesférico de la técnica,
- 30 la Figura 11 muestra los resultados numéricos de la carga de cizallamiento de placa a lo largo de la dirección de la máquina (dirección x) utilizando el modelo de elementos finitos descrito a continuación, en particular la tensión $T_{xz} = N_x/A$ de cizallamiento transversal [MPa] frente al desplazamiento U_x/λ horizontal para el estado descrito a continuación de la técnica del acanalado arco-tangente el acanalado trapezoidal ondulado de la invención y el estado descrito a continuación del acanalado semiesférico de la técnica,
- 35 y
- la Figura 12 muestra los resultados numéricos de carga de cizallamiento de placa a lo largo de la dirección transversal (dirección y) utilizando el modelo de elementos finitos descrito a continuación, en particular la tensión $T_{yz} = N_y/A$ de cizallamiento transversal [MPa] frente al desplazamiento U_y/λ horizontal para el estado descrito a continuación de la técnica del acanalado arco-tangente el acanalado trapezoidal ondulado de la invención y el estado descrito a continuación del acanalado semiesférico de la técnica.
- 40

Una primera realización del cartón corrugado trapezoidal ondulado de acuerdo con la invención se muestra en la Figura 1 y 2. El cartón comprende un primer revestimiento 1 (superior) y un segundo revestimiento 2 (inferior) y un acanalado 10 trapezoidal alojado entre el primer revestimiento 1 y el segundo revestimiento 2. El acanalado 10 se compone de secciones 12 rectas que discurren paralelas a los revestimientos 1, 2 y de secciones 13 inclinadas que discurren inclinadas al primer revestimiento 1 y al segundo revestimiento 2. Las secciones 12 rectas se alternan con las secciones 13 inclinadas. Además, en una sección de transición entre una sección 12 recta y una sección 13 inclinada se forma una sección redondeada con el radio r, que es bastante pequeño en la realización representada en la Figura 1. La celda del núcleo del trapecio en la dirección x tiene una longitud L y una altura predefinida en la dirección z. La altura total del cartón corrugado en la dirección z incluyendo el espesor del primer revestimiento 1 y del segundo revestimiento 2 se indica en la Figura 1 con el signo H de referencia.

El ondulado en la dirección transversal (dirección y) se proporciona por una variación de anchura de las secciones

12 rectas entre un valor $l_{\min}$ mínimo y un valor $l_{\max}$ máximo. La Figura 1 muestra un ondulado recto, lo que significa que las secciones 12 inclinadas forman un borde afilado en cada valor de anchura extremo ($l_{\min}$, $l_{\max}$). En contraste, la segunda realización mostrada en la Figura 3 muestra una versión curvada del ondulado.

- 5 La variación de anchura en la dirección y tiene una longitud l de onda sobre la que la longitud de las secciones rectas forman una superficie hexagonal (en caso del ondulado recto, véase Figuras 1 y 2) y un área similar (en el caso del ondulado curvo, véase Figura 3). El acanalado 10 se pega con sus secciones 12 rectas al primer revestimiento 1 o al segundo revestimiento 2.

- 10 Como se puede derivar de la Figura 2, el período de la sección 12a recta superior se desplaza por medio de su longitud l de onda con respecto a la sección 12b recta inferior. De acuerdo con ello, las secciones 13 inclinadas que conectan la sección 12a recta superior con la sección 12b recta inferior no solo discurren no perpendiculares al plano xz sino que también están ligeramente retorcidos alrededor de un eje paralelo al eje z.

El cartón corrugado de la invención como se representa en la Figura 1 y 2 se comparó con otras estructuras en términos de sus propiedades mecánicas utilizando un modelo de elementos finitos.

- 15 Las Figuras 1, 2, 5 y 6 muestran esquemas de las tres formas básicas analizadas: la forma de núcleo trapezoidal ondulado de la invención (Figuras 1, 2.), de arco-tangente (Figura 5) y semiesférico (Figura 6). En el modelo de elementos finitos el núcleo tiene una altura de 2,03 mm en todos los casos. El espesor de las láminas en ambos revestimientos 1, 2 y del acanalado 10 es de 0,2 mm. Por lo tanto, la altura total H de toda la estructura (es decir, dos revestimientos y el acanalado) es igual a 2,43 mm.

La longitud L lateral de la celda unitaria, igual tanto en la dirección x como y , depende de la forma del acanalado.

- 20 La sección transversal del acanalado trapezoidal de la invención con $l = L = \lambda$ utilizada para el modelado se define por el radio $r = 0,5$ mm y la longitud (L) de los segmentos rectos en la parte superior e inferior. Esta longitud varía linealmente a lo largo del eje y de una manera simétrica, en la que $l_{\min} = 0,5$ mm en $y = 0$ e $y = L$ mientras que $l_{\max} = 1,0$ mm en $y = L/2$. La longitud L lateral para este núcleo es también $L = 5$ mm.

- 25 El núcleo de arco-tangente (véase Figura 5) se compone de dos arcos de radio $r = 1,0$ mm conectados por segmentos rectos. Este acanalado es similar al acanalado de banda corrugada tradicional utilizada en la industria. El acanalado tiene geometría constante a lo largo de la dirección transversal (dirección y) y tiene la longitud lateral $L = \lambda = 5$ mm.

- 30 El acanalado semiesférico que se muestra en la Figura 6 se define por su radio principal $R = \lambda/2 = 2,5$ mm y el radio del arco $r = 0,5$ mm. Las posiciones de los hemisferios siguen un patrón cuadrado en el plano xy con una distancia de centro-centro $L = 8/5 \lambda = 8$ mm.

- 35 El comportamiento estructural de los paneles intercalados de núcleo de banda con tres tipos de formas de núcleo se analizó mediante modelos de elementos finitos empleando grandes deformaciones y giros. Las capas intercaladas se supone son elástica-plástica ortotrópica con un comportamiento de endurecimiento por deformación cinemático bilineal isotrópico. Los modelos de cizallamiento de placa y de aplastamiento plano se utilizan para simular las cargas de cizallamiento y de compresión de las estructuras. Las propiedades de los materiales utilizados en los análisis son típicas para los materiales de papel acanalado en un cartón corrugado. El material de papel constituyente se describe como un material continuo elástico-plástico ortotrópico con un comportamiento de endurecimiento cinemático bilineal. El comportamiento se supone que es simétrico con respecto a la tensión/compresión. Por simplicidad, el material se supone que igual en los revestimientos y en el acanalado. El
- 40 papel se considera un material ortotrópico con una rigidez elástica en el plano $E_x = 4,75$ GPa, $E_y = 1,56$ GPa y rigidez de cizallamiento $G_{xy} = 1,05$ GPa. La rigidez elástica fuera del plano $E_z = 0,03$ GPa y rigidez de cizallamiento fuera del plano $G_{yz} = G_{xz} = 0,06$ GPa.

- 45 Las relaciones de Poisson son $\nu_{xy} = 0,168$ y $\nu_{xz} = \nu_{yz} = 0,01$ (véase documento Erkkilä AL, Leppänen T., Hämäläinen J., modelos de plasticidad empíricos aplicados para láminas de papel que tienen diferente anisotropía y niveles de contenido de sólidos secos, Int. J. Solids Struct. 50, páginas 2151-2179, 2013). Para el régimen plástico, el criterio de flujo clásico de Hill para la plasticidad ortótropa se aplicó de acuerdo con Isaksson P., R. Häggglund, P. Gradin, Mecánica de Daños Continuos aplicada al papel., Int. J. Solids Struct. 41, páginas 4731-4755, 2004, Hill R., La Teoría Matemática de la Plasticidad, Clarendon Press, Oxford Reino Unido, 1950, y Ansys 14, Sistemas de análisis de Swanson, Houston, PA. 2011.

- 50 Para la implementación de elementos finito se utilizan elementos de cubierta isoparamétrica que son capaces de manejar tanto las estructuras cubierta generales gruesa como fina, material y comportamiento no lineal geométrico, así como grandes giros y deformaciones utilizando una formulación Lagrangiana total (véase Teoría y Guía de modelado, ADINA R&D Inc., Watertown MA, Estados Unidos. 2005, y Dvorkin E., Bathe K.J., Una mecánica continua basada en elemento de cubierto de cuatro nudos para el análisis no lineal general, Engng Comp. 1, páginas 77-88, 1984).
- 55 El elemento tiene 4 nodos, cada uno con 6 grados de libertad: 3 traslaciones y 3 giros alrededor de las direcciones x , y e z global. Una descripción completa de este elemento de cubierta se puede encontrar en Bathe (véase Bathe K.J., procedimientos de elementos finitos, Prentice-Hall, Nueva Jersey, 2006, Teoría y Guía de

Modelado, ADINA R&D Inc., Watertown MA, Estados Unidos 2005, y Dvorkin E., Bathe K.J., Una mecánica continua basada en elemento de cubierta de cuatro nodos para el análisis no lineal general., Engng Comp. 1, páginas 77-88, 1984). Los acanalados arco-tangente, trapezoidales ondulados y semiesféricos fueron representados por los elementos 900, 900 y 2304, respectivamente. Por lo tanto, las relaciones de longitud a espesor de los elementos son de aproximadamente 1, lo que está bien dentro del límite para el elemento (véase la Teoría y guía de modelado, ADINA R&D Inc., Watertown MA, Estados Unidos, 2005). Las láminas de revestimiento se conectan a las crestas de acanalado en los nodos comunes. Para evitar la interpenetración entre las láminas de revestimiento y el acanalado en grandes deformaciones y giros, se utilizan pares rígido-rígido de contacto sin fricción (véase Teoría y Guía de modelado, ADINA R&D Inc., Watertown MA, Estados Unidos, 2005). El algoritmo de contacto utiliza funciones de restricción para hacer cumplir todas las condiciones de un contacto de deslizamiento sin fricción en los nodos en contacto. Para resolver el problema no lineal, un procedimiento iterativo de Newton-Raphson modificado se aplica a cada etapa de carga hasta que se cumplan todas las condiciones de contacto y el equilibrio de fuerza prevalece en toda la estructura.

La prueba de cizallamiento de placa es un procedimiento común para determinar la respuesta al cizallamiento de una estructura intercalada. Como se describe en la norma ASTM C273 (véase norma ASTM C 273-00, Procedimiento de prueba estándar para las propiedades de cizallamiento de los materiales de núcleo intercalados. ASTM, West Conshohocken (PA, Estados Unidos.), ASTM International, 2000), esta prueba consiste en un elemento del panel intercalado adhesivamente unido a dos placas de metal. Mediante el desplazamiento de las placas a lo largo de sus planos, pero en direcciones opuestas, la muestra se cargará en cizallamiento fuera del plano.

Con respecto al cizallamiento a lo largo de la dirección de la máquina (dirección x), la estructura se orienta de modo que los desplazamientos de cizallamiento actúan en la dirección de la máquina de la estructura, véase Figura 7. Para simular la prueba de la placa, la amina de la cara inferior de la celda unitaria se fija (es decir, desplazamientos $U_x = U_y = U_z = 0$ de todos los nodos), donde (x, y, z) es el sistema de coordenadas cartesiano global. Para promover la distorsión de cizallamiento de la celda unitaria en el plano xz transversal, un desplazamiento U_x se da en etapas sucesivas a todos los nodos de la cara superior hasta que un desplazamiento total de $U_x/\lambda = 0,1$ se consigue. Para llegar a una carga de cizallamiento constante en el plano xz de la estructura de celda unitaria, los desplazamientos de los nodos en la parte superior se ven limitados en la dirección y ($U_y = 0$) y sus giros ϕ_x y ϕ_y alrededor de los ejes x e y se limitan a cero. Además, se aplican condiciones de contorno periódicas de los giros de borde de modo que $\phi_x (y = 0, z) = \phi_x (y = L, z)$ y $\phi_y (x = 0, z) = \phi_y (x = L, z)$. La fuerza N_x horizontal total a lo largo de la dirección x se obtiene sumando las fuerzas de reacción nodales de todos los nodos en la cara superior.

El modelo de cizallamiento de bloque en la dirección transversal (dirección y , véase Figura 8, es similar al de la dirección x . Las láminas inferiores son fijas. Para promover la distorsión de cizallamiento de la celda unitaria en el plano yz transversal, un desplazamiento U_y se da en etapas sucesivas en todos los nodos de la cara superior hasta que un desplazamiento total de $U_y/\lambda = 0,1$ se logra. El desplazamiento de los nodos en la cara superior se limita en la dirección x ($U_x = 0$) y sus giros $\phi_x = \phi_y = 0$. Se aplican condiciones de límite periódicas de los giros de borde de modo que $\phi_x (y = 0, z) = \phi_x (y = L, Z)$ y $\phi_y (x = 0, z) = \phi_y (x = L, z)$. La fuerza N_y horizontal total a lo largo de la dirección y se obtiene sumando las fuerzas de reacción nodales de todos los nodos en la cara superior.

La prueba de aplastamiento plano (FCT, véase Figura 9) es un procedimiento utilizado frecuentemente para medir la resistencia a la compresión fuera del plano de los paneles intercalados. De acuerdo con la norma ISO 3035 (véase ISO 3035, cartón corrugado de una sola pared y una sola cara - Determinación de la resistencia al aplastamiento plano, segunda edición, 12.01.1982, Ginebra, Suiza), la prueba de aplastamiento plana consiste en comprimir un panel intercalado rectangular entre dos placas metálicas planas hasta que se produce el colapso de la estructura. Para simular la prueba, los nodos de las láminas de las caras inferiores son fijos (es decir, desplazamientos $U_x = U_y = U_z = 0$ de todos los nodos, véase Figura 9). Además, no se permiten desplazamientos en el plano en la cara superior e inferior, es decir, condiciones de contorno $U_x = U_y = 0$ se aplican a los nodos de la cara. Un desplazamiento $-U_z$ a lo largo de la dirección z se aplica sucesivamente a todos los nodos en la cara superior hasta que un desplazamiento total de $-U_z/h = 0,5$ se logra. La fuerza N_z vertical total a lo largo de la dirección z global se obtiene sumando las fuerzas de reacción nodales de todos los nodos en la cara superior.

Los paneles intercalados con diferentes acanalados de banda se cargan en modelos de elementos finitos tanto en el cizallamiento como en la compresión consistente con las condiciones de carga por cizallamiento de placa y aplastamiento plano como se ha descrito en las secciones anteriores. Las capas en el cartón se orientan siempre de manera que el eje x se encuentra en la dirección de la máquina y el eje y se encuentra en la dirección transversal.

La Figura 10 muestra la tensión de compresión $P = -N_z/A$ frente al esfuerzo medio U_z/H para los diversos acanalados, donde A es el área de las láminas de caras de la celda unitaria.

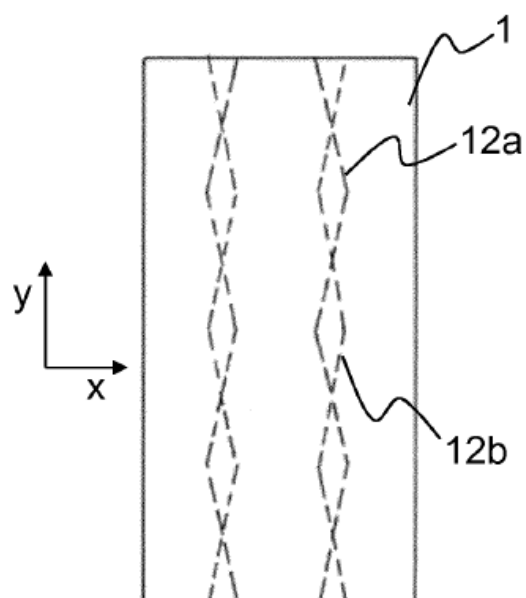
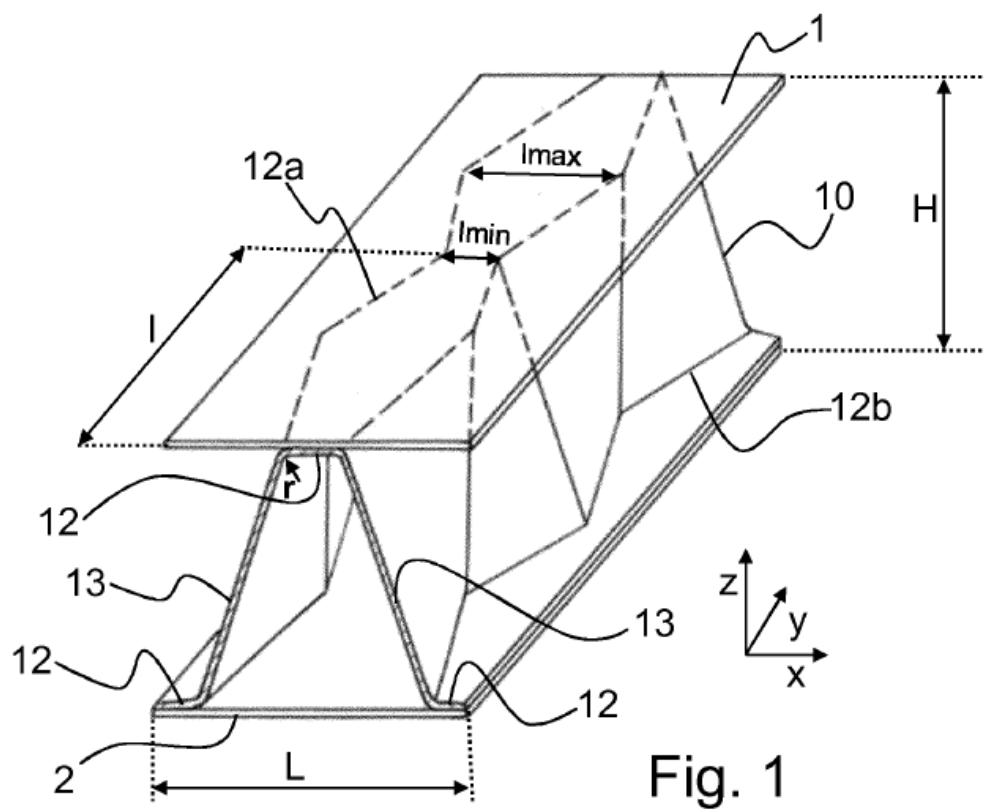
Como se ve en la Figura 10, la respuesta de compresión de los diferentes núcleos es muy diferente. El núcleo trapezoidal ondulado tiene la mayor rigidez inicial, aproximadamente 2 - 5 veces mayor que los núcleos de arco-tangente y semiesféricos. Aproximadamente el 10 % de la contracción, la carga del núcleo trapezoidal cae significativamente y asume un nivel cercano al del núcleo de arco-tangente y continúa después aumentando de nuevo.

- Los procedimientos de deformación de los diversos acanalados son bastante diferentes. El acanalado de arco-tangente se deforma simétricamente y la forma sigue siendo trapezoidal durante la compresión. Se observa que la deformación se inicia por la flexión de los arcos curvos, mientras que los segmentos rectos giran. A deformaciones muy grandes el núcleo se pandea y asume una forma esencialmente plana. El comportamiento del acanalado trapezoidal es similar con la importante diferencia de que el acanalado es en ese caso capaz de llevar una carga inicial sustancialmente mayor y es inicialmente más rígido. Además, la forma deformada sigue siendo trapezoidal, aunque se ha observado algo de flexión entre los arcos y las láminas de las caras a gran deformación. El acanalado semiesférico tiene una rigidez inicial más baja que los núcleos de arco-tangente y trapezoidal.
- Esto no es sorprendente puesto que inicialmente tiene mucha menor área de contacto entre el núcleo y la lámina de la cara.
- La Figura 11 muestra la tensión de cizallamiento transversal $T_{xz} = N_x/A$ frente al desplazamiento U_x/λ horizontal para los modelos de prueba de cizallamiento de placa cargados en cizallamiento a lo largo de la dirección de la máquina (dirección x).
- Como se observa en la Figura 11, el acanalado de arco-tangente tiene la rigidez de cizallamiento inicial más baja a lo largo de la dirección x, mientras que el acanalado trapezoidal tiene la rigidez de cizallamiento inicial más alta a lo largo de la dirección x. El acanalado semiesférico tiene una rigidez inicial en algún lugar entre los dos. El acanalado semiesférico tiene una rigidez de cizalladura casi constante en la dirección x a lo largo de todo el régimen de carga.
- Como se observa en la Figura 12, los acanalados de arco-tangente y trapezoidal tienen una rigidez de cizallamiento inicial muy similar cuando se cargan en cizallamiento a lo largo de la dirección y.
- Se ha demostrado mediante el modelado de elementos finitos que los núcleos de arco-tangente y trapezoidal ondulado se deforman de manera compleja.
- El resultado interesante es que a pesar de que el acanalado trapezoidal ondulado tiene un diseño muy similar al acanalado de arco-tangente, tiene un mejor rendimiento mecánico. Por lo tanto, con acciones relativamente simples, los fabricantes de cartón pueden aumentar el rendimiento mecánico y ofrecer mejores envases a sus clientes sin aumentar su consumo de material. Las aplicaciones de cartón corrugado con propiedades mecánicas mejoradas pueden no solamente encontrarse en la industria del embalaje, sino también por ejemplo en la industria de mobiliario o del automóvil como un reemplazo para las estructuras de plástico o madera costosas. Por último, pero no menos importante, se debe hacer hincapié en que la invención se puede utilizar también con un cartón corrugado de doble pared o un cartón corrugado de triple pared.

REIVINDICACIONES

1. Un cartón corrugado que comprende al menos un revestimiento, preferentemente al menos dos revestimientos (1, 2), y al menos un acanalado (10), en el que cada acanalado (10) se encuentra en un revestimiento adyacente, preferentemente entre dos revestimientos (1, 2) adyacentes, en el que la al menos un acanalado (10) forma un perfil trapezoidal en una dirección de la máquina (dirección x) que comprende secciones (12) rectas que se extienden básicamente paralelas al revestimiento (1, 2) adyacente alternando con secciones (13) inclinadas que discurren inclinadas con respecto al revestimiento (1, 2) adyacente, **caracterizado porque** las secciones (12) rectas y las secciones (13) inclinadas del acanalado comprenden un ondulado en una dirección (dirección y) transversal a la dirección de la máquina (dirección x) y una dirección del espesor (dirección z), de tal manera que la anchura de cada sección (12) recta varía periódicamente entre un valor ($I_{\min}$) mínimo y un valor ($I_{\max}$) máximo.
2. El cartón corrugado de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un período de una variación de anchura de una sección (12a) recta superior se desplaza con respecto a un período de una variación de anchura de una sección (12b) recta inferior del mismo (10) acanalado, preferentemente por la mitad de la longitud (l) de onda de la variación de anchura.
3. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la longitud (l) de onda de la variación de anchura es inferior a 50 mm, preferentemente inferior a 10 mm.
4. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor ($I_{\min}$) mínimo del ondulado del acanalado (10) está comprendido entre $L/50$ y $L/5$, preferentemente entre $L/20$ y $L/5$, en el que L es una longitud celda del núcleo del perfil trapezoidal en la dirección de la máquina (dirección x).
5. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor ($I_{\max}$) máximo del ondulado del acanalado (10) está comprendida entre $L/10$ y $L/2$, preferentemente entre $L/5$ y $L/2$.
6. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la relación entre el valor ($I_{\max}$) máximo y el valor ($I_{\min}$) mínimo del ondulado del acanalado (10) en la dirección transversal es mayor que o igual a 1,5 ($I_{\max}/I_{\min} \geq 1,5$), preferentemente mayor que o igual a 2 ($I_{\max}/I_{\min} \geq 2$).
7. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ondulado del acanalado (10) en la dirección transversal es recta o curva.
8. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el acanalado (10) comprende, en la dirección de la máquina (dirección x) un radio (r) predefinido en una sección de transición entre cada sección (12) recta y su sección (13) inclinada adyacente, en el que el radio (r) está comprendido preferentemente entre $L/20$ y $L/5$, lo más preferentemente entre $L/10$ y $L/5$.
9. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la longitud (L) de la celda del núcleo del perfil trapezoidal del acanalado (10) en dirección de la máquina (dirección x) es menor que o igual a 20 mm ($L \leq 20$ mm), preferentemente menor que o igual a 6,5 mm ($L \leq 6,5$ mm).
10. El cartón corrugado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material del revestimiento (1, 2) y/o del acanalado (10) comprende al menos uno de los materiales del siguiente grupo, que contiene
 - todos los tipos de papel (Kraftliners, Testliners), preferentemente con un gramaje entre 40 g/m^2 y 500 g/m^2 , incluyendo papeles con una alta magnitud de estiramiento (deformación a la rotura) entre el 5 % y el 15 % (bolsa de papel, papel ligero),
 - papeles de acanalado basados en desechos o papeles semi-químicos, preferentemente con un gramaje entre 40 g/m^2 y 250 g/m^2 ,
 - todo tipo de material plástico termoconformable, material preferentemente no tejido que contiene al menos uno cualquiera de fibras de PE, fibras de PP o fibras de PET, preferentemente fibras largas cardadas, materiales agujeteados, materiales termounidos o químicamente unidos,
 - materiales extruidos, y
 - metales, preferentemente aleaciones de hierro y de aluminio,

en el que preferentemente el material del revestimiento (1, 2) y del acanalado (10) comprende papel y es diferente en cuanto a su composición.



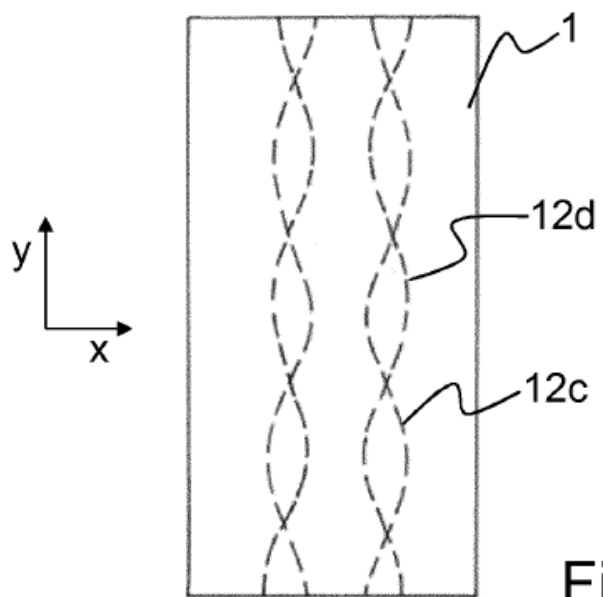


Fig. 3

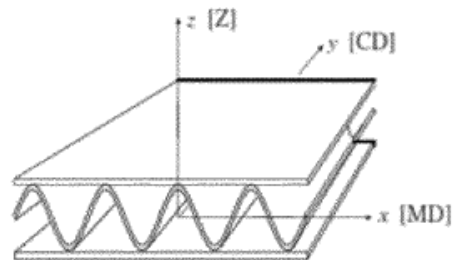


Fig. 4

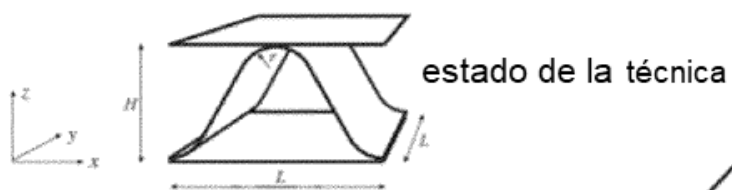


Fig. 5

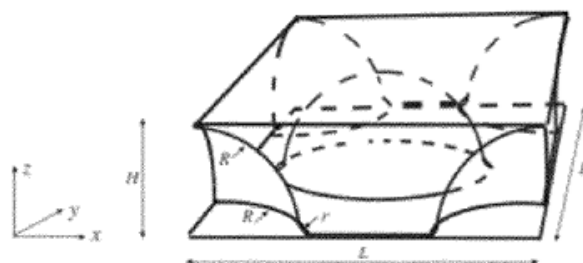


Fig. 6

estado de la técnica

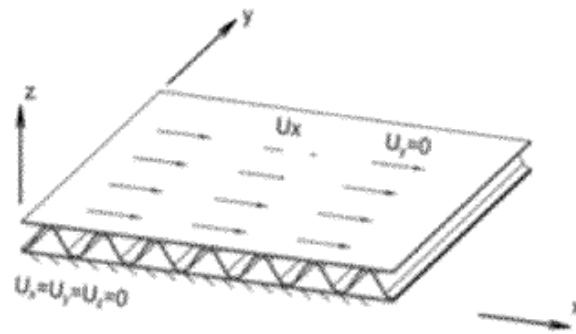


Fig. 7

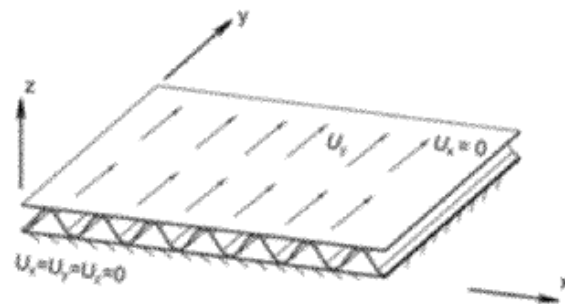


Fig. 8

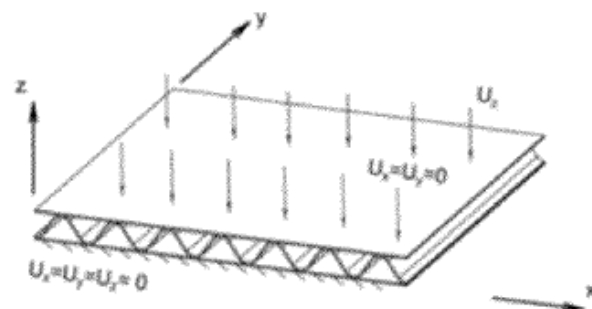


Fig. 9

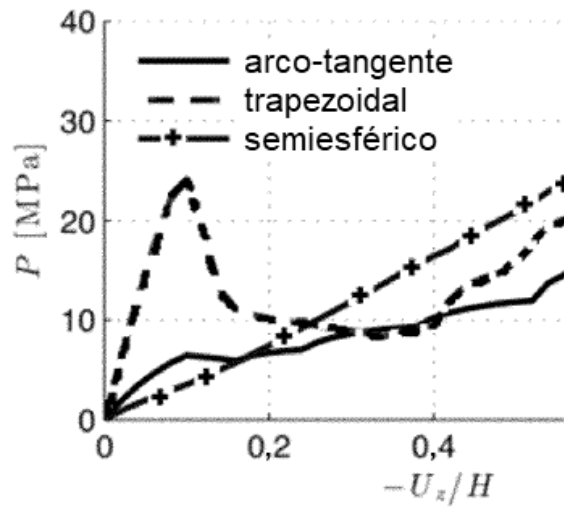


Fig. 10

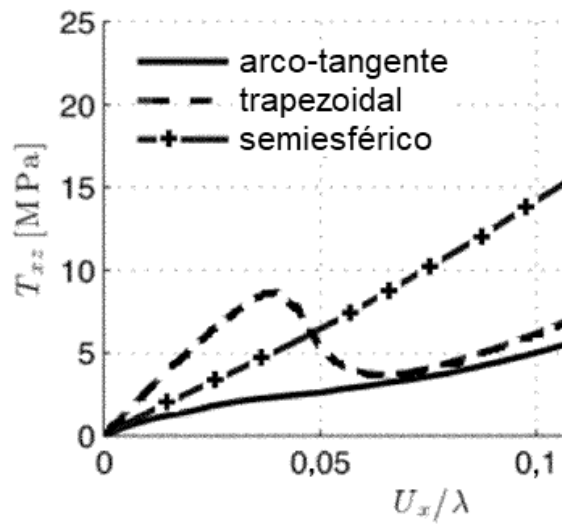


Fig. 11

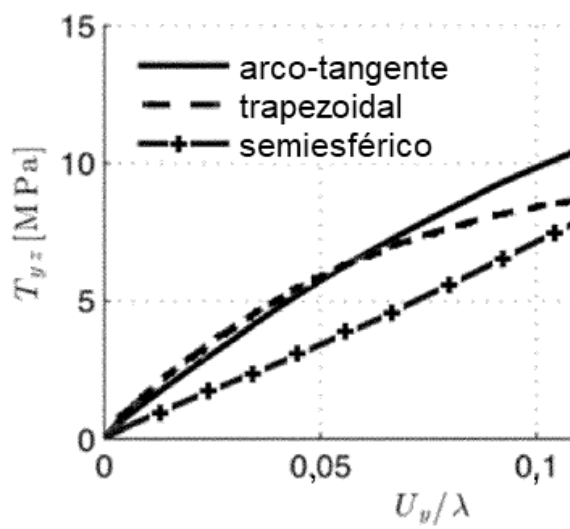


Fig. 12