

Juntas pegadas

Keywords: trigonometría, funciones goniométricas, triángulo rectángulo

Veremos las posibles aplicaciones prácticas de las funciones goniométricas y las relaciones entre las longitudes de los lados de un triángulo rectángulo.

Trataremos el tema de las uniones pegadas. Mostraremos métodos para distribuir la tensión de fuerza de una unión en más componentes y sobre un área mayor, y cómo determinar las tensiones que surgen cuando se somete a tensión una unión de este tipo. Calcularemos cómo cambian los esfuerzos en una unión bajo carga axial de una barra o viga que no está pegada cara con cara, sino que la unión se realiza en diagonal como se muestra en la figura.

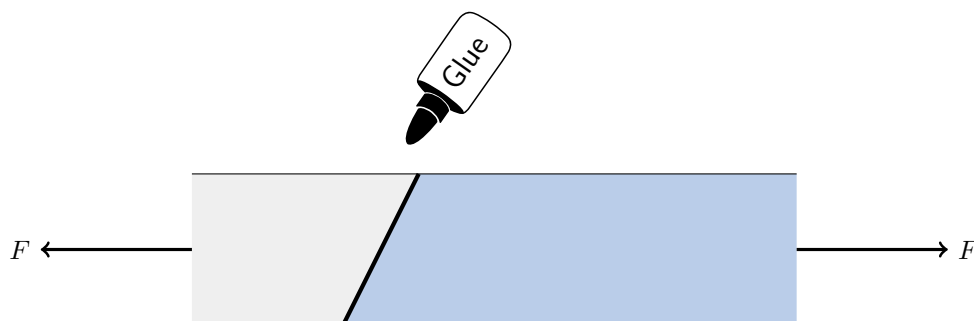


Figura 1: Articulación en ángulo aumenta la resistencia a la tensión.

Tipos de uniones pegadas y sus tensiones

Todo el mundo sabe unir materiales pegándolos. Si la resistencia de la unión resultante no importa, el encolado es una de las formas más sencillas de unir materiales. En la práctica, sin embargo, a menudo necesitamos que la unión sea duradera y resistente. Es decir, debe ser capaz de soportar grandes cargas de fuerza.

Por lo general, los adhesivos garantizan una resistencia a las tensiones normales de tracción y de corte que no supera los valores especificados por el fabricante del adhesivo. La tensión mecánica que se produce cuando una junta está sometida a un esfuerzo fuerte es la relación entre la fuerza aplicada y la superficie sobre la que se aplica la fuerza. En el caso de un esfuerzo normal se considera la fuerza perpendicular a la superficie, en el caso de un esfuerzo cortante la fuerza es paralela a la superficie. Las posibles deformaciones de la junta sometida a tensión se muestran en la figura de la izquierda, donde “Tensión” ilustra la tensión normal de tracción y “Cizalladura” ilustra la tensión de corte.

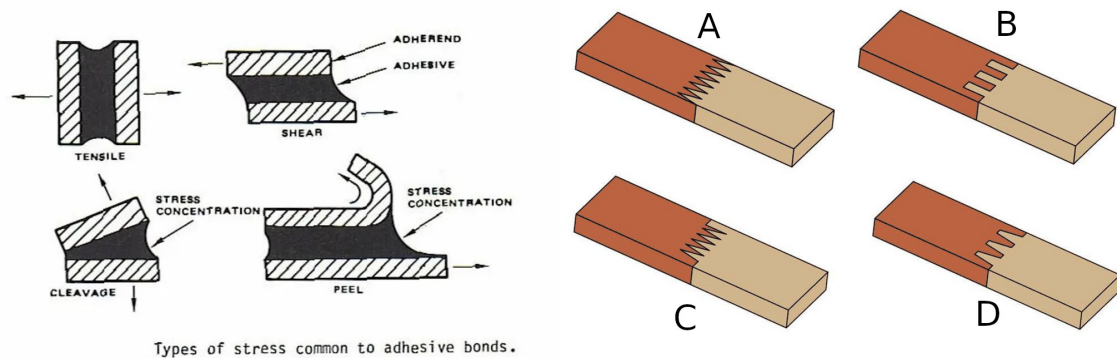


Figura 2: A la izquierda en la imagen en blanco y negro, los tipos de tensiones en la unión pegada. A la izquierda, en la fila superior, la tensión normal de tracción (Tensile) y a la derecha la tensión de cizalladura (Shear). A la derecha, en la imagen en color, métodos para repartir las tensiones normales sobre una superficie mayor y en más componentes.

La durabilidad de la junta está relacionada con el adhesivo utilizado y los materiales unidos. Los datos pueden obtenerse de los fabricantes y pueden tener el siguiente aspecto, por ejemplo:

- Una junta unida con el adhesivo instantáneo Loctite 421 tiene una resistencia de 18 MPa a 26 MPa en acero y de 5 MPa a 20 MPa en policarbonato.
- Una junta unida con adhesivo de dispersión Herkules tiene una resistencia al corte de unión a la madera de 8 MPa.
- Una junta unida con pegamento MAMUT tiene una resistencia a la tracción de 2,18 MPa y una resistencia al corte de 1,40 MPa.

Dado que la tensión en una articulación se determina como una relación entre la fuerza y el área, para reducirla tratamos de repartir la acción de la fuerza en más direcciones y sobre un área mayor. Las uniones de la figura anterior de la derecha son un ejemplo. En la junta B las caras sometidas a esfuerzo normal se complementan con caras sometidas a un esfuerzo de corte puro.

Para nosotros, la conexión con una junta inclinada será más interesante, porque en ella la junta está sometida a esfuerzos tanto normales como cortantes. Obsérvese que, en la práctica, a menudo vemos la junta helicoidal implementada de forma diferente a la imagen inicial. La razón es que es preferible tener la junta más inclinada, pero una junta demasiado inclinada ocuparía demasiado espacio. Por lo tanto, en la práctica dicha junta se realiza con roturas, con cada dos piezas giradas y con las piezas alineadas una encima de la otra.

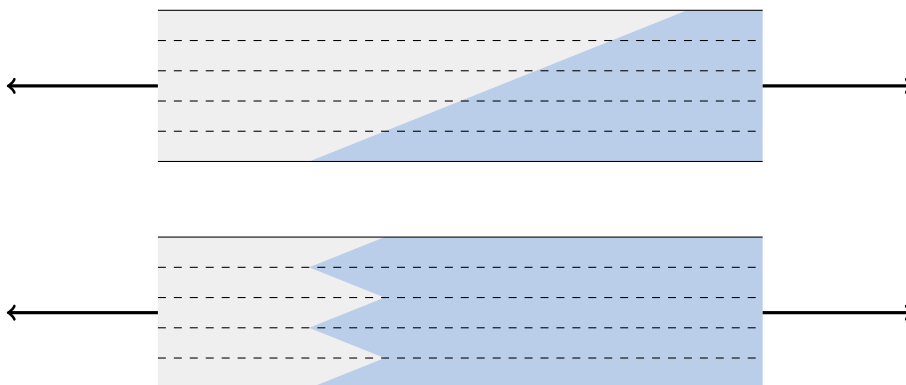


Figura 3: Realización práctica de una unión en ángulo. Dividir la viga por cortes longitudinales, girar el corte en cada segunda capa y alinear todas las piezas unas encima de otras.

Tensiones en la junta helicoidal

Tarea 1. Consideremos un prisma de anchura $b = 4\text{ cm}$ y altura $h = 3\text{ cm}$, que está pegado en dos piezas por una junta oblicua como se muestra en la figura. La junta forma un ángulo de $\alpha = 30^\circ$ con la cara del prisma. El prisma está tensado axialmente por una fuerza $F = 1000\text{ N}$. Calcular la tensión en la junta y comparar con la tensión en una sección perpendicular al eje.



Figura 4: Instrucciones de la tarea

Solución. En un plano perpendicular al eje, la sección es un rectángulo de lados b y h . La fuerza F induce un esfuerzo de tracción en este plano

$$\sigma = \frac{F}{bh} = \frac{1000\text{ N}}{3 \times 4\text{ cm}^2} = 833\,333\text{ Pa} = 0,833\text{ MPa}.$$

La tensión normal σ_N en el acoplamiento se calcula mediante la relación

$$\sigma_N = \frac{F_N}{S},$$

donde F_N es la magnitud de la fuerza normal y S es el área del acoplamiento. El esfuerzo cortante σ_G se calcula de forma similar al normal mediante la relación

$$\sigma_G = \frac{F_G}{S},$$

donde F_G es la magnitud del esfuerzo cortante.

En un triángulo rectángulo con hipotenusa F y catetos F_N y F_G (ver Figura 5), podemos determinar los ángulos interiores por las propiedades de los ángulos suplementarios y congruentes. A partir de este triángulo, obtenemos las magnitudes de las fuerzas F_N a F_G :

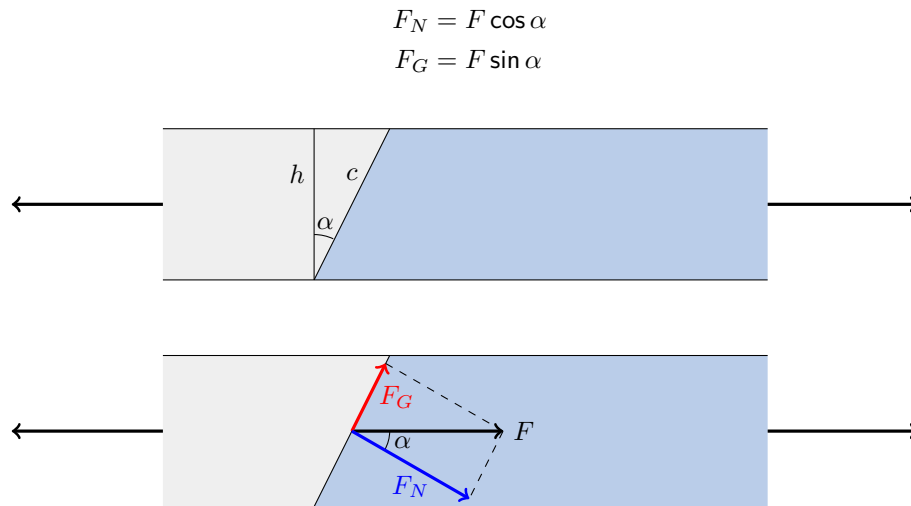


Figura 5: Articulación en ángulo. En la parte superior triángulo para el cálculo de la longitud del lado de la articulación, en la parte inferior triángulo para la descomposición de la fuerza F en dirección tangencial y normal.

La junta será rectangular. Uno de sus lados será igual a la anchura del prisma b . La longitud c del otro lado es la longitud de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, en el que conocemos la longitud de la hipotenusa h y el tamaño del ángulo α entre la hipotenusa y este lado.

Así que

$$c = \frac{h}{\cos \alpha}$$

y

$$S = bc = \frac{hb}{\cos \alpha}.$$

Utilizando las relaciones derivadas, obtenemos el valor de la tensión normal

$$\sigma_N = \frac{F_N}{S} = \frac{F \cos \alpha}{\frac{hb}{\cos \alpha}} = \frac{F}{hb} \cos^2 \alpha = \sigma \cos^2 \alpha$$

y el valor para la tensión cortante

$$\sigma_G = \frac{F_G}{S} = \frac{F \sin \alpha}{\frac{hb}{\cos \alpha}} = \frac{F}{hb} \sin \alpha \cos \alpha = \sigma \sin \alpha \cos \alpha.$$

Los valores de los factores $\cos^2 \alpha$ y $\sin \alpha \cos \alpha$ indican cuántas veces cambia la tensión normal o cortante en la junta en comparación con la tensión en la sección perpendicular. Dado que ambos factores son menores que uno para un ángulo distinto de cero, tanto σ_N como σ_G serán menores que σ . La progresión de las funciones $\sin x \cos x$ y $\cos^2 x$ pro x en grados se muestra en la figura siguiente. Para el ángulo $\alpha = 30^\circ$ y los parámetros dados del prisma y la acción de la fuerza, obtenemos

$$\sigma_N = 0,625 \text{ MPa}$$

y

$$\sigma_G = 0,361 \text{ MPa}.$$

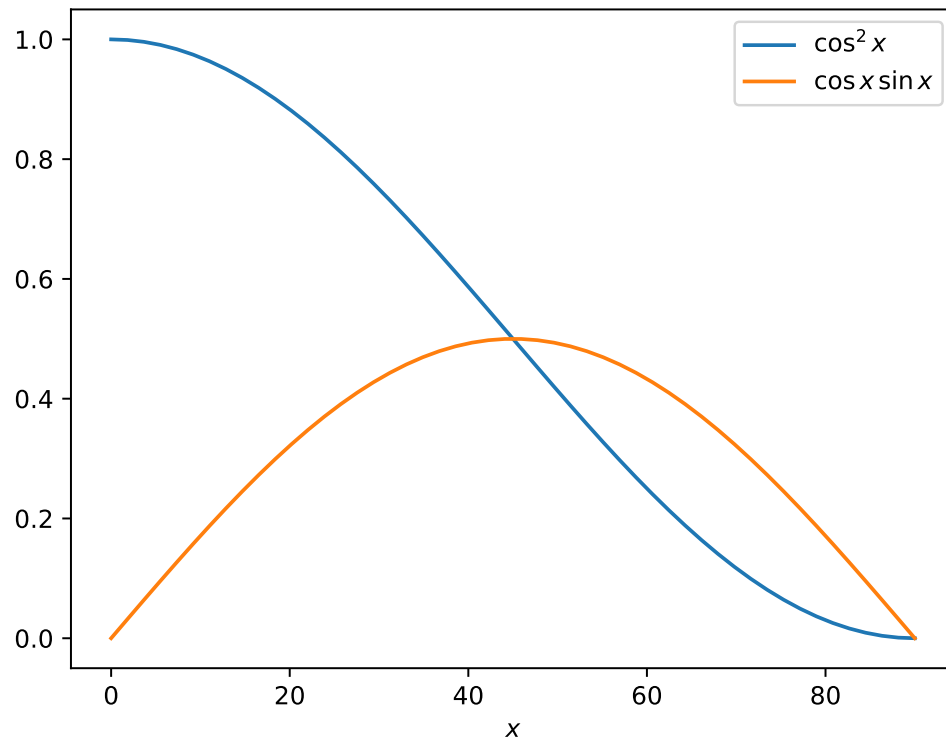


Figura 6: La progresión de las funciones $\cos^2 x$ y $\cos x \sin x$ para la variable x en grados. Estas funciones indican la relación en la que la tensión sobre la barra se divide en componentes normal y cortante.

Tareas para el trabajo autónomo

Tarea 2. Determina para qué ángulo será máxima la tensión cortante en la unión según la Tarea 1. Determina también la tensión normal correspondiente.

Solución.

En la Tarea 1, la fórmula para el esfuerzo cortante se obtuvo de la forma

$$\sigma_G = \sigma \sin \alpha \cos \alpha.$$

Utilizando la fórmula del doble del ángulo, obtenemos

$$\sigma_G = \frac{1}{2} \sigma \sin(2\alpha).$$

La función $\sin 2\alpha$ tiene un máximo para el ángulo $\alpha = 45^\circ$, véase también la Figura 6 en la solución de la Tarea 1. De aquí vemos que el valor máximo del esfuerzo cortante es para el ángulo $\alpha = 45^\circ$ y en

Results matter!

este caso se cumplirá $\sigma_G = \frac{1}{2}\sigma$.

Para la tensión normal hemos obtenido la fórmula

$$\sigma_N = \sigma \cos^2 \alpha$$

y para $\alpha = 45^\circ$ obtenemos $\sigma_N = \frac{1}{2}\sigma$. En el esfuerzo cortante máximo ambas tensiones (cortante y normal) serán iguales e iguales a la mitad de σ . Esta situación se da para una junta con un ángulo 45° .

Tarea 3. El adhesivo garantiza que la junta pueda soportar las fuerzas que producen tensiones normales 10 MPa y tensiones cortantes de 8 MPa. ¿Qué fuerza máxima puede aplicarse a la junta del problema 1? ¿Cómo cambiaría la respuesta a esta pregunta para una junta con un ángulo de 45° ?

Solución. En la Tarea 1, se derivaron las relaciones entre las dos tensiones y la fuerza aplicada

$$\sigma_N = \frac{F}{bh} \cos^2 \alpha$$

y

$$\sigma_G = \frac{F}{bh} \sin \alpha \cos \alpha.$$

A partir de aquí expresamos la fuerza en función de las tensiones individuales. Dado que este será el valor crítico de la fuerza a la que falla la conexión, lo indicamos con $F_{\text{máx},N}$ para la fuerza cuando se alcanza el valor crítico para la tensión normal y $F_{\text{máx},G}$ para la fuerza cuando se alcanza el valor crítico para la tensión cortante. Se obtiene

$$F_{\text{máx},N} = \frac{bh\sigma_N}{\cos^2 \alpha}$$

y

$$F_{\text{máx},G} = \frac{bh\sigma_G}{\sin \alpha \cos \alpha}.$$

Para las dimensiones de la Tarea 1 y para los $\sigma_N = 10$ MPa y $\sigma_G = 8$ MPa dados, calcular

$$F_{\text{máx},N} = \frac{3 \times 4 \text{ cm}^2 \times 10 \text{ MPa}}{\cos^2 30^\circ} = 16\,000 \text{ N}$$

y

$$F_{\text{máx},G} = \frac{3 \times 4 \text{ cm}^2 \times 8 \text{ MPa}}{\sin 30^\circ \cos 30^\circ} = 22\,170 \text{ N}.$$

No debe superarse ninguno de estos valores. Por lo tanto, la fuerza máxima que puede aplicarse a esta junta es 16 000 N.

Para el ángulo $\alpha = 45^\circ$ obtenemos análogamente los valores

$$F_{\text{máx},N} = \frac{3 \times 4 \text{ cm}^2 \times 10 \text{ MPa}}{\cos^2 45^\circ} = 24\,000 \text{ N}$$

y

$$F_{\text{máx},G} = \frac{3 \times 4 \text{ cm}^2 \times 8 \text{ MPa}}{\sin 45^\circ \cos 45^\circ} = 19\,200 \text{ N}.$$

De nuevo, no se puede sobrepasar ninguno de estos valores. De aquí se deduce que una articulación con un ángulo de 45° puede cargarse con una fuerza de como máximo 19 200 N.

Conclusiones

Tensiones en el plano de la conexión

Estudiamos las fuerzas que intentan romper la unión mediante tensiones normales perpendiculares a la unión y tensiones cortantes. Además, la fuerza acción todavía puede estirar la articulación en su conjunto en el plano de la articulación. Este componente no nos interesaba en el análisis presentado. Sin embargo, puede obtenerse a partir de la fórmula de la tensión normal σ_N girándola 90 grados.

Análisis de defectos

La descomposición de esfuerzos en direcciones preseleccionadas también se utiliza en otras situaciones prácticas de ingeniería distintas de la adhesión. Por ejemplo, si hay una grieta en el interior de un material sometido a tensión, el conocimiento de la acción de la fuerza permitirá evaluar los riesgos de propagación ulterior de este defecto. Es entonces natural transformar la tensión mecánica en la dirección del defecto de forma similar a como transformamos en la dirección de la unión.

Modelización mecánica de materiales compuestos

También es conveniente transformar las tensiones mecánicas en las direcciones investigadas cuando estudia la deformación de los materiales compuestos. Este puede ser el caso de los materiales compuestos artificiales o también de los naturales. Los materiales compuestos artificiales son, por ejemplo, los materiales reforzados con fibra. Los compuestos naturales incluyen el material estructural más utilizado, la madera. Estos materiales compuestos tienen diferentes propiedades en diferentes direcciones debido a su estructura, y cuando se estudia la acción mecánica sobre tales materiales, es más fácil estudiar por separado las tensiones en las direcciones relacionadas con la estructura de este material compuesto. Por ejemplo, las tensiones en la dirección de las fibras rigidizadoras en los compuestos artificiales o las tensiones en la dirección longitudinal (después de los años) en la madera. En general se trata de tensiones en los ejes o planos de simetría del material. En estas direcciones, se conoce la respuesta del material a la tensión. La respuesta a tensiones en otras direcciones puede determinarse descomponiendo las tensiones en direcciones individuales, determinando las deformaciones correspondientes y, de nuevo, componiendo la información para obtener la respuesta global del material. Los ingenieros conocen este como la llamada transformación tensorial y disponen de una gran variedad de técnicas para resolver problemas de un tipo determinado de forma rápida y eficaz.

Bibliografía y referencias

Bibliografía

- <https://www.lepidlatmely.cz/loctite-421-20-g-vterinove-lepidlo/>, online, 2024-04-28
- <https://www.druchema.cz/z1530-herkules-250g>, online, 2024-04-28
- <https://www.deko.ee/en/a/mamut-glue-25ml-25-ml>, online, 2024-04-29

Fuente de las imágenes

- <https://theepoxyexperts.com/general-bonding-design-guideline/>
- <https://homemade-furniture.com/woodworking-joints/finger-joint/>
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glue_Bottle_-_The_Noun_Project.pdf