

## **Principios de diseño de paneles sándwich.**

El diseño estructural de los paneles sándwich todo de acero se pueden dividir en dos partes: el cálculo de la respuesta elástica de la estructura y la consideración de criterios de resistencia.

El diseño de todos los paneles de acero se inicia con la definición de la geometría del panel, cargas, condiciones de contorno y criterios de resistencia. Las dos principales dimensiones y geometría del núcleo se incluyen en la definición de la geometría del panel. Las Dimensiones principales son generalmente longitud, anchura y espesor. La Geometría del núcleo incluye la superficie y el espesor de hoja de núcleo, los ángulos centrales, etc. Hay varias mediciones para describir la geometría del núcleo, dependiendo del tipo de núcleo seleccionado.

La Definición del caso de carga es un problema fundamental en el diseño del panel. La Información clave de carga incluye ubicación, el tipo y la magnitud. Además de las cargas, las condiciones de contorno son factores esenciales en el comportamiento estructural - en el diseño, estos pueden ser cualquiera de los bordes libres de apoyo, libre o soporte rígido. En la práctica, las condiciones de contorno serán o borde libre o algo entre el soporte libre y rígido. Además de las condiciones de contorno, también es esencial definir si la estructura se comportará en una viga o en forma de tipo placa. Los criterios de resistencia indican el uso de la estructura elegida con las condiciones de contorno elegidas y los casos de carga.

Las propiedades de rigidez de un panel se definen sobre la base de la fuente de datos del diseño de inicio. Una vez que se ha establecido, la respuesta del panel puede ser definido por el análisis estructural de tipo elástico. El Análisis estructural elástico determinará tanto la tensión del panel como el estado de deformación. Una vez que el panel de sección transversal es conocido, las tensiones y las fuerzas críticas pueden ser definidas para la estructura. La fuerza y el conjunto de criterios de desplazamiento y de las tensiones y desplazamientos en la estructura se pueden comparar entonces.

### **Panel de sección transversal.**

Como se ha descrito anteriormente, existen varios tipos de paneles sándwich de acero. Los más comunes son los llamados paneles prismáticos, donde se forma el núcleo por elementos paralelos de refuerzo del panel en una dirección longitudinal (Figura 49). Las variables de Corte transversal incluyen la superficie (delantera y trasera), espesor de chapa, espesor de la chapa base, ancho del núcleo y la altura, la distancia entre los elementos del núcleo, ancho del núcleo brida y el ángulo web. Los beneficios de los paneles prismáticos incluyen una producción rápida y alta relación de rigidez a peso,

especialmente en la dirección del núcleo (longitudinal). En la dirección transversal al núcleo, la rigidez de cizallamiento es relativamente baja. Debido a esta falta de homogeneidad, el panel funciona mejor como un haz, con su eje longitudinal coincidente con el eje del haz.

### **Respuesta elástica**

El procedimiento para el cálculo de la respuesta elástica de un panel, depende de si la estructura es más como un haz o una placa en la naturaleza. Además, si el análisis del haz o el análisis de elementos finitos en 2D o 3D, que se utilizan, también tiene un efecto. En la práctica, la elección del método está gobernada por la velocidad requerida y la exactitud del análisis. El Análisis del haz es el método más rápido pero menos preciso y el análisis 3D de elementos finitos es el más lento y el más preciso. Una descripción exhaustiva y detallada del proceso de diseño se puede encontrar en Romanoff y Kujala (2002), pero por lo general consta de los pasos siguientes:

### **Parámetros de rigidez**

A pesar de las limitaciones en las condiciones de soporte (el panel sólo se puede apoyar ya sea de dos bordes opuestos o desde un borde), la respuesta de la rigidez de un panel prismático rígido de punto-cargado y longitudinal, a menudo se puede evaluar con precisión razonable usando la teoría del haz.

### **Momentos flectores, fuerzas cortantes y deflexión**

La deflexión de una estructura sándwich consiste en dos componentes que resultan del momento flector y la fuerza cortante. La deflexión total de la estructura es la suma de estos dos. Los Cálculos de deflexión pueden ser considerablemente simplificados: con rayos rígidos a lo largo de su eje longitudinal, por ejemplo, simplemente definir la rigidez a la flexión es a menudo suficiente, ya que la deformación por cizallamiento será insignificante.

### **Tensiones**

Una vez que las distribuciones de fuerza de corte se conocen, la distribución de la tensión de cizallamiento que afecta a la sección transversal puede ser calculada. El procedimiento de cálculo de las tensiones se describe con más detalle en Romanoff y Kujala (2002).

## **Fuerza y criterios de deflexión**

Los Criterios de resistencia en el diseño del panel normalmente se refieren a máximos de tensiones admisibles, seguridad contra pandeo, deflexión máxima y la seguridad en contra de modos de falla locales. Las Tensiones máximas admisibles del panel se definen generalmente por resistencia al desgaste o la resistencia a la fluencia material. En cuanto al desgaste, el nivel de esfuerzo máximo por lo general proviene del diseño de uniones.

## **Cediendo**

El criterio de Von Mises se puede utilizar para determinar el límite elástico, además de la deflexión global del panel, las concentraciones de tensión también pueden resultar de cargas locales. Dependiendo de la naturaleza del caso de carga, los niveles de esfuerzos locales pueden ser mayores que los niveles de tensión global. Como resultado, una superficie de panel o una hoja de núcleo pueden ceder localmente.

## **Pandeo Global**

El Pandeo Global es un aumento repentino de la deflexión de la totalidad del panel bajo carga de compresión. Cabe señalar que los análisis de pandeo global se basan en la suposición de un material elástico y haz totalmente plana o placa, que no suele ser el caso en la práctica. La Deformación inicial puede ser causada por soldadura durante la fabricación del panel.

## **Pandeo local**

El pandeo de una de las partes individuales del panel (superficie o núcleo) se denomina pandeo local. Los factores locales de pandeo para casos diferentes de carga y condiciones de contorno se pueden calcular utilizando fórmulas relativamente simples, las cuales, junto con algunos valores para estos factores, para geometrías de núcleos diferentes, se dan en Kujala et al. (2003).

## **Deflexiones**

Es típico de las estructuras de espacio-crítico que la deflexión es uno de los criterios de dimensionamiento. En tales casos, la deflexión elástica global de la estructura no debe en ningún caso exceder al valor máximo establecido. Un criterio de deflexión típica en el diseño es  $L/300$ , donde  $L$  es el espaciado web de la estructura.

## **Fallas en el plástico**

El núcleo también puede fallar localmente como resultado de las cargas locales. Existen fórmulas de cálculo para el dimensionado en fallas de plástico en la literatura revisada en Romanoff y Kujala (2002).

### **Optimización estructural**

La tarea fundamental en cualquier proceso de optimización estructural es la formulación de la tarea de optimización en sí, incluyendo la definición de los límites del rango de la dimensión del núcleo para ser optimizado y la definición de criterios de resistencia y deflexión. En la práctica, los datos de inicio incluyen las principales dimensiones de la estructura, la carga aplicada al panel y las condiciones de contorno (Kujala et al. 2003). Desde el punto de vista de la optimización, es esencial reducir al mínimo el número de variables.

La solución de la tarea de optimización depende de la precisión con que se calculen los detalles. Una idea preliminar de dimensiones de núcleo generalmente se puede conseguir mediante el uso de fórmulas de análisis, cálculo a través de todas las alternativas de diseño posibles con los parámetros y encontrar la mejor solución en términos de peso o costo, por ejemplo. Para un análisis más preciso, 3D FEM puede ser utilizado, pero el óptimo encontrado puede no ser el óptimo global.

Una solución optimizada por lo general se encuentra cerca de los límites de los criterios de diseño, por lo que estos límites tienen que ser definidos cuidadosamente. Por ejemplo, la técnica de fabricación define el espesor del núcleo en un panel de I-núcleo - un núcleo optimizado sería demasiado delgado para soldadura láser. Mejorando las técnicas de fabricación también conducen a paneles de peso más ligero (Kujala et al. 2003). La figura 52 muestra un estructura experimental fabricada para adquirir experiencia práctica con paneles sándwich en condiciones de servicio reales.



*Figura 52.- Un elemento de piso panel sándwich experimental de autobús, en el grado 1.4003, ensamblado utilizando soldadura láser (Alenius et al. 2002).*

## Herramientas de diseño

Varios métodos se pueden utilizar para el diseño de paneles sándwich todo metal, dependiendo de la precisión y la velocidad deseadas. Los métodos y herramientas de diseño disponibles en cuanto a precisión y tiempo consumido son:

- Disponibles curvas de diseño calculadas.
- Teoría del Haz junto con expresiones analíticas para la resistencia.
- Teoría de placa 2D junto con expresiones analíticas para la resistencia.
- 3D FEM cálculo de la respuesta estructural, junto con expresiones analíticas para la resistencia.
- Cálculo 3D FEM para la respuesta estructural y la resistencia

El uso de curvas de diseño preparadas es, con mucho, el método más rápido de diseño. El diseñador debe conocer las dimensiones principales y casos de carga del panel. Un panel adecuado puede seleccionarse entre varias alternativas. Un beneficio clave con curvas de diseño es que una estimación aproximada de las dimensiones y la geometría de un panel están disponibles rápida y fácilmente. Por otra parte, las curvas están conectadas a una geometría particular del núcleo y la disponibilidad es limitada (Kujala et al. 2003).

La respuesta y la resistencia de un panel pueden ser resueltas con una precisión razonable y en un tiempo razonable mediante el uso de teoría del Haz junto con expresiones analíticas para la resistencia. Estos hacen posible a las fórmulas de programa en forma cerrada con una computadora y permiten el uso de un programa de optimización que calcula a través de todas las posibles combinaciones de parámetros de núcleo definidos.

La Teoría de las placas 2D para calcular la respuesta junto con expresiones analíticas ofrece un método de diseño de alta precisión y rapidez para todos los paneles de acero. El problema de la placa puede ser resuelto, ya sea con expresiones analíticas o FEM en 2D. Por otro lado, el diseñador puede usar un paquete desarrollado para todos los paneles de paneles sándwich de acero-que calcula automáticamente los parámetros de rigidez necesarios de la sección transversal para los programas de FE (por ejemplo ESA Comp).

El estado de tensión que afecta a una estructura se puede estimar con mucha precisión usando 3D FEM, siempre que el soporte de carga y geometría sean conocidos. Los Inconvenientes de análisis con 3D incluyen el modelado y

tiempos de cálculo muy largos y el hecho de que los resultados dependan de la experiencia del modelador.

Una estructura también puede ser totalmente analizada con 3D FEM. Las desventajas de este método de diseño son la experiencia requerida del diseñador, largos tiempos de cálculo y una fase de modelado complicada que también tiene que incluir las propiedades de los materiales verdaderos y contactos entre las diferentes partes.

### **Situaciones especiales en todo diseño de panel sándwich de acero**

Una vez que la estructura sándwich de acero ha sido diseñada para soportar las cargas a que será sometida, el diseñador tiene que resolver algunos problemas específicos del panel sándwich. Estos incluyen el punto de carga o tipo de impacto, diseño de la unión entre el panel y la estructura ambiente, las aberturas y los alimentadores, el comportamiento de resistencia al fuego y el comportamiento ante el ruido y la vibración.

### **Resistencia local de la lámina de la superficie**

El objetivo de utilizar una estructura sándwich es reducir el peso estructural. Esto a menudo resulta en láminas de superficie muy delgadas y puede ser que se abolle demasiado fácilmente, en el punto o carga de impacto. Simple, procedimientos de cálculo publicados hacen que sea posible aumentar fácilmente el espesor de la chapa, que puede ser por lo menos parcialmente compensado por el aumento en la resistencia de la lámina (Kujala et al. 2003). Un ejemplo de una aplicación en que la resistencia al impacto es importante se puede ver en la Figura 53.



*Figura 53. Paneles sándwich de Acero inoxidable se utilizan como elementos laterales y de piso de una plataforma de remolque de grava de un trailer (Kenno Tech 2008).*

## **Uniones y pasamuros ( Alimentadores )**

Un panel sándwich de acero básico puede ser diseñado, para diversos fines, usando paquetes de diseño de software fácilmente disponibles. Sin embargo, las soluciones para la conexión de los paneles básicos individuales entre sí y / o a las estructuras de ambiente tienen que ser resueltas caso por caso. Las tensiones deben ser transferidas suavemente, sin concentraciones de tensión a través de las uniones (Kujala et al. 2003). Un problema específico es al extender un panel en la dirección longitudinal, ya que esto requiere uniones en ambas hojas de superficie y núcleos. Estas uniones deben ser a la vez de alta resistencia y de fabricación económica. Además, la resistencia al desgaste de una estructura normalmente se rige por el comportamiento de la unión. Los alimentadores que penetran en la estructura de sándwich, requieren un diseño propio. Típicamente, un orificio con bordes reforzados se corta para este propósito. Preferiblemente, los pasamuros deben estar ubicados de manera que no causen daños a los elementos de núcleo.

## **Comportamiento ante el ruido**

Debido a que todos los paneles sándwich de acero son estructuras ligeras, por lo general no tienen la masa para evitar la penetración del ruido, especialmente en los sonidos de baja frecuencia. Por esta razón, el aislamiento del ruido en la mayoría de los casos requiere el uso de hojas separadas, conteniendo aplicaciones de aislamiento. (esteras o equivalentes).

---

*Traducción realizada por IMINOX.*

*Fuente: Insaptrans\_Handbook\_En.*

*Cap. 3.2 Sandwich panels structures Pag 62 a 70.*