

ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR DEL PROCESO DE PEGADO

Gelver Camilo Bejarano Chitiva (1), Armando Gallegos Muñoz (2)

1 [Ingeniería Mecánica, Universidad Santo Tomás] | Dirección de correo electrónico: [gelverbejarano@usantotomas.edu.co]

2 [Ingeniería Mecánica, División de ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [gallegos@ugto.mx]

Resumen

El trabajo presenta el estudio de transferencia de calor del proceso de pegado en plásticos. Este estudio surge de los problemas presentados en la industria automotriz debido a que se emplean procesos de pegado en plásticos. Para poder resolver las fallas presentadas en el adhesivo se recurre hacer un análisis de transferencia de calor; este análisis permitió obtener datos de distribución de temperatura en el proceso de pegado. Además se logró calcular el tiempo que se demora el adhesivo a enfriar a una temperatura ambiente. Por otro lado, se hizo un análisis estructural bajo cargas estáticas (condiciones de servicio), es decir, se logró aplicar una fuerza sobre la unión adhesiva simple y se varió la temperatura en el adhesivo. El objetivo de este tipo de análisis es lograr ver el comportamiento de los esfuerzos cortantes y presiones generadas en la zona de pegado.

Abstract

The work presents the study of transfer of heat from the process of gluing in plastics. This study stems from the problems presented in the automotive industry due to processes that are used for bonding plastics. In order to be able to solve flaws presented in the adhesive used to make an analysis of heat transfer; this analysis allowed to obtain data of temperature distribution in the bonding process. He is also managed to calculate the time that takes the adhesive to cool to ambient temperature. On the other hand, it was a structural analysis under static loads (conditions of server), that is to say, is able to apply a force on the simple adhesive join and varied the temperature in the adhesive. The objective of this type of analysis is to see the behavior of the stress-shear and pressures generated in the bonding area.

Palabras Clave

Adhesivo 1; Distribución 2; Temperatura 3; Esfuerzos 4; Presiones 5

INTRODUCCIÓN

Hoy en día en la industria aeronáutica y automovilística usualmente se requiere de uniones para diferentes materiales que no se pueden soldar o unir por medio de pernos, tornillos o remaches. Entonces surgió la alternativa de la unión por medio de adhesivos, debido a que ha sido crucial para el ensamble de algunas piezas de automóviles; principalmente uniones entre piezas plásticas. Las uniones entre piezas plásticas han sido necesario debido a que algunas piezas mecánicas de acero han sido reemplazadas por piezas de plásticos; permitiendo reducir el peso en el vehículo [1-2].

Por otro lado, la unión por pegado tiene algunas ventajas respecto a otros tipos de uniones; por un lado la unión por pegado contiene mayor carga térmica, también permite reducir el peso estructural, además se puede mejorar las propiedades de fatiga en el adhesivo y mejorar la resistencia a la corrosión, entre otras [1].

Estudios aplicados en los adhesivos

- *Esfuerzos presentes en los adhesivos*

La gran mayoría de estudios realizados por algunos autores se han centrado en el estudio de uniones de una simple fase debido a su simplicidad y eficiencia. Los estudios han demostrado que cuando se aplica un análisis de este tipo de uniones, se presenta un problema muy común que se asocia con la distribución de esfuerzos sobre la superposición del adhesivo. Por otro lado, los esfuerzos a lo largo de los puntos coincidentes del adhesivo no son uniformes, se presenta una concentración de esfuerzos en la zona al final de los puntos coincidente en entre el adhesivo y las dos piezas de unión [2].

Es por eso que se desarrollan alternativas para reducir la concentración de esfuerzos para obtener una junta adhesiva más eficiente.

La gran mayoría de estudios en adhesivos se han llevado a cabo por medio de modelos y experimentos; en donde se estudian uniones simples sometidas a tensión. Los trabajos presentados por Volkersen, Goland y Reissner [3] desarrollados años atrás, tuvieron varios parámetros en cuenta como la plasticidad en el adhesivo, adherentes compuestos y plasticidad en los adherentes. Cuando se presenta fluencia en el adherente, Adams [3] muestra que la falla se predice por medio de la fluencia del adherente y la predicción de la carga de falla se puede encontrar por medio de cálculos iniciales de la fluencia del adherente [3].

- *Transferencia de calor en el proceso de pegado*

Los cambios de temperatura generan fallas en las uniones adhesivas, esto se detecta por la fluencia y deformación del adhesivo. Debido a los cambios de temperatura es importante considerar el efecto térmico para llevar a cabo una reducción de esfuerzos en las uniones, pero en algunos casos sucede lo contrario. Varios autores han encontrado que el esfuerzo causado por el encogimiento del adhesivo tiene un menor efecto en el esfuerzo de unión. Además, el incremento del esfuerzo en forma sólida del adhesivo es generado por el desequilibrio térmico [4].

Según algunos estudios se ha demostrado que con el incremento de temperatura en la unión adhesiva, los esfuerzos cortantes se reducen. Por otro lado, se encontró que bajo cargas estáticas y cargas de ciclo de fatiga sometida a varias temperaturas; las capas de adhesivo son más fuertes y más resistentes a la fatiga [4].

Uno de los objetivos en este trabajo es tomar un adhesivo y someterlo a condiciones reales de servicio. En este caso se trabaja la unión adhesiva de un automóvil en condiciones normales de funcionamiento. Se observará la distribución de temperaturas que suceden el proceso de pegado durante un periodo de tiempo. Por otro lado, se

someterá a varias temperaturas el adhesivo, con la finalidad de observar el comportamiento de los esfuerzos cortantes y las presiones generadas sobre el adhesivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar se hizo un análisis en estado transitorio, en donde se pudo calcular el tiempo de enfriamiento del adhesivo hasta condiciones ambientales. Para el análisis se tomaron en cuenta las siguientes condiciones: propiedades termofísicas constantes, diferencia de temperatura entre la resina y el plástico, temperatura inicial uniforme y coeficiente de convección constante; el problema de conducción transitorio unidimensional de calor se tomó en el dominio de $0 \leq x \leq L$ de la pared plana del adhesivo. [5]

Para el análisis de resultados se empleó el software Siemens NX, mediante el cual se hizo el modelado del sistema físico y se aplicó un análisis por medio de elementos finitos. Por medio de este software se pudo obtener el tiempo que se demora el adhesivo en llegar a temperatura ambiente. La ecuación general para solucionar este problema transitorio es:

$$[B]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} + \{R\}\{U + T_{abs}\}^4 = \{P\} + \{N\}$$

Tomando en cuenta el cambio de fase, la ecuación de difusión se convierte en

$$\{\dot{H}\} + [K]\{U\} + \{R\}\{U + T_{abs}\}^4 = \{P\} + \{N\}$$

Por otro lado, se hizo un análisis estructural, en donde se pudo aplicar la interfaz NX Nastran, este aplica un método de Iteración Newton-Raphson, para resolver problemas tanto térmicos como estructurales. La ecuación de equilibrio general que se empleó, para el análisis por elementos finitos fue:

$$[K]\{U\} = \{F\}$$

$[K]$ = Matriz de Rigidez (Matriz de conducción)

$\{U\}$ = Vector de desplazamiento (Vector de temp. desconocido)

$\{F\}$ = Vector Fuerza (Vector flujo de calor conocido)

- **Materiales**

El adhesivo fue sometido a condiciones reales de servicio. Se tomó una unión de tipo fase simple, el adhesivo que se tomó para estudiar fue Epoxy H9438; este tipo de adhesivo es empleado para el ensamble de estructuras de partes de automóviles tipo lámina. De este adhesivo se conocían las siguientes propiedades.

Tabla 1: Propiedades de Epoxy H9438

Propiedades físicas Epoxy H9438	Valor
1. Viscosidad térmica @ 375° F (190.6°C)	30200 mPa.S
2. Viscosidad térmica @ 400° F (204.4°C)	21100 mPa.S
3. Densidad @ 77 °C	0.9 g/cm ³
4. C. de Expansión térmica	50e-6 1/C
5. Calor específico	938000000 J/kg-K
6. Conductividad térmica	0.25 W/mm-C

Estas propiedades se tomaron en cuenta para el modelo desarrollado en el simulador Nx, con la finalidad de aproximarse al comportamiento real del adhesivo. El material que se empleó para las piezas de unión fueron dos piezas plásticas (Polipropileno). Las pruebas para la unión adhesiva se llevaron a cabo con temperaturas entre 20°C y 190°C.

- **Geometría**

Se emplearon dos tipos de geometría, la primera geometría se empleó para hacer el análisis de transferencia de calor; la cual replica la superficie de contacto entre el adhesivo y las dos piezas de polipropileno. Figura 1.

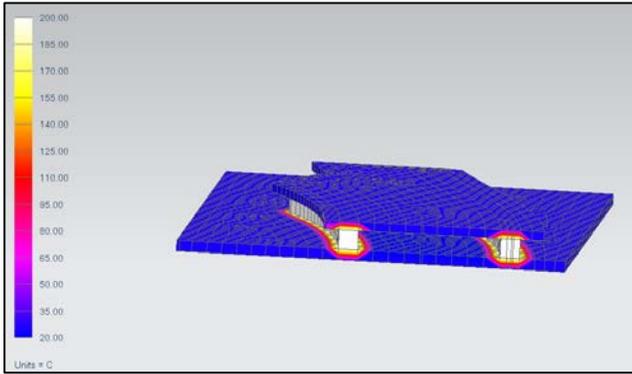


Figura 1. Transferencia de calor en el proceso de pegado

La segunda geometría, unión adhesiva de simple fase se empleó para hacer un análisis estructural. El objetivo es poder aplicar una fuerza (100N) sobre un extremo de las piezas plásticas; además poder colocar una carga térmica sobre el adhesivo. Figura 2.

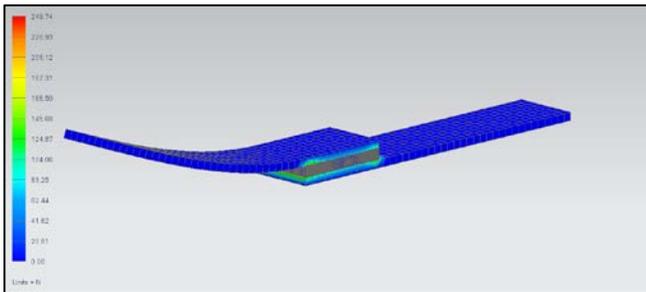


Figura 2. Adhesivo sometido a una carga externa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de resultados obtenidos en el estudio de transferencia de calor en el proceso de pegado, se logró extraer un perfil de temperaturas. El cual permitió analizar el comportamiento que se da en un proceso de pegado; en condiciones reales de funcionamiento.

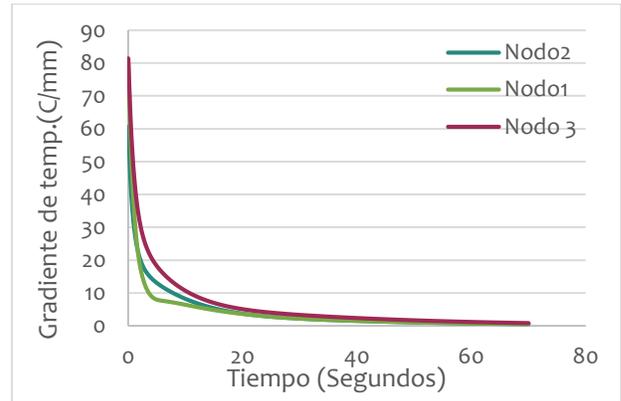


Figura 3. Perfil de temperaturas.

Observando las Figura 3 y 4, se puede ver que los resultados de la simulación son viables. Analizando tres nodos en el perfil del adhesivo, se puede notar que el nodo 1 está expuesto a una condición inicial de convección. Entonces su temperatura disminuirá más rápido respecto a los otros nodos. Comparando el nodo 2 y nodo 3, se puede apreciar que la pendiente del gradiente temperatura aumenta a medida que se encuentra el nodo más cerca a la parte interna del adhesivo. Figura 3.

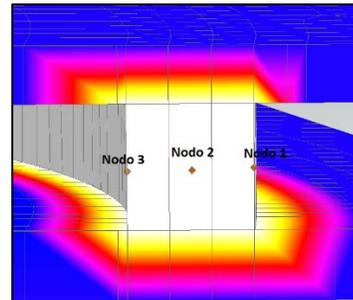


Figura 4. Ubicación de nodos, en la zona del adhesivo.

Por otro lado, se hizo un análisis de resultados estructural, en función del rango de temperaturas entre 20°C y 190°C.

En primer lugar se analizaron los esfuerzos cortantes presentes en la zona de contacto entre el adhesivo y la unión plástica. En la Figura 5, se puede observar que el incremento de temperatura en la unión adhesiva; demuestra que los esfuerzos por cortante se reducen. Del mismo modo que

sucede en algunos estudios, en donde muestran que el incremento de temperatura en el adhesivo permite aumentar el punto de fluencia en éste [3]

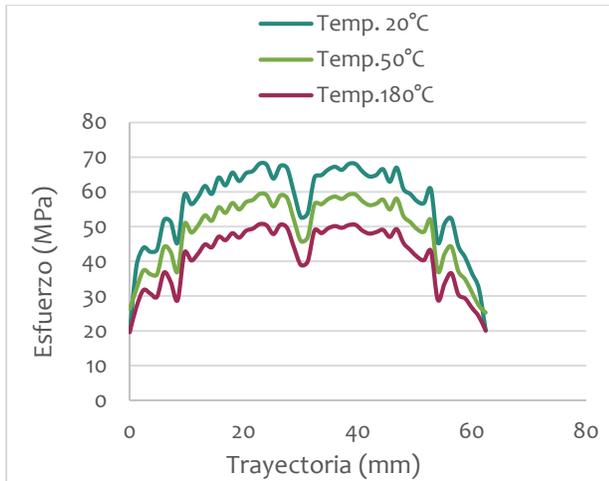


Figura 5. Esfuerzos cortantes a lo largo de la trayectoria donde se presentan los esfuerzos cortantes máximos.

Es importante destacar que la zona de las esquinas en donde el adhesivo está en contacto junto a las dos piezas de unión; es una zona de concentración de esfuerzos. Por lo tanto, para la optimización del pegado del adhesivo se puede obtener a través del cambio de geometría en el adhesivo, principalmente en las esquinas del adhesivo; esto reduciría la concentración de esfuerzos. Por otro lado, retomando la Figura 5, se puede observar que la distribución de esfuerzos en la zona de pegado no es totalmente uniforme.

Finalmente se hizo un análisis de la presión ejercida sobre el adhesivo, Figura 6. Esto permitió observar que a medida que se aumenta la temperatura en la zona de pegado, incrementa la presión en el adhesivo.

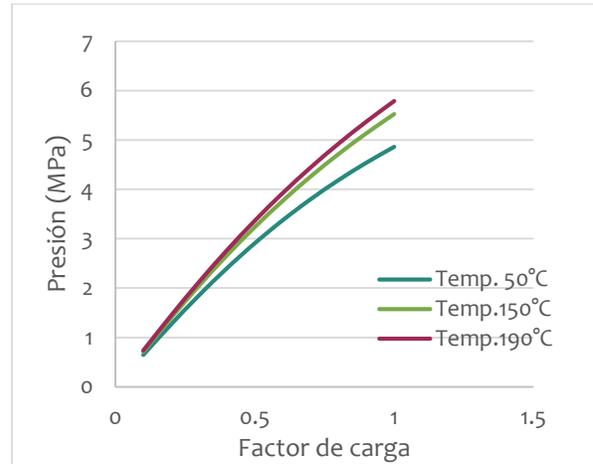


Figura 6. Presión sobre la zona de pegado.

Retomando la Figura 2, debido a que la unión de fase simple está bajo carga estática de 100N, en uno de los extremos de la pieza plástica. El incremento de la presión se debe a que el adhesivo aumenta su resistencia mecánica; entonces se debe ejercer una mayor presión sobre el adhesivo para poder realizar el despegue de la unión adhesiva.

CONCLUSIONES

Comparando los resultados obtenidos por medio de la simulación numérica presentada con los resultados presentados en la literatura, se puede decir que son válidos, principalmente, con aquellos obtenidos experimentalmente dentro del campo de uniones por adhesivos.

Por otro lado, para llegar a reducir las fallas presentes en el proceso de pegado en plásticos. Una alternativa podría ser determina el tiempo que se tarda en poner en contacto las piezas de plástico, tomando en cuenta la forma y el tamaño de las piezas, así como analizar la concentración de esfuerzos.

Finalmente, para estudios futuros es importante recalcar que el adhesivo estuvo bajo cargas térmicas, pero sería importante tener algunos factores ambientales para evaluar en los modelos presentes; debido a que puede hacer variar los resultados. Por ejemplo: el porcentaje de humedad a que está expuesto el adhesivo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco al Doctor Armando Gallegos, por haberme brindado la oportunidad para poder participar en esta investigación. En segundo lugar agradezco a la Universidad de Guanajuato y la Universidad Santo Tomás, ya que hicieron posible que esta investigación se haya podido llevar a cabo.

REFERENCIAS

- [1] R. Q. Rodríguez, R. Picelli, and P. Sollero, "Journal of Adhesion Science and Structural shape optimization of bonded joints using the ESO method and a honeycomb-like mesh," no. March 2015, pp. 37–41.
- [2] R. J. C. Carbas, L. F. M. Da Silva, and G. W. Critchlow, "Adhesively bonded functionally graded joints by induction heating," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 48, pp. 110–118, 2014.
- [3] L. D. R. Grant, R. D. Adams, and L. F. M. da Silva, "Experimental and numerical analysis of single-lap joints for the automotive industry," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 29, no. 4, pp. 405–413, 2009.
- [4] L. D. R. Grant, R. D. Adams, and L. F. M. da Silva, "Effect of the temperature on the strength of adhesively bonded single lap and T joints for the automotive industry," *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 29, no. 5, pp. 535–542, 2009.
- [5] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, Cuarta Edi. Ciudad de México: McGraw-Hill, 2011.