# CONCLUSIONES

El proceso de difusión esta inherente a los procesos metalúrgicos como lo son soldadura, fundición de metales, sinterización, tratamientos térmicos, etc.. La difusión atómica o transporte de materia es observable a temperaturas por encima del 0 absoluto. Los parámetros que intervienen en la difusión son temperatura, gradiente de concentración estructura cristalina, imperfecciones cristalinas.

El contexto de este trabajo se ha particularizado a los tratamientos térmicos de las aleaciones ferrosas haciendo énfasis a los tratamientos termoquimicos de endurecimiento superficial como carburizado, nitrurado, cianurado o carbonitrurado, en términos generales reciben el nombre de cementado.

Las leyes de difusión establecidas por Fick auxilian a la explicación de los procesos antes mencionados. La primera ley describe la difusión de un elemento bajo condiciones de estado estable.

Un caso sencillo es la rapidez de perdida de nitrógeno bajo presión constante a través de las paredes de un en base de acero. Esto es análogo a la perdida de calor de un cuerpo, la razón de perdida de calor o flujo térmico a través de este es:

$$\text{Flujo térmico (J)} = K \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

El flujo térmico se define como la energía por metro cuadrado de área por segundo. El impulso para el flujo de calor es el gradiente térmico $\frac{\Delta T}{\Delta X}$ y K (conductividad térmica) es una constante que depende del material. Igualmente, el flujo de nitrógeno a través de una pared de recipiente de acero de espesor X es:

$$\text{Flujo de nitrógeno} = -D \frac{\Delta C}{\Delta X}$$

Donde $\frac{\Delta C}{\Delta X}$ es el gradiente de concentración en lugar del gradiente de temperatura $\frac{\Delta T}{\Delta X}$, y D la difusividad que depende del material ( utilizamos signo negativo porque la difusión ocurre en sentido opuesto al gradiente de concentración).

En síntesis el flujo de calor es el resultado de un gradiente térmico y el movimiento de los átomos se debe a un gradiente químico.

En la mayoría de los procesos metalúrgicos la concentración de la especie que se difunde cambia en el tiempo, ya sea en la fabricación de una aleación en un horno de fundición o en el deposito de in cordón de soldadura sobre una placa de acero. El calculo respectivo requiere un razonamiento basado en la segunda ley de fick que describe la difusión dinamica.

Consideraciones generales sobre las *difusiones sólidos*:

La difusión puede ser definida por el *mecanismo por el cual la materia es transportada a través de la materia.*

Los átomos de gases, líquidos y sólidos están en constante movimiento y se desplazan en le espacio tras un periodo de tiempo.

*En los gases, en movimiento de los átomos es relativamente veloz,* tal y como podemos apreciar por el rápido avance de los olores desprendidos al cocinar o el de las partículas de humo.

*Los movimientos de los átomos de liquidos son, en general, más lentos que los de los gases,* como se pone en evidencia en el movimiento de los tintes que se disuelven en un líquido.

*En los sólidos, estos movimientos atómicos quedan restringidos,* debido a los enlaces que mantienen los átomos en las posiciones de equilibrio. Sin embargo, las vibraciones térmicas que tienen lugar en sólidos permiten que algunos átomos se muevan.

La difusión de estos en metales y aleaciones es particularmente importante si consideramos el hecho de que la mayor parte de las reacciones en estado sólido llevan consigo movimientos atómicos.

Existen dos *mecanismos principales de difusión* de los átomos en una estructura cristalina:

*(1) El mecanismo de vacantes o sustitucional, y*
*(2) el mecanismo intersticial.*

*1.- Mecanismo de difusión por vacantes.*

Los átomos pueden moverse en las redes cristalinas desde una posición a otra si hay presente suficiente energía de activación, proporcionada esta por la vibración térmica de los átomos, y si hay vacantes u otros defectos cristalinos en la estructura para que ellos los ocupen.

Las vacantes en metales y aleaciones son defectos en equilibrio y por ello algunos están siempre presentes para facilitar que tengan la difusión sustitucional de los átomos.

Según va aumentando la temperatura del metal se producirá más vacantes y habrá más energía térmica disponible, por tanto, el grado de difusión es mayor a temperaturas más altas.

*2.- Mecanismos de difusión intersicial.*

La difusión intersicial de los átomos en redes cristalinas tienen lugar cuando los átomos se trasladan de un intersticio a otro contiguo al primero sin desplazar permanentemente a ninguno de los átomos de la matriz de la red cristalina.

Para que el mecanismo intersticial sea efectivo, el tamaño de los átomos que se difunden debe ser relativamente pequeño comparado con los átomos de la matriz. Los átomos péquenos como los de hidrogeno, oxigeno, nitrógeno y carbono, pueden difundirse intersticialmente en algunas redes cristalinas metálicas

Por ejemplo el carbono puede difundirse intersticialmente en hierro alfa BCC y hierro gamma FCC. En la difusión intersticial del carbono en hierro, los átomos de carbono deben pasar los átomos de la matriz de hierro.

El estado estacionario, en el cual las condiciones prevalecen invariables con el tiempo, no se encuentran con facilidad en materiales de ingeniería. En la mayoría de los casos, la difusión del estado no estacionario, en el cual la concentración de los átomos disoluto en cualquier punto del material cambia con el tiempo, es la que tiene lugar. Por ejemplo, si se difunde carbono en la superficie en un árbol de levas de acero para endurecer su superficie, la concentración de carbono bajo la superficie de cualquier punto cambiará con el tiempo a medida que el proceso de difusión progresa.

Para casos de difusión no estacionario, en la cual la difusividad es independiente del tiempo, se aplica la *segunda ley de Fick* sobre difusión que es:

Esta ley establece que:

*La velocidad de cambio de la composición de la muestra es igual a la difusividad por la velocidad de cambio del gradiente de concentración.*

Muchos procesos industriales de fabricación utiliza la difusión en estado sólido. Dos procesos muy frecuentes son el endurecimiento superficial del acero y del dopado por impurezas de discos de silicio para circuitos electrónicos integrados.

Muchos componentes de acero para rotación o deslizamiento tal como engranes y ejes deben tener una cubierta exterior dura para resistir el desgaste y un núcleo interno resistente.

En la fabricación de componentes de acero normalmente el componente se fabrica primero en condiciones suaves y luego, después de maquinado, se endurece su cubierta por algún procedimiento de endurecimiento especifico tal como la cementación, nitruración o carbonitruración.

# Bibliografía


| Texto | Autor | Editorial |
|---|---|---|
| - Introducción a la metalurgia 2 ed. 1974 | E. R. Abril | Marymar |
| - Fundiciones 1981 | J. Apraiz B. | Dossat |
| - Tratamientos térmicos de los aceros 8 ed. 1984 | J. Apraiz B. | Dossat |
| - Ciencia e ingeniería de los materiales 1987 | D. R. Askeland | Iberoamericana |
| - Metal handbook volumen 2 8 ed. 1964 | ASM | ASM |
| - Metal handbook volumen 7 8 ed. 1972 | ASM | ASM |
| - Metal handbook volumen 8 8 ed. 1973 | ASM | ASM |
| - Introducción a la metalurgia física 2 ed 1990 | Avner | Mc-Graw-Hill |
| - Introducción a la ciencia de los materiales 1981 | W. Brostow | Limusa |
| - Materiales de ingeniería y sus aplicaciones 1989 | Flinn, Trojan | Mc-Graw-Will |
| - Fundamentos de la ciencia de los materiales 1981 | A. G. Guy | Mc-Graw-Hill |
| - Metalurgia física para ingenieros 1970 | A. G. Guy | Fondo Educ. Int |
| - Ingeniería metalúrgica tomo I 1974 | R. H. Higgins | C.E.C.S.A. |
| - Ciencia de los materiales para ingeniería 1982 | K. Keyser | Limusa |
| - Fundamentos de la practica metalografica 1965 | G. L Khel | Urmo |
| - Tecnología de los metales 1967 | Malishev y otros | Mir |
| - Técnica y practica del tratamiento térmico de los metales 1970 | J. Pascual | Blume |
| - Principios de metalurgia física 2 ed. 1990 | R. Reed. Hill | C.E.C.S.A. |
| - Materials Sciencie and metalurgy 1977 | R. Pollack | Reston |
| - Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales 1993 | W. F. Smith | Mc-Graw-Hill |
| - Materiales para ingeniería 1981 | Van Vlack | C.E.C.S.A |