

## ENLACE METÁLICO

A continuación se expone qué se entiende por enlace metálico y por material metálico; además, se presentan algunas propiedades generales de los materiales metálicos, en relación con el enlace presente. También se exponen algunas especificidades de los metales de transición.

### Metales puros

Consideremos el caso de elementos metálicos puros, antes que de aleaciones resultantes de la combinación de elementos metálicos.

En el caso de metales puros formando un sólido, cada átomo, debido a su electropositividad, pierde sus electrones de valencia. De esta manera se forman cationes y electrones libres. Los cationes de la mayoría de los elementos metálicos que NO son de transición, luego de perder sus electrones de valencia, quedan con una simetría bastante esférica.

Los metales de transición tienen un comportamiento algo diferente (menos esférico y algo direccional), relacionado con la hibridación de sus dos orbitales más externos ((n)s y (n-1)d). Como resultado de esto último, ellos presentan un enlace metálico con una fracción de enlace covalente; esto último les confiere propiedades diferentes a las de los metales que no son de transición.

### Material y enlace metálico

En los materiales metálicos, los cationes forman una red 3D, la cual es bañada por el gas de electrones libres. La unión no es directa catión a catión, sino que se hace a través del gas de electrones. Ese tipo de unión se llama enlace metálico. En la superficie del cristal existe una barrera de potencial, llamada función de trabajo, que impide que los electrones del gas escapen, a menos que se aplique la suficiente energía para lograrlo.

En el caso de simetría catiónica esférica, el enlace es no direccional: no hay direcciones preferenciales de enlace. (A diferencia del enlace metálico, el enlace covalente es marcadamente dirigido; por

ejemplo, en el caso del diamante, hay 4 direcciones posibles y bastante estrictas de enlace.

Por definición, en los materiales metálicos el enlace que predomina es el enlace metálico, según lo ya expuesto.

Una característica general del enlace metálico es que, al igual que el enlace iónico, es un enlace no dirigido que forma cristales 3D, no forma moléculas. (El enlace covalente forma preferentemente moléculas y, ocasionalmente, cristales)

### Elemento metálico

Un elemento metálico es un elemento de la Tabla Periódica que es electropositivo. Como tal, éste puede formar, dependiendo de los otros elementos con que se combina, un cristal metálico (Na) o un cristal iónico (NaCl).

### Relación Enlace-Propiedades

A continuación nos referimos, para los materiales metálicos, a la relación entre el enlace y algunas propiedades: ductilidad, y conductividad eléctrica y térmica. También es de interés la temperatura de fusión, que es una propiedad relacionada con la intensidad del enlace. Debe tenerse presente que las propiedades de los materiales o solo dependen de los enlaces.

La deformación plástica en los cristales metálicos se relaciona con el deslizamiento de los planos más densos del cristal (estrictamente, por un mecanismo de dislocaciones). Para que se produzca este deslizamiento entre planos sin que haya fractura, **es fundamental** que el enlace sea no direccional. Durante la deformación plástica se requiere que se mantenga la unión entre átomos involucrados en la zona donde los átomos están deslizando unos sobre otros, sin que haya ruptura del enlace. Que la unión atómica se mantenga en la zona que está deslizando, es posible debido a la no direccionalidad del enlace metálico. Así se explica la relativamente alta ductilidad (alta capacidad de deformación plástica) de los materiales metálicos..

Sabemos que los metales son buenos conductores de la electricidad y del calor.

Esto se explica por la presencia del gas de electrones libres en los materiales metálicos; nótese que tal gas no existe ni en los cristales iónicos ni en los covalentes. Ese gas es el responsable de la conductividad eléctrica; los electrones libres (o de valencia) son eficientes portadores de carga por su poca masa y tamaño.

Hay dos mecanismos importantes de transporte de calor: a) transporte por la red atómica, que existe en todo material y b) transporte por el gas de electrones libres, que existe solo en los materiales metálicos. Generalmente, con excepciones, el transporte por la red es poco eficiente, en tanto que el transporte de calor por el gas de electrones de los metales es siempre relativamente muy eficiente. Ello explica que los materiales metálicos, que sí tienen un gas de electrones, sean mucho mejores conductores del calor que las cerámicas y los polímeros, donde dicho gas no existe.

Nótese que el gas de electrones libres de los materiales metálicos es responsable tanto de la buena conductividad térmica como eléctrica de estos materiales,

### Aleaciones

Veamos ahora el caso de combinaciones de elementos metálicos, aleaciones metálicas. Consideremos que tenemos un cristal puro de un metal A, al cual le vamos agregando gradualmente otro elemento metálico B, ver Mapa Conceptual 1. (Podemos suponer que agregamos este segundo elemento vía fusión y que luego solidificamos lentamente, por ejemplo).

Inicialmente, siempre una cantidad moderada del elemento B se podrá disolver en el cristal A, formando una **solución sólida**, también de carácter metálico. (Tal solución puede ser de sustitución o de inserción, dependiendo de varios factores).

Para el análisis del enlace y propiedades detallado del compuesto que se va formando al incrementar el contenido del metal B, hay que considerar varios factores; no obstante, por ahora centraremos nuestro análisis en el factor

diferencia de electronegatividad entre los elementos metálicos participantes.

Dependiendo de la pareja A-B (y de la temperatura y presión) la solución inicial podría saturarse, al llegar al **límite de solubilidad al estado sólido** correspondiente. A partir de esta condición, al seguir agregando elemento B, aparecerá un segundo cristal coexistiendo con la solución sólida inicial. En ciertos casos particulares, ese límite podría no existir, y se tendría solubilidad total (p.e., caso Cu-Ni).

Así, de saturarse la solución inicial, aparecerá un segundo cristal. Este segundo cristal podría ser una segunda solución sólida metálica, o bien un compuesto intermetálico.

Más adelante veremos el tema de la soluciones sólidas con más detalle, por ahora analizaremos las características del intermetálico que aparece, en función de la diferencia de electronegatividad entre los elementos A y B.

Un compuesto intermetálico presenta una con fórmula estequiométrica precisa, p.e.,  $\text{NaZn}_{13}$ ; esto a diferencia de las soluciones que tienen un rango de solubilidad.

El tipo de enlace predominante en un compuesto intermetálico es fuertemente dependiente de la diferencia de electronegatividad entre los elementos A-B. Si tal diferencia es moderada, predominará el carácter metálico, de lo contrario, predominará el carácter iónico. Así, dependiendo de dicha diferencia habrá distintos grados en la combinación enlace metálico-iónico (enlace mixto).

Ejemplo. Averigüe los valores de electronegatividad de los siguientes elementos metálicos: Al, Na, Zn, Cu y V. A partir de esos datos justifique las siguientes observaciones correctas: el  $\text{Al}_3\text{V}$  es un intermetálico de carácter metálico, en tanto que el  $\text{NaZn}_{13}$  y el  $\text{Cu}_9\text{Al}_4$  son intermetálicos bastante frágiles.

## Mapa Conceptual 1. Intermetálicos y Electronegatividad

### Metales de transición

En el enlace de los metales de transición participan los dos niveles electrónicos más externos,  $(n)s$  y  $(n-1)d$ . Cuando el elemento es excitado, hay una recombinación de estos orbitales (hibridación), quedando algunos orbitales hibridizados sólo parcialmente llenos. Debido a lo anterior, los cationes no tienen una simetría completamente esférica y el enlace, si bien es predominantemente metálico, tiene un fuerte carácter covalente. Téngase presente que el enlace covalente no da lugar a simetría esférica, y es dirigido y muy fuerte.

Los metales de transición forman cristales que son ejemplos importantes de materiales con enlace mixto metálico-covalente. Esto hace que los metales de transición tengan propiedades diferentes de los metales que no lo son. Así, su componente de enlace covalente contribuye a que los metales de transición presenten temperaturas de fusión (una medida indirecta y aproximada de la intensidad del enlace) mayores que la de los metales no de transición. A este respecto, conviene analizar la Tabla 2.8 del texto de Smith.

Los metales de transición también tienen un gas de electrones, y una simetría electrónica algo cercana a la esférica. Por ello, su conductividad eléctrica y térmica, y su ductilidad, también es muy superior a la de los materiales no metálicos.

