

## Anexo 1

### A1. Las aleaciones binarias NiTi

Las aleaciones de NiTi tienen buenas propiedades eléctricas y mecánicas, así como una larga vida a fatiga y buena resistencia a la corrosión y al desgaste. Y a ello se le debe sumar una buena biocompatibilidad y unos interesantes efectos debidos a los cambios de fase (memoria de forma y superelasticidad o pseudoelasticidad). Por ello, sus aplicaciones se extienden desde los actuadores para automoción hasta los alambres de ortodoncia, pasando por campos como los recubrimientos para evitar el desgaste y por una extensa gama de productos biomédicos ampliamente usada en la actualidad.

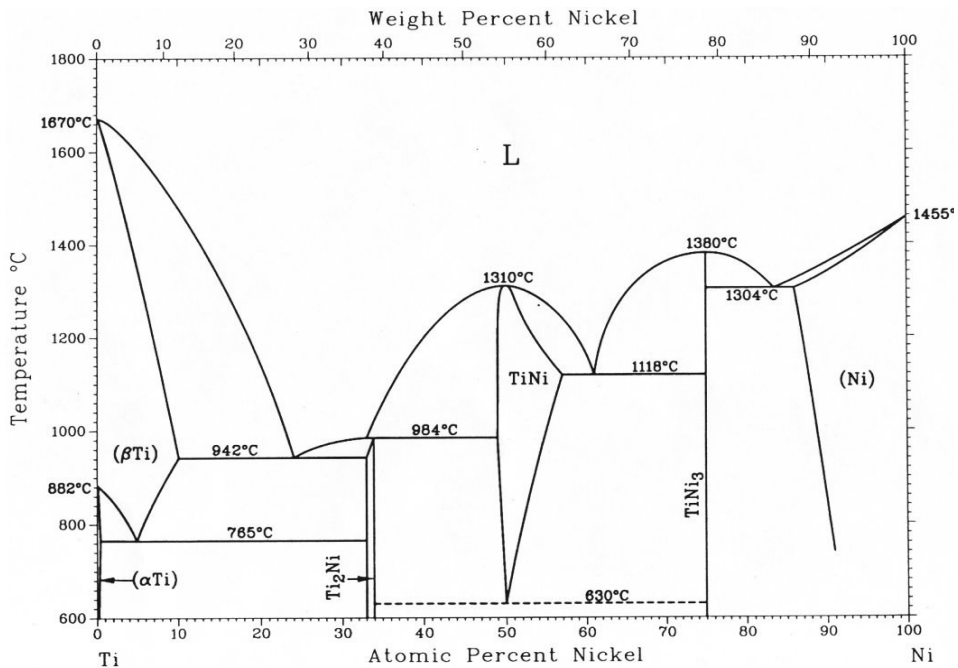


Fig. A1-1. Diagrama de fases del NiTi. Extraído de [1].

Como puede observarse en el diagrama de fases de la Fig. A1-1, las aleaciones de NiTi son complejas, y el estudio de su metalurgia ha llevado varias décadas hasta alcanzar el estado actual. Se trata de una de las aleaciones más estudiadas debido a sus interesantes propiedades aplicables en campos tan importantes como el



de la medicina. Como ya es sabido, estas aleaciones presentan dos comportamientos objeto de estudio: la superelasticidad y/o pseudoplasticidad, y los efectos de memoria de forma simple y doble.

En este anexo se intenta hacer una breve descripción sobre la naturaleza de estas aleaciones, para poner al lector en contexto del tipo de material que se está estudiando.

### **A1.1. Clasificación de las aleaciones binarias de NiTi**

En este estudio se analizan única y exclusivamente aleaciones binarias, de modo que aquellas que incorporan terceros elementos quedan totalmente fuera del alcance del proyecto.

Las aleaciones de NiTi se basan en la composición equiatómica (50%Ni-50%Ti). Como puede verse en el diagrama de fases de la Fig. A.1-1, la fase NiTi resulta estable incluso a temperatura ambiente, pero en un rango composicional muy estricto. Este rango de equilibrio se estrecha a medida que se reduce la temperatura y ello provoca, en algunos casos, la sobresaturación de uno de los elementos hasta el punto de precipitar, formando compuestos como el  $Ni_3Ti$ . Por ello, las aleaciones binarias de NiTi se pueden clasificar en: aleaciones equiatómicas, aleaciones ricas en Ni y aleaciones ricas en Ti [2].

#### ***A1.1.1. Aleaciones equiatómicas***

Se mueven dentro de un pequeño rango: entre el 50% y el 50'5% de Ni, según la literatura. Porcentajes menores de Ni dan lugar a las aleaciones ricas en Ti, y porcentajes mayores producen las aleaciones ricas en Ni.

No tienen tendencia a precipitar puesto que son estables a temperatura ambiente, por lo que no son sensibles a tratamientos térmicos y no pueden ser envejecidas.

#### ***A1.1.2. Aleaciones ricas en Ni***

Según la literatura, una aleación se considera rica en níquel si contiene más de un 50'5% de éste. El Ni tiene menor solubilidad en el Ti a temperatura ambiente, por lo que su exceso genera la aparición de compuestos intermetálicos en forma de precipitados, como el  $Ni_3Ti$ .

Resultan, pues, unas aleaciones que pueden ser envejecidas y de fabricación compleja debido a su sensibilidad a los tratamientos térmicos. Además, los precipitados suelen ser duros y frágiles, dificultando el trabajo en frío de estas aleaciones (fragilización y agrietamiento).



Por otra parte, la gran sensibilidad composicional acaba afectando a los rangos de temperaturas de transformación. Esto se debe a que las temperaturas de transformación dependen, en cierto grado, de la composición de la matriz. Como en este caso los precipitados que se forman son ricos en Ni, el resultado global es un empobrecimiento de níquel en la matriz, de modo que las temperaturas de transición varían respecto a las de la misma aleación pero sin envejecimiento que produzca la presencia de precipitados.

### **A1.1.3. Aleaciones ricas en Ti**

Si el contenido en níquel es menor al 50% y el balance se compensa exclusivamente con titanio, las aleaciones que resultan son aleaciones ricas en Ti.

Éstas también pueden precipitar aunque en un grado mucho menor puesto que la línea del diagrama se presenta, prácticamente, como una línea vertical. Sin embargo, en este caso, los compuestos que se generan son ricos en Ti, de modo que la matriz queda con una composición prácticamente igual a la inicial, y esto se traduce en un efecto menor de las variaciones de temperaturas de transición.

### **Referencias**

- [1] K. OTSUKA, X. REN. "Martensitic transformations in nonferrous shape memory alloys". *Materials Science and Engineering A273-275*, (1999), 89-105
- [2] K.N. MELTON. "Ni-Ti Based Shape Memory Alloys". En: *Metallurgy of Shape Memory Materials* de T. W. Duering (ed.), (1983), 21-35

### **Bibliografía complementaria**

- K. OTSUKA, X. REN. "Martensitic transformations in nonferrous shape memory alloys". *Materials Science and Engineering A273-275*, (1999), 89-105
- K.N. MELTON. "Ni-Ti Based Shape Memory Alloys". En: *Metallurgy of Shape Memory Materials* de T. W. Duering (ed.), (1983), 21-35
- K. OTSUKA, M. WAYMAN. "Introduction". En: *Shape Memory Materials* de K. OTSUKA, M. WAYMAN (ed.), (1998), 1-26
- T. SABURI. "Ni-Ti Shape Memory alloys". En: *Shape Memory Materials* de K. OTSUKA, M. WAYMAN (ed.), (1998), 49-9

