# Algunas notas sobre las transformaciones masivas

**Dr. JORGE KITTL**
**Gerente Comité de Componentes Nucleares, Comisión de Energía Atómica de Argentina.**

1.— Alrededor de 1939 estudiando aleaciones de Al Cu, Greninger (1) observó que al templar muestras que correspondían por composición y temperatura a una fase Beta, cúbica de cuerpo centrado, se obtenía además de esta fase granos de forma poliédrica, irregulares, de otra fase que crecían durante el templado a partir de los bordes de grano Beta. Esta fase la identificó como Alfa y le dio el nombre de Alfa Masiva, por su morfología.

Esta observación, así como otra similar en el sistema Cu - Zn, quedaron más o menos desapercibidas por unos veinte años hasta que en 1958, Massalski (2), aprovechando una serie de aleaciones de las que disponía para trabajos de estabilidad de fases a través de medidas de parámetros de red, comprobó que la formación de fases durante el templado en aleaciones no ferrosas era un fenómeno que aparecía frecuentemente y que presentaba características especiales.

2.— Massalski estudió aleaciones binarias y ternarias de cobre con Galio y Zinc. En aleaciones de cobre con galio observó que por temple desde beta aparecía la fase intermedia zeta, que es una fase intermedia de equilibrio, aún en aleaciones cuya composición no correspondía a dicha fase intermedia zeta, sino a una extensión metaestable del campo de equilibrio de zeta, que denominó como zeta masiva.

Utilizando a los precipitados de gamma en beta durante el recocido a alta temperatura para identificar la posición de los bordes de grano beta, comprobó que la fase zeta masiva formada durante el templado crecía a través de dichos bordes de grano. Parecía como si zeta masiva no reparara durante su crecimiento en que pasaba de uno a otro grano beta.

Otra observación importante fue que con un templado muy enérgico en salmuera, se podía en discos de un milímetro de espesor y cinco milímetros de diámetro, evitar una transformación total en zeta masiva, quedando el resto de beta sin transformar, convertido en martensita.

En resumen, templado con distintas velocidades desde fase beta se podía lograr bien una transformación total en fase zeta masiva o una parcial en fase zeta masiva, con una fracción de martensita.

En base a sus observaciones Massalski sugirió que se trataba de una transformación controlada por saltos de átomos térmicamente activados, cuya alta velocidad de transformación solo puede ser posible si no requería de cambios de composición, además que la interfase de transformación era incoherente.

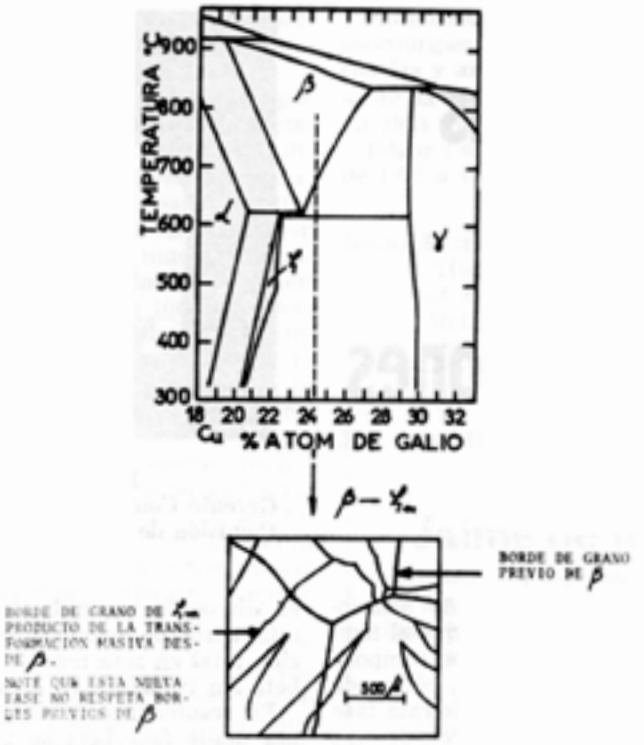
En 1963 Kittl y Massalski (3) utilizando las aleaciones Cu - Ga y una platina caliente, registraron en película cinematográfica una serie de secuencias de enfriamiento y calentamiento, comprobando que el frente de transformación era del tipo indicado por Massalski y similar a la de transformaciones de la fase de baja temperatura zeta masiva a la de alta temperatura beta.

Se registró, mediante la misma técnica, secuencias de transformaciones en los sistemas Plata-Aluminio, Plata-Zinc, y Plata-Cadmio.

Se comprobó que si bien en general este tipo de transformación no produce relieve superficial en algunos casos, notablemente en el sistema Plata-Aluminio se producía una rugosidad atribuible al cambio de volumen que resulta del cambio de fase.

4.— A partir de 1965 Massalski, Delcay y colaboradores (4) estudiaron la subestructura de las fases resultantes de las transformaciones masivas mediante microscopía electrónica.

En los sistemas no-ferrosos, las fases son cúbicas de caras centradas (alfa masiva) o hexa-




gonal compacta (zeta masiva) y en ambos casos se observó la presencia de cantidades variables de fallas de apilamiento que en ciertos casos especiales llegan a ser verdaderas mezclas de alfa masiva y zeta masiva. En general, las sub-estructuras poseen pocas dislocaciones y se asemejan a subestructuras de materiales recocidos.

Estos resultados están de acuerdo con la hipótesis original de que la interfase de transformación era incoherente y por lo tanto de un carácter similar al de una interfase de recristalización. Además comprobaron que entre ambas fases no hay relación de orientación fija.

5.— Una serie de trabajos de Kittl y colaboradores (*) permitió, en el período de 1965 a 1970, comprobar que la interfase de transformación era efectivamente térmicamente activada y se midió la dependencia de su movilidad con la temperatura para los sistemas Plata-Zinc y Plata-Cadmio. Se trataba de transformaciones cuyas características resultaban de las bajas temperaturas a que tienen lugar por lo que, si bien válidos, estos resultados correspondían a casos particulares.

6.— En 1970 - 1972 Rodríguez (*) estudió una transformación que resultó extremadamente apropiada para aclarar algunos de los problemas como dependencia de la movilidad de la interfase con la temperatura. Se trataba de la transformación zeta (Z), hexagonal compacta a ($Z_o$) en el sistema Plata-Galio.

Esta transformación tiene todas las características morfológicas de las transformaciones masivas clásicas y ambas fases están separadas por un punto congruente, o sea que se puede aproximar al equilibrio desde bajas o altas temperaturas con toda lentitud y sin el peligro de precipitación de otras fases.

Esto y el hecho de que ambas fases fueran fácilmente identificables, permitió a Rodríguez seguir la transformación en platina caliente y medir la dependencia de la velocidad de la interfase con el sobre enfriamiento o calentamiento con toda precisión.

El resultado sorpresivo fue que el logaritmo de la velocidad dependía del sobreenfriamiento elevado al cuadrado y no directamente del sobreenfriamiento como hacía suponer un modelo simple de saltos térmicamente activados.

Las razones de este comportamiento no están aún satisfactoriamente aclaradas.

7 Un resumen de las características más sobresalientes de las transformaciones masivas nos permitirá analizar cuál podría ser el uso, si existe, de desarrollar aleaciones que posean este tipo de transformaciones.

Estas características son:

a) La composición de la fase producto es similar a la de la fase inicial.
b) No hay relación de orientación fija entre ambas fases.
c) La interfase de transformación es, por lo general, incoherente.

Además debe indicarse que el cambio de volumen resultante de la transformación debe ser pequeño, dado que en caso contrario debe relajarse la deformación que esto introduce, lo que

produce un retardo del avance de la interfase y la transformación puede no tener lugar.

Una revisión de la tabla 1, muestra que por encima del valor 0,75 de la razón Temperatura eutectoide/Temperatura de fusión, esta transformación es posible y ocurre en una serie de sistemas no-ferrosos. En el hierro con bajo carbono sólo se produce a temperaturas cercanas a la de transformación alfa a gamma en el hierro puro.

**TABLA 1**

| Sistema (Rango fases) | | $T_E$ (Temperatura Eutectoide) (°K) / $T_F$ (Temperatura fusión) (°K) |
|---|---|---|
| Cu | In | 0,85 |
| Ag | Al | 0,83 (*) |
| Ag | Ga | 0,78 (*) |
| Cu | Sn | 0,76 |
| Cu | Ga | 0,75 (*) (**) |
| Cu | Be | 0,75 |
| Cu | Sb | 0,74 |
| Ag | Cd | 0,72 (*) (**) |
| Cu | Si | 0,68 (**) |
| Cu | Al | 0,62 (**) |
| Ag | Zn | 0,59 (**) (+) |
| Fe | | 0,57 (**) |
| Ag | Cd | 0,52 ($\beta' \rightarrow \beta$) (+) |
| | | ← |
| Cu | Zn | 0,49 (**) |

(*) Sistemas en los que hay transformación masiva por debajo de la eutectoide.
(**) Sistemas con transformación masiva de fase proeutectoides.
(+) Sistemas con transformación tipo masiva pero con otras características.

8.— Es evidente que si se desarrolla una aleación que transforma masivamente, ésta no se endurecerá apreciablemente por efecto de esta transformación y más bien quedará como recocida, por lo que no es de esperar una mejoría en las propiedades mecánicas. Puede servir para mantener en solución una limitada cantidad de soluto, dado que el rango de existencia de esta transformación es limitado, por lo que desarrollar una aleación endurecible por precipitación, si bien posible, es poco probable.

Una dificultad adicional es que la competencia de otras transformaciones limita seriamente el rango de tamaño de las muestras que pueden transformarse masivamente.

A velocidades mayores aparece la Martensita, lo que no es grave, pero a velocidades menores aparecen las reacciones eutectoides y esto sí es grave, dado que éstas tienen lugar a velocidades de temple relativamente altas con respecto a las transformaciones masivas.

Todo esto no excluye de que, en algunas aleaciones comerciales como latones y bronces, algo de transformación masiva tenga lugar, pero esto es claro; no contribuye en nada a modificar sus propiedades.

La transformación Martensítica corresponde

SUCESION
E. Kemeny S.
MASISA
M A D E R A S
Agente MASISA — CHOLGUAN
JACOBO BLUM SPINER
SAN DIEGO 1740 — TELEFONO 59734
CASILLA 13638 — SANTIAGO - CHILE

ALEJANDRA JARA A.
L I N E A C O M P L E T A
M A D E C O
Bronce — Cobre — Aluminio — Flejes
Planchas — Barras — Alambres —
Cañerias — Fittings — Perfiles cuadrados y estriados.
ARTURO PRAT 1242 — FONO 52056
SANTIAGO

MADERAS VALDES
S. A. C.
Masisa Cholguán — Durolac — Masisa Enchapada — Terciados — Puertas Terciadas — Formalita — Placa Carpintero Enchapadura Adhesivo
M A D E R A S
D I M E N S I O N A D A S
SANTIAGO: Franklin 502 Fono 566051
Sta. Rosa 1998 Fono 50265

a una transformación con composición constante que se produce con un verdadero colapso de la red que retiene el soluto en solución, pero introduce gran cantidad de defectos en la red, en consecuencia tiene capacidad intrínseca de endurecer el material.

La transformación masiva también es a composición constante, pero se produce por el paso de una interfase similar a la d e recristalización y no introduce defectos, con lo que carece de capacidad de endurecimiento. Además, su capacidad de retener soluto en solución es limitada, con lo que esperar un posterior endurecimiento por precipitación es más ploblemático que en la Martensita donde no sólo se retiene más soluto sino que tal vez más importante, el soluto tiene numerosos lugares (en los defectos) donde precipitar y por lo tanto hay una tendencia a precipitados finamente distribuidos.

9.— Existe sin embargo una posibilidad de uso, en caso de tener aplicación el empleo de monocristales de fases masivas. Dado que la interfase es incoherente y no "ve" los bordes de grano de la fase de alta temperatura se puede pasar en estado sólido de un policristal a un monocristal. Esto ocurre y se han obtenido así monocristales de Cu-Ga, Ag Al, Circonio, Titanio y Uranio que se emplean en el estudio de las propiedades de dichos metales y aleaciones.

El inconveniente de este método "vis a vis" con el de crecer monocristales desde la fase líquida, es la menor velocidad de crecimiento y la introducción de un mayor número de defectos dado que el paso de una interfase sólido-sólido no permite el grado de relajación que permite la interfase sólido-líquido.

La ventaja se presentaría en algunos sistemas en que no es posible crecer los cristales de ciertas fases desde el estado líquido con el que nunca están en equilibrio.

**Glosario de términos**

Intrfase coherente: Los planos atómicos continuan a ambos lados de la misma. Tiene pocos defectos y es casi tan cerrada como la red cristalina.

Interfase incoherente: En la que los planos atómicos no continúan de una fase a otra. Tiene gran cantidad de defectos. Es abierto o posee un exceso de vacancias e intersticiales con respecto a los de equilibrio en la red.

**REFERENCIAS**

1.— A.B. Greninger, Trans. AIME, vol 133, pág. 204, (1939).
2.— T.B. Massalski, Acta Met., vol 6, pág. 243, (1958).
3.— J.E. Kittl y T.B. Massalski, Acta Met. vol 15, (1967).
4.— T.B. Massalski en "Phase Transformations" Edición ASM, Metals Park. Ohio, pág. 464 (1970).
5.— J.E. Kittl y A. Cabo en "The Mechanism of Phase transformations in Crystalline Solids", Institute of Metals, London, pág. 260 (1969).
6.— C. Rodríguez y J.E. Kittl, I Jornadas Metalúrgicas del S.A.M., Buenos Aires (1972).

**Galvanizadora y Maestranza**

**King y Walker S. A.**

FABRICA: CORONEL SOUPER 4060

FONOS : 792642 / 793217

OFICINA: AHUMADA 312 — OF. 305

FONOS: 66143 / 85517

PLANTA FUTURA: PAJARITOS 6340

FONOS: 792580 / 791426

**CHILIMPEX**

REPRESENTACIONES
IMPORTACIONES

* Materiales de Camping
* Materiales de Skis
* Anzuelos "V.M.C."
* Cucharas "BRENTON"
* Carretes "BRENTON"
* Cañas fibras de vidrio "CRISTALIS"
* Gafas Solar Skis Trabajo "C.E.B.E."
* Deportes
* Trabajo

Prestigio y Calidad

SERRANO 358 — TEL: 32499 CAS. 14086

CABLES CHILIMPEX TELEX SGO 260

SANTIAGO