Ni-Al 合金における“双子状 γ' 析出物”

宮崎 亨* 今村 裕** 森 博太郎*

Doublets of γ' Precipitate in Ni-Al Alloys

Toru Miyazaki*, Hiroshi Imamura** and Hirotarō Mori*

われわれは Ni-Al 合金中の γ' (Ni_3Al) 粒子の安定形状および相対的配置に関する研究⁽¹⁾⁽²⁾をおこなって来たが、ごく最近、以下に示すような従来全く知られていなかったと思われる粒子の形態変化を観察したので報告する。

Photo.1 は Ni-Al 合金単結晶を高温で均質化した後、そのまま γ' 析出線の直下まで徐冷し短時間時効した場合の 100 規則格子反射による透過電子顕微鏡暗視野像である。立方体状の γ' 粒子がまばらに析出している。粒子数が少ないのは時効温度が析出線に近いので、時効温度を下げれば γ' 粒子が規則正しく並んだ筏状組織になる。さて Photo.1 の状態の γ' 粒子をさらに時効すると、これらの粒子は粗大化すると共に {100} 面にそって 2 個に分裂する。

Photo.2 はまさに分裂しつつあると考えられる γ' 粒子を示している。まず (a) に示すように立方体の中心附近に棒状の孔があき、ついでその孔が左右に拡大し (b)、コの字形の γ' 粒子 (c) を経過して 2 個に分割されるようである。

Photo.3 はこのようにして形成された下駄の歯状の 2 枚板の近接した板状 γ' 粒子のいくつかを示している。写真から明らかなように 1 枚の板状粒子として存在する γ' 粒子も若干は見受けられるが、多くは対になっている。

現象が見られるのは、Photos.1, 3 に示すように γ' 粒子の数が少なく各粒子の相対的配置が比較的ランダムな場合で、粒子数の多い通常の筏状組織の場合には生じない。

Photo.1 A transmission electron dark-field image, taken using 100 super lattice reflection spot for γ' precipitates in a Ni-15 at% Al single crystal which were directly cooled in furnace from a homogenizing temperature 1473 K to a temperature just below the precipitation line 1223 K and then held for about 60 s. Foil normal; [100].

Photo.2 Various shapes of γ' precipitates in a Ni-12 at% Al single crystal cooled directly from the homogenizing temperature to a temperature just below the precipitation line 1133 K and then aged for 72000 s (20 h), showing a progress of separation of γ' cuboids. Foil normal; [100]

* 名古屋工業大学金属工学科 (Department of Metallurgical Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya)

** 名古屋工業大学大学院 (Graduate School, Nagoya Institute of Technology, Nagoya)

Photo.3 A dark-field image for γ' precipitates in a Ni-12 at% Al single crystal cooled directly from the homogenizing temperature to 1133 K and then aged for 144000 s (40 h), showing doublets of γ' plates whose crevices are parallel to $\{100\}$ cube planes.

これと同様な現象をわれわれは Ni-Cu-Si 合金中の γ' (Ni_3Si) についても観察している⁽³⁾。

粒子の粗大化の過程において、界面エネルギーの大きな増加があるにもかかわらず、1ヶの粒子が2ヶに分裂すると言う現象はわれわれの知るかぎりでは実験的に報告されていないし、理論的な取り扱いもされていない。しかしながらここに示した実験事実から、われわれは2ヶに分裂することによる界面エネルギーの増分をそれら粒子間の弾性相互作用エネルギー[†]が打消し、全体として2ヶに割れた方がエネルギー的に有利な状況が存在しうると考えざるをえない。粒子径が小さい場合には粒子1ヶ当りの弾性歪エネルギーが小さくしたがって弾性相互作用エネルギーも小さく界面エネルギーの増分を打消すことができないので粒子は分裂しないで1ヶで存在するが(Photo.1)、粒径の増大にともなって弾性相互作用エネルギーの寄与が大きくなり、ついには2ヶに分裂した方が有利になる。われわれはすでに数値計算によってこの妥当性を確認しているが詳細は後ほど報告する予定である。

[†] 弾性異方性パラメーター、 $A > 1$ の合金においては粒子間弾性相互作用エネルギーは $\langle 100 \rangle$ 方向で負の値を持ち、近接位置でその最小値を持つ⁽⁴⁾。

従来、析出物の形状は粒子の持つ弾性歪エネルギーと界面エネルギーによって決定され、それらの相対的配置のみが粒子間弾性相互作用によって決定されと考えられて来た。しかしながら上述の実験結果は配列のみでなく粒子の形状そのものに弾性相互作用エネルギーが直接影響していることを明らかに示している。このことは粒子の粗大化過程における従来のエネルギー的取扱いを再考する必要があることを示しており、さらには核形成の段階にさえ弾性相互作用エネルギーを考慮しなければならない場合があり得ることを示唆している。

文 献

- (1) T. Miyazaki, K. Nakamura and H. Mori : J. Mater. Sci., **14**(1979), 1827.
- (2) T. Miyazaki, K. Imamura, H. Mori and T. Kozakai : J. Mater. Sci., (in press)
今村 裕, 宮崎 亨, 森 博太郎 : 日本金属学会講演概要, (1980・4月), 125.
- (3) 宮崎 亨, 森 博太郎 : 日本金属学会講演概要, (1979・10月), 245.
- (4) たとえば, H. Yamauchi and D. de Fontaine : Acta Met., **27**(1979), 763.

(1980年10月17日受理)