

(504) δ' 析出型ニッケル基耐熱合金の合金設計法

(合金設計によるニッケル基耐熱合金---1)

金属材料技術研究所 山崎道夫 ○原田広史

緒言 ジェットエンジンや発電用ガスタービンの高温化, 高能率化の要望に応えるためには, より高温性能のよい動翼材を開発する必要がある。本研究は, δ' 析出強化型Ni基鋳造合金について, 電算機を用いた合金設計を行ない, 実用価値の高い動翼材を開発することを目的としたものである。

合金設計法 本合金設計の基本方針は, まず互いに平衡する δ - δ' pairのうちで2つの相がともに最大限固溶強化されていて格子定数の mismatch も小さいものを抽出し, その中から δ の積層欠陥エネルギーを考慮して選んだ δ - δ' pairについて, 最適 δ' 量となるような合金組成と計算するというものである。ただし, δ, δ' とも格子定数が大きいものほど固溶強化されていると判断した。合金系として, 今回はまずNi-Co-Cr-W-Al-Ti-Ta系を検討した。抽出条件は表.1に示す。以下設計法を順に述べる。

1) KriegerとRestallの電解抽出分析結果を重回帰分析して, 多元状態図中での, δ と平衡する δ' 面の方程式を求める。2) δ' 面上で各元素量を0~固溶限の間で変化させ(組合わせの数 6×10^5), 電子空孔数(N_{v} 値), 複合的な固溶指数($\sum(\text{濃度}/\text{固溶限})_i, i = \text{Cr, W, Ti, Ta}$)が一定値以下で格子定数が一定値以上のものを抽出する。格子定数の計算にはLoomisの係数を用いた。3) 抽出した組成の δ' と平衡する δ の組成を各元素の分配比(δ 中濃度と δ' 中濃度の比)を用いて計算する。分配比はKriegerとRestallの分析結果を重回帰分析して δ' の組成の一次式で表わし, 有意性のない元素は平均値を用いた。4) δ 組成にBarrowsの方法を適用し有電相を析出する δ - δ' pairを捨てる。 δ の格子定数にも下限を設ける。5) δ と δ' の格子定数の mismatch が一定値以上の δ - δ' pairを捨てる。抽出された pairを積層欠陥エネルギー別(0.5 eVごみ)に分類し δ と δ' の平均格子定数の大きい順に書き出す。積層欠陥エネルギーはTexture法によるデータを重回帰分析し δ 組成の一次式で表わした。以上の演算を電算機で行なった。

抽出した δ - δ' pairのうち, δ 中Cr濃度が約5%で, 平均格子定数が上位の pairを図1に示す。クリープ変形抵抗を大きくするには, δ の積層欠陥エネルギーが小さく, 平均格子定数の大きい pairを選べばよい。 δ の固溶指数1.1以下という条件ではTM-40~43が選ばれる。格子定数の影響をみるためにTM-34~39を選んだ。固溶指数の上限を大きく仮定すると, より固溶強化された pairが抽出されるが他相が現れる危険性が高まる。今回は固溶指数1.3以下という条件でTM-44を選んだ。それぞれの pairについて, この法則により最適 δ' 量(65mol%)¹⁾となる($\delta+\delta'$)組成を計算する。

C, B, Zrは鋳造合金として平均的な量とする。C, Bはすべて炭化物(MC, M₂₃C₆, M₆C), ボウ化物(M₅B₃)²⁾になるとしてMとともに($\delta+\delta'$)組成にたし合わせる。3つの炭化物の量比はDeckerの回帰式, MCのMはRestallの回帰式にて各($\delta+\delta'$)組成について計算した。M₆C=(Ni_xCo_yCr_z)₃W₃CとしNi, Co, Crの比は($\delta+\delta'$)組成に応じて変化させ, M₂₃C₆=Cr₂₁W₂C₆とした。

結言 表.1の抽出条件のもとで 6×10^5 通りの δ - δ' pairを検討し, 計11合金と選り出した。

1) 山崎ら: 鉄と鋼 62(76) No.4 S.199 2) 小泉ら: 鉄と鋼 63(77) 1037

表.1 抽出条件

相	固溶指数	PHACOMP	格子定数	mismatch
δ'	$\leq 1.1, 1.3$	$N_{v} < 2.5$	> 3.5777	< 0.01
δ		$N_{v} - N_{v} > -0.10$	> 3.5777	

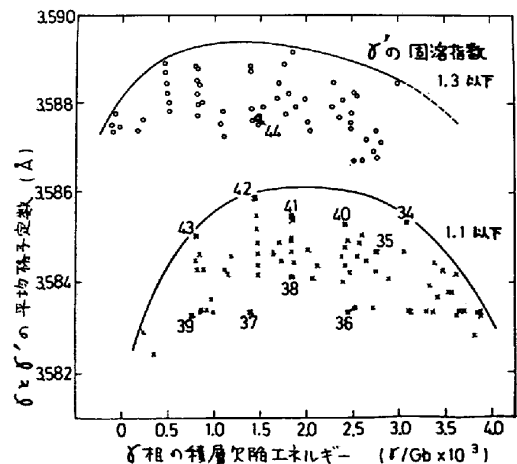


図.1 抽出された δ - δ' pairの δ 相の積層欠陥エネルギーと平均格子定数