

(381) ニッケル基超合金の線熱膨張係数と合金組成との相関について

金属材料技術研究所 〇 楠 克之 山崎道夫

1. 緒言 起動、停止を繰返す発電用ガスタービン翼には、熱疲労特性の良い材料が要求される。そこで、熱疲労特性の要因の一つである合金の線熱膨張係数と組成との間に相関があるか否かを既存合金についてのデータをもとに分析、検討した。

2. 方法 発表されている超合金 80 種 (大部分は γ 析出強化型 Ni 基で、他に Fe 基 4, Co 基 4 を含む) の平均線熱膨張係数を 20°C から T°C (T=100~1000) までの平均線熱膨張係数に換算し、それを合金の全体組成を変数として 1 次重回帰分析を行った。回帰変数は Al, Co, Cr, Ti, Ta, W, Zr, Fe, V, Mo, Nb, C, B の合金組成 (at%) とし、他の不純物および微量添加元素の効果は無視した。

3. 結果 重回帰分析の結果の 1 例として、図 1 に 20~600°C における平均線熱膨張係数の実測値 (Y) と回帰推定値 (\hat{Y}) をプロットした。また、平均線熱膨張係数の 20~T°C (T=200, 400, 600, 800, 1000) の各温度範囲における回帰推定値の回帰定数および回帰係数の値と、膨張係数と組成との相関係数の値を表 1 に示した。ここに、回帰推定値 \hat{Y} は合金の i 成分の回帰係数を a_i 、その組成を X_i (at%) とし、回帰定数を a_0 とするとき、 $\hat{Y} = a_0 + \sum a_i X_i$ で表わされる。

900°C 以下の温度における合金の平均線熱膨張係数と組成との重相関係数は表 1 に見るように、0.8 以上であった。また、単体において Ni より線熱膨張係数の小さい元素は合金の線熱膨張係数を下げる (回帰係数が小さい) 傾向が見られる。このことは、今回用いたデータの大部分が γ 相を析出する合金のものであり、 γ 量が各々異なるにもかかわらず、相の個性よりも合金構成元素の個性が強く出ていることを示している。しかし、各温度範囲における回帰定数は 20~1000°C の場合とのぞいて、純 Ni の平均線熱膨張係数よりも $10^{-6}/\text{C}$ 程度低い値となっている。また、図 1 に見られるように、平均線熱膨張係数の実測値と回帰推定値との間にはバラツキが見られる。これは、今回の重回帰分析が、合金の全体組成のみを変数としたことが 1 つの原因と考えられる。より精密な分析を行うためには、 γ , γ' 相の量比および個々の相の組成を回帰変数に組み入れる必要があると考えられる。

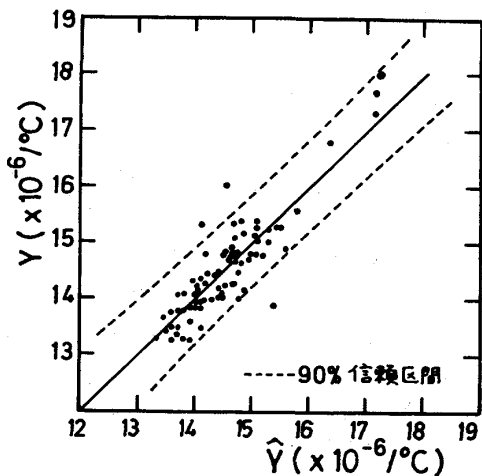


図 1. 20~600°C における平均線熱膨張係数の実測値 (Y) と回帰推定値 (\hat{Y}) の関係

表 1. 重回帰分析による平均線熱膨張係数の回帰定数および回帰係数の値と重相関係数

温度範囲	20~200°C	20~400°C	20~600°C	20~800°C	20~1000°C	
回帰定数 (a_0) ($\times 10^{-6}/\text{C}$)	12.919	14.158	14.840	15.476	16.574	
回帰係数 (a_i) ($\times 10^{-6}/\text{C}$)	Al	-0.025	-0.019	-0.012	0.000	0.020
	Co	0.021	0.015	0.014	0.018	0.028
	Cr	0.006	0.001	0.015	0.035	0.052
	Ti	-0.160	-0.198	-0.214	-0.160	0.010
	Ta	-0.309	-0.226	-0.257	-0.333	-0.384
	W	-0.199	-0.231	-0.250	-0.294	-0.398
	Zr	2.678	0.949	0.521	1.067	2.263
	Fe	0.063	0.054	0.052	0.054	0.059
	V	0.167	0.298	0.370	0.233	-0.266
	Mo	-0.095	-0.130	-0.141	-0.157	-0.208
	Nb	-0.054	-0.144	-0.162	-0.116	-0.016
	C	-0.167	-0.128	-0.128	-0.224	-0.423
B	2.852	1.221	0.466	-0.166	1.436	
相関係数	0.847	0.881	0.877	0.842	0.716	