

(322) 耐熱鋼の熱間変形抵抗に及ぼす合金元素の影響と予測

日本鋼管(株)技術研究所 ○田村 学 亀村佳樹 市之瀬弘之

I 目的

実験室における熱間押出の変形抵抗が簡便な換り試験から精度よく推定できることはすでに報告した⁽¹⁾。今回は、さらに高合金の熱間変形抵抗に及ぼす成分元素の影響を明らかにし、任意の成分系と任意の温度と歪速度に対して熱間変形抵抗を予測する。

II 実験方法

供試材は 2.25Cr 1 Mo 鋼からインコネル 617 までの 17 種の実用鋼と 25 種の Cr-Mo-W-Co-Ni-Fe 系試験溶解材である。800~1300°C, 平均歪速度 $\dot{\epsilon} = 0.44 \sim 5.56 \text{ sec}^{-1}$ で換り試験を行い、前報の方法⁽¹⁾で最大剪断応力を求めた。供試材を Ni 基合金と考え、成分元素、温度、歪速度を変数として、得られたデータの重回帰分析を行った。

III 実験結果

(1) 成分元素だけの回帰式は、相関係数 99.2%, 標準偏差 0.51 kg/mm^2 である。主要な強化元素は W, Mo, C であり Cr, Co は W のおおよそ 1/3 の効果があり, Fe は負の効果がある。

(2) Sellars が提案した熱間変形抵抗を整理する実験式を高応力側で近似させ、さらに、任意の温度 T (°K), 歪速度 $\dot{\epsilon}$ (sec^{-1}) および成分組成 c_i (wt%) に対する重回帰式を次のように定めた。

$$\sigma = A(c_i) \ln \dot{\epsilon} + B(c_i) \frac{503.4}{T} - C(c_i) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 A, B, C は $A(c_i) = A_0 + \sum A_i c_i$ の型式であり、各元素に対する回帰係数を表 1 に示す。変形抵抗 σ の単位は kg/mm^2 である。(1)式による計算結果と実測値の相関を図 1 に示す。図は計算式の精度が極めて良いことを示しているが、1250°C 以上の低応力側のデータが若干計算値よりも高くなるのは、Sellars の式を高応力側で近似させていることによるものであり、また、R 4286 合金のデータ (Δ) が 2 点はずれているのは、この合金が 1100°C 以下で γ 相を析出するためである。

(3) 112 の文献データと(1)式の計算値との相関も極めて良い。

表 1 (1)式の回帰係数値

| 係数 元素 | A_i (kg/mm^2) | B_i ($\frac{\text{kg kcal}}{\text{mm mol}}$) | C_i (kg/mm^2) |
|----------|-------------------------------|---|-------------------------------|
| C | (1.88) | (56.10) | 14.29 |
| Si | (0.80) | - | (0.59) |
| Mn | (-0.54) | (3.75) | 2.90 |
| Cr | 0.00 | 1.65 | 0.36 |
| Co | -0.05 | 0.91 | (0.19) |
| Fe | -0.02 | -1.46 | -0.48 |
| Mo | 0.09 | 7.66 | 1.98 |
| W | 0.07 | 9.62 | 2.78 |
| Al | (-0.58) | - | 0.94 |
| Ti | 0.21 | (29.6) | 10.4 |
| Nb | (0.24) | 18.9 | (4.9) |
| 定数 | 3.27 | 245.4 | 76.1 |

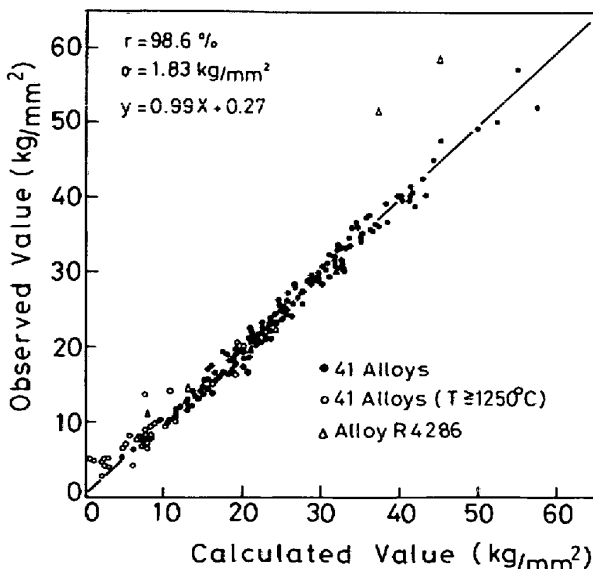


図 1. 熱間変形抵抗の計算値と実測値の相関

(1) 田村, 亀村; 鉄と鋼, 62(1976) No. 11, S 612