

## 211 低温鏡敏化現象の温度依存性に対するアレニウス型整理に対する検討 各種溶接熱影響部における低温鏡敏化特性(第3報)

大阪大学 工学部 溶接工学科 向井喜彦  
 “ “ “ “ 村田雅人  
 大阪大学 工学部 大学院 坂井毅志

### 1. はじめに

前回の報告により304鋼の溶接継手部における炭化物の生成、成長、クロム欠乏層の定量的取り扱いが可能であることを示した。そこで、ここでは各種オーステナイト系ステンレス鋼溶接継手部の低温鏡敏化現象の温度依存性についてアレニウス型整理を検討するとともに数値解析的にその推定も行った。

Table 1 Chemical compositions of materials used

| Materials | Chemical compositions (wt%) |      |      |      |       |       |       |      |
|-----------|-----------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
|           | C                           | Si   | Mn   | P    | S     | Cr    | Ni    | Mo   |
| Type304   | 0.06                        | 0.58 | 0.86 | 0.02 | 0.011 | 18.31 | 9.18  | —    |
| Type304L  | 0.03                        | 0.55 | 0.81 | 0.03 | 0.007 | 18.71 | 9.56  | —    |
| Type316   | 0.06                        | 0.54 | 1.52 | 0.03 | 0.001 | 16.57 | 11.26 | 2.08 |
| Type316L  | 0.01                        | 0.61 | 1.12 | 0.03 | 0.001 | 17.22 | 12.33 | 2.07 |

### 2. 供試材料ならびに解析方法

本実験に使用した材料の化学組成を Table 1 に示す。溶接方法はすべて入熱  $19600 \text{ J/cm}$  の TIGメルトラン(1 pass)とした。また粒界腐食性の有無はシュトラウス試験後試験片表面を400倍の光学顕微鏡で観察し確認した。炭化物の成長ならびにクロム欠乏に関する解析方法としては、前報の如く、Hillertらの方法を用いた。また、溶接時には、 $1000 \text{ \AA}$ の炭化物が生成しているものとし、前報では、クロム欠乏層幅が、 $100 \text{ \AA}$ に到達した時に粒界腐食感受性を有し始めるとした。これは回復過程を考慮する場合には、有効ではあるが本来、感受性の限界は粒界に炭化物が連続性を持ち始めるという大きさを  $2000 \text{ \AA}$ にすることによって粒界腐食感受性限界の推定を行った。一方、母材の解析は結晶粒界へのクロムの活量勾配によるクロムの拡散を考え、粒界での微小体積中のクロム量と炭化物のそれとが同じになったときに炭化物の生成とした。微小体積としては、1辺  $2000/2 \text{ \AA}$ の正方体を考え、生成後の解析は上記の如くHillertの式に従った。またこの解析は、物理定数の関係で、304鋼についてのみ行った。なお、クロム拡散定数は、 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$  ( $D_0 = 0.08 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $Q = 58.5 \text{ kcal/mol}$ )を用いた。

### 3. 実験結果

#### 3-1 各種溶接継手部における低温鏡敏化特性のアレニウス型整理についての検討

304母材ならびに304, 304L, 316, 316L鋼溶接継手部における低温鏡敏化特性をアレニウス型に整理を試みたものを Fig. 1 に示す。また Fig. 2 にそれらをまとめたものを示す。このように粒界腐食性に対する限界線は、ゆるやかな曲線を描き、必ずしも厳密な意味でアレニウス型の整理はできないがここでは特に低温域に着目し高温域と低温域とでその異なった傾きを持つ直線に近似した。以下、低温域でのアレニウス型整理について検討する。まず、304鋼の母材と溶接部を比較すると、それぞれの見かけの活性化自由エネルギーは、 $84.6 \text{ kcal/mol}$ ,  $49.1 \text{ kcal/mol}$  となり低温域では溶接部のほうが明らかに粒界腐食感受性が高いことがわかる。次に各材料間における低温鏡敏化特性を比較すると316に見られるようにMoの添加により粒界腐食感受性は、若干低下する。また炭素量に着目すると鏡敏化温度が高い程、炭素量の効果は小さいが、低温鏡敏化域では炭素量の低下により著しく粒界腐食感受

性は低下して  
いる。304,  
316 鋼溶接継  
手部の低温鏡  
敏化における  
見かけの活性  
化自由エネル  
ギーは、それ  
ぞれ 49.1 kcal/mol  
45.0 kcal/mol、ま

た。304L, 316L のそれは 60.9 kcal/mol,  
50.6 kcal/mol となり活性化自由エネル  
ギーは特に炭素量に対する依存性が  
強い。以上よりオーステナイト系ステ  
ンレス鋼溶接継手部の低温鏡敏化特  
性を改善するには炭素量を低下させ  
ることが有効であることがわかる。  
3-2 低温鏡敏化特性の温度依存性  
に対する解析的検討

Fig. 3 に 304 鋼の溶接部と母材の  
粒界腐食感受性限界と解析結果を示  
す。解析結果を見ると試験温度範囲  
では、ほぼ直線的な傾向を示してい  
る。しかし実験結果と比較してみ  
ると低温域では比較的良好に対応し  
ているが、高温域では実験結果が長時  
間側にずれている。これは単に粒界  
腐食感受性が冶金的な因子だけでな  
く、皮膜破壊因子の影響も受けてい  
るためと思われるがその原因はなお  
不明である。

4. 結論

- 1) このように粒界腐食性の温度依存  
性は全温度域で厳密には直線的でなく従来  
の如く単純に直線近似すると低温域で  
ずれを生じ有効な設計基準を得られな  
い。そこで低温鏡敏化現象を検討するた  
めには、低温域のみを直線的に近似す  
る必要がある。これにより精度の高い  
推定がおこなえる。
- 2) 低温鏡敏化現象の改善には、炭素  
量を下げることが最も有効である。
- 3) 解析結果より低温鏡敏化現象の主  
原因は初期に粒界に炭化物が存在して  
いることに帰着できる。

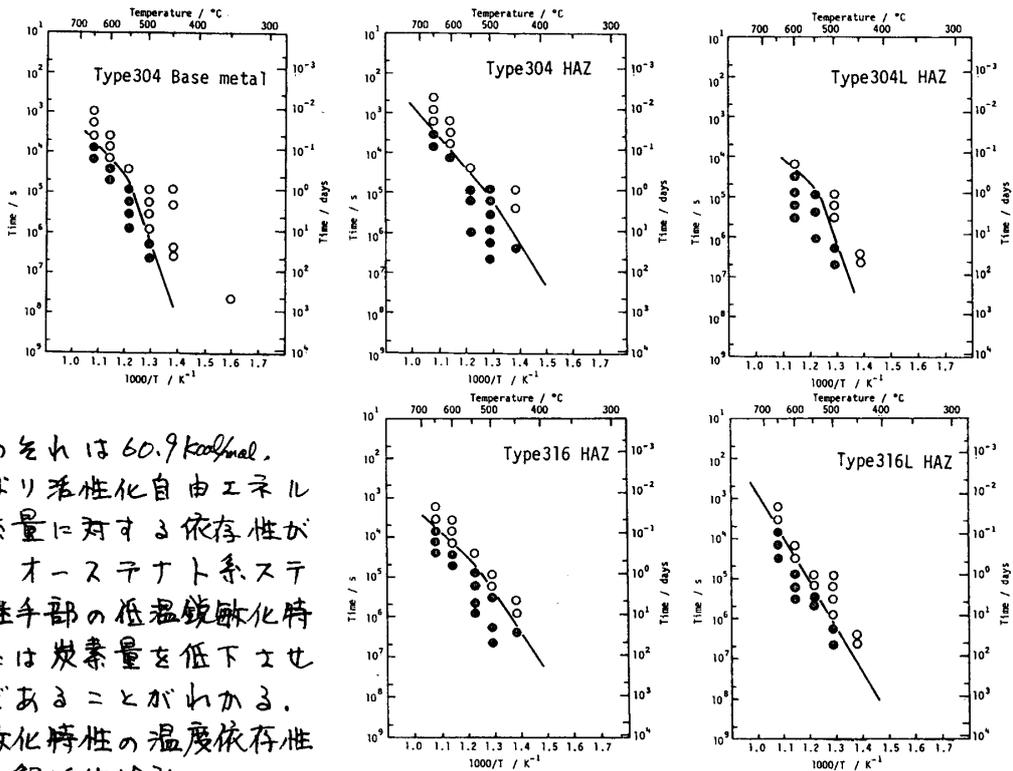


Fig.1 Temperature dependence of low temperature sensitization (LTS) for each material

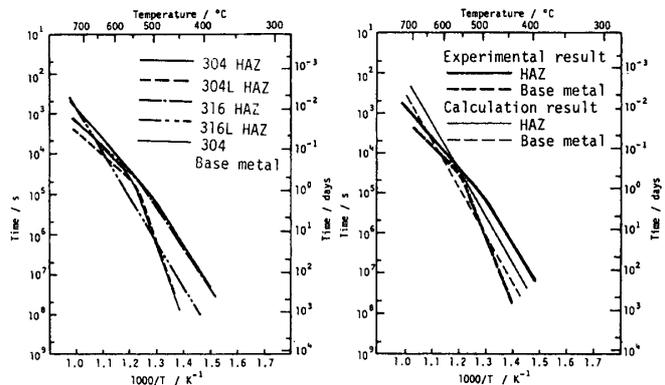


Fig.2 Temperature dependence of low temperature sensitization (LTS)

Fig.3 Comparison of calculation and experimental results