

Ni 系ろう材を用いた拡散接合体の破壊特性

(株)神戸製鋼所

武田裕之

(株)コベルコ科研

横幕俊典

(株)神戸製鋼所

池田正一, 仲山善裕

Fracture Properties of Diffusion Bonded Components by Ni-Brazing

by Hiroyuki TAKEDA, Toshinori YOKOMAKU, Masakazu IKEDA, and Yoshihiro NAKAYAMA

1. 緒 言

拡散接合は溶融溶接に比べて熱変形が少なく、寸法精度の高い部材の接合方法として期待されている。中でも界面に挿入したインサート材のみ加熱、溶融させ接合する”ろう付”法が汎用されているものの、界面欠陥の発生と接合に伴う靱性低下が問題となる場合が多い。従って、接合部の靱性が低い拡散接合継手を構造体に適用するには、仮に欠陥が存在しても、これを設計で考慮する損傷許容設計概念を確立することが必要となる。そこで本研究では 13Cr-4Ni 鋼を母材とする Ni 系ろう材を用いた拡散接合体を対象に混合モード下の静的破壊基準を調査し、欠陥を考慮した設計許容応力を決定した。

2. 実験方法

2.1. 供試材料および試験片

母材を 13Cr-4Ni 鋼とし、Ni 系ろう材 MBF-20(Ni-7Cr-4.5Si-3Fe-3.2B)をインサート材として真空炉中で $1175^{\circ}\text{C} \times 30$ 分間加熱して拡散接合処理し、その後 $550^{\circ}\text{C} \times 4$ 時間の条件で焼戻した。接合層厚さはほぼ $40\mu\text{m}$ となった。

この接合体から破壊靱性試験片(図1)を採取した。接合角を 0° , 45° , 60° の3水準とし、接合部中央にまで片側からき裂を施し試験した。試験温度は室温である。

2.2. 破壊靱性試験

図1の片側き裂材を用いて静引張試験を行い、最大荷重($P_{\max}$)点における応力拡大係数 $K_{\max}$ を破壊靱性値と定義した。なお図1に示す片側き裂材(母材のヤング率: $E_1 = 206\text{GPa}$, 接合層のヤング率 $E_2 = 167\text{GPa}$, ポアソン比: $\nu_1 = \nu_2 = 0.3$, 接合部厚さ $40\mu\text{m}$)に軸力が作用する時の応力拡大係数の形状係数を FEM 解析と結城らの方法により予め求めておき、前述の破壊靱性の計算に適用した。

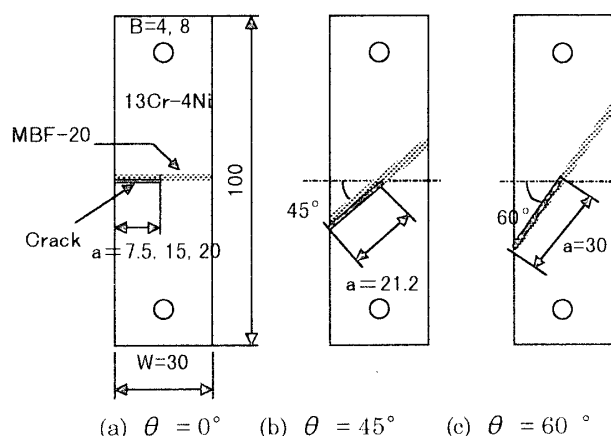


図1: 破壊靱性用試験片

3. 結果および考察

3.1. 破壊靱性試験結果

本接合体は大きな塑性変形を伴って破壊したため ASTM-E399 で定める K_{Ic} は有効な破壊靱性値とならなかった。しかし θ (接合角) = 0° の試験片において最大荷重 (P_{max}) 点での $K_{I, max}$ が板厚及びき裂長さにはほとんど依存しなかったため、これを破壊靱性値と定義した。 $\theta = 0^\circ$, 45° 及び 60° の試験片の破壊靱性を図 2 の $K_{I, max} - K_{II, max}$ 線図に示した。これより本接合体の静的破壊基準として、下記の関係が、ほぼ成立することが示された。

$$\sqrt{\{K_{I, max}^2 + K_{II, max}^2\}} = 51.2 (\text{Mpa}\sqrt{\text{m}})$$

3.2. 不安定破壊に対する許容応力

モード I 負荷に対する上記 $K_{I, max}$ を用いて、接合界面に半円状欠陥を有する半無限体の不安定破壊に対する許容応力と欠陥寸法の関係を図 3 に示した。本試験範囲内で確認された接合欠陥の寸法は最大でも $a = 0.1\text{mm}$ 程度であり、母材耐力以上の応力を十分に許容できることを示唆している。

図 3 には、母材のシャルピ衝撃値より推定した $K_{I, max}$ にて溶融溶接継手の許容応力と欠陥寸法の関係の評価した結果も示した。靱性値は溶融溶接継手の方が大きく、同一応力では、拡散接合継手より許容欠陥寸法は著しく大きくなる。しかし溶融溶接では未溶着部に代表される粗大欠陥が避けられない場合があり、粗大欠陥のサイズによっては、靱性値の低い拡散接合継手より許容応力が低くなる可能性がある。

4. 結 言

拡散接合部の静的破壊基準を調査した結果、接合部に残存する欠陥サイズでは母材耐力レベルの応力を十分に許容できることがあきらかとなった。溶融溶接部と比較して拡散接合部の靱性値(シャルピ衝撃値に代表)は低いものの、必ずしも安全性が低いことを示唆するものではない。接合の採用に際しては、それぞれの接合体で想定される欠陥寸法に対して許容応力を、あるいは設計応力に対して許容欠陥寸法を決定すべきである。

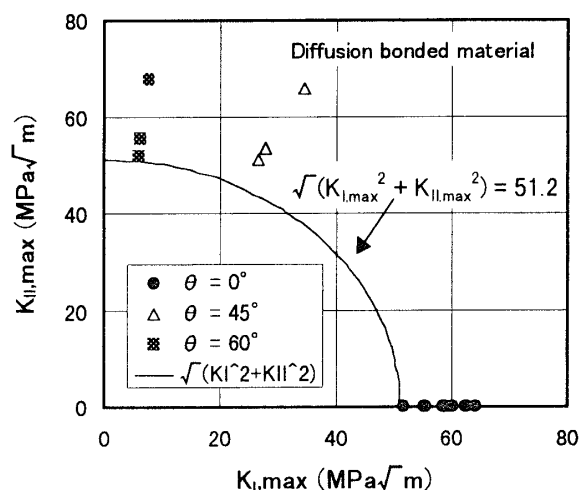


図 2：混合モード下の限界破壊条件

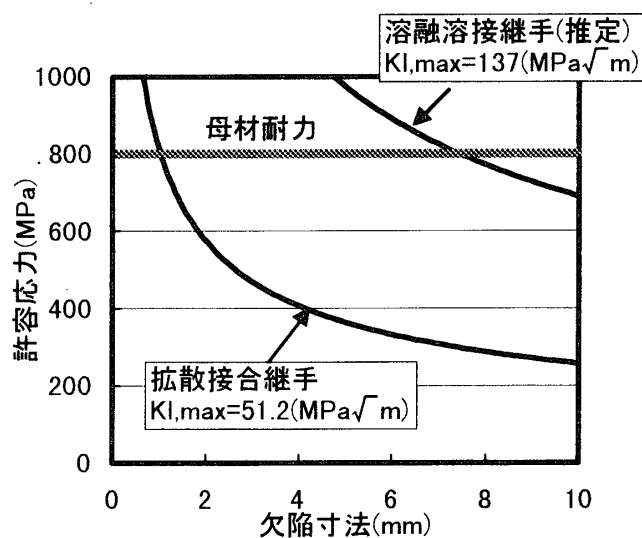


図 3：欠陥寸法と許容応力の関係