

204 変態固相接合強さと超音波反射波の関係

埼玉大学大学院 ○柴田雅夫

工学部 塩谷雅治 加藤寛 吉川敬治

1. 緒言

変態固相接合は、固相内で接合を行なうので、材料の一部を溶融・再凝固させる溶接に比べ、材料組織への熱影響が小さく、エネルギーコスト面においても合理的な接合法と言える。近年では、この変態固相接合は、航空機・エレクトロニクス・原子力工業などにおいて精密接合として注目されている。

一般に、接合された部材ではその接合強さにばらつきがあり、その使用にあたって接合強さを知る必要がある。現在、接合強さを知る方法として、引張り・曲げなどの破壊試験が基本的であるが、非破壊検査による接合強さの推定が必要である。接合部の非破壊検査としては、測定器の取扱いや試験方法が簡単な超音波探傷法が用いられることが多い。しかし、その接合強さの評価方法は必ずしも十分とは言えない。

そこで本研究では、接合強さを超音波検査により推定するための基礎的研究として、軟鋼平板を用いて変態固相接合を行ない、接合された平板の超音波反射波と接合強さとの関係を調べた。

2. 実験方法

2.1 変態固相接合

接合用試験片として、みかき鋼平板(SGD 30-D)を用いた。その形状および寸法を図1に示す。みかき鋼なので表面はそのままとした。アセトンで脱脂した試験片を、図2に示す接合装置の電極間に取付け、加圧状態で通電加熱し、次に電流を切り自然放熱によって冷却させた。このようにして変態点(約1120K)を上下する温度サイクルを与え、変態超塑性状態下で接合を行なった。あらかじめ外部(P点)と内部(O点)の温度計測を行ない(図3)、接合実験では、外部温度を計測し図3から求めた内部温度を計測温度とした。接合条件を表1に示す。

2.2 超音波検査

まず接合された試験片の超音波検査を垂直法により行なった。使用探触子は周波数5MHz、振動子直径は10mmである。接触媒質にはグリースを用いた。中心線A-A'上で2mmごとに、エコー高さ・F/B・減衰率の測定を

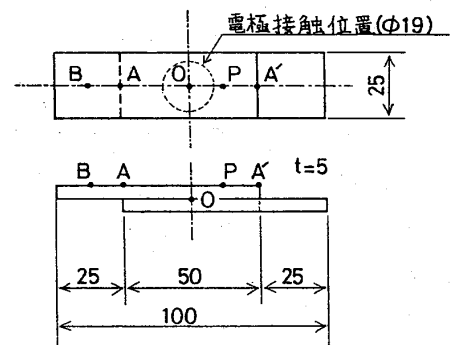


図1 試験片の形状・寸法

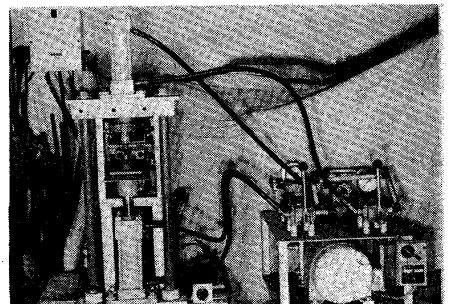


図2 変態固相接合装置

行なった。エコー高さ、F/Bは次式のように定義した。

$$(\text{エコー高さ}) = \frac{(\text{測定点における界面反射エコー高さ})}{(\text{試験片健全部(B点)におけるエコー高さ})} \times 100 \quad [\%]$$

$$(F/B) = \frac{(\text{界面反射エコー高さ})}{(\text{底面反射エコー高さ})} \quad [\text{dB}]$$

2.3 接合強さの測定

検査終了後、接合強さ測定のために接合された試験片を、引張速度 $8.3 \times 10^{-3} \text{ mm/sec}$ で引張せん断試験を行なった。

2.4 組織観察

接合された試験片を中心軸A-A'で切断し、接合部近傍の断面組織を観察した。エッチング液は3%硝酸エチルアルコール(ナイタル液)を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 接合部近傍の組織観察

接合部近傍の組織を図4に示す。接合界面に黒い粒状物が観察されるが、結晶粒が界面を横切って成長しており、十分な接合がなされていることが確認された。

3.2 超音波検査

超音波検査により測定されたエコー高さ、F/Bの変化を評価する方法としてそれぞれ指示長さL(X)、L'(X)を定義した。これは図5に示すようにある一定の減衰(XdB)以下の範囲における探触子の移動距離である。図6にL(-6)およびL'(0)の結果を示す。図中、横軸の温度は最高計測温度である。指示長さはいずれも最高計測温度とともに増加している。また、1100K近傍で急激に増加しているが、この温度は変態点にほぼ一致しており、接合部がこの温度近傍で超塑性状態になり、接合面積が急激に増加したためである。減衰率の測定では、本実験で使用した測定器の精度が低くデータのばらつきが大きくなり、接合強さの推定には使用できないことがわかった。

3.3 引張せん断試験

引張せん断試験結果より得られた接合強さと最高計測温度との関

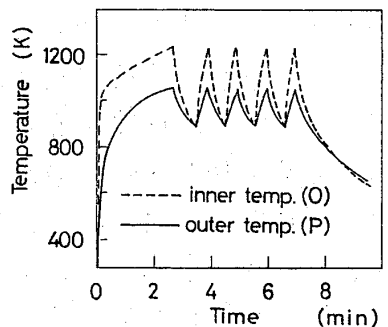


図3 内外部温度差グラフ

表1 接合条件

温度サイクル数	n=1, 3, 5 回
最高計測温度	823~1273 K
温度幅	約300 K
加圧力	16.2 MPa
開放電圧	2.1 V

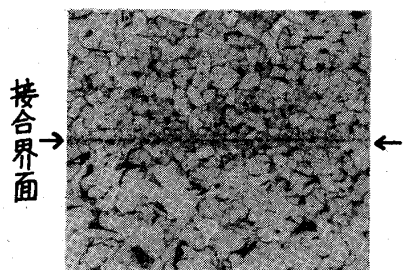


図4 接合部近傍の組織

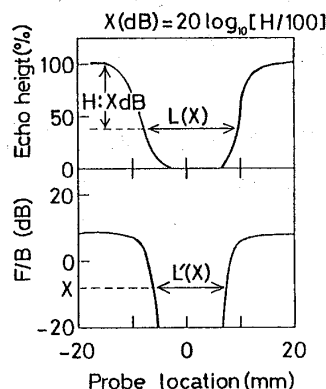


図5 指示長さ L(X), L'(X)

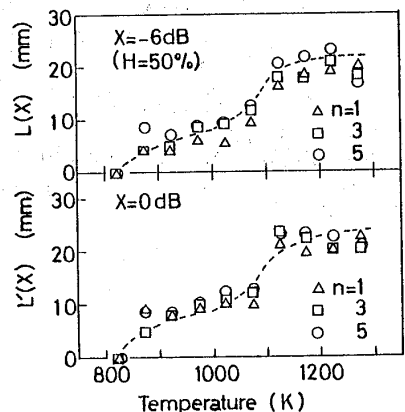


図6 最高計測温度と指示長さの関係

係を図7に示す。公称接合強さ (τ_{nom}) は電極接触面で、真接合強さ (τ_{tru}) は接合面積 (破断後測定したむしれ破断部分の面積) でそれぞれ引張せん断荷重を割った値である。公称接合強さは、最高計測温度の増加とともに高くなっているが、1200K以下ではほとんど一定になっている。また、真接合強さが変態点近傍で急激に低下しているが、これは接合部近傍がこの温度で超塑性状態になり接合面積が急激に増大したか、試験片どうしの拡散が十分に行なわれなかったためと考えられる。したがって良好な接合を得るには真接合強さが一定値をとる1200K以上の加熱が必要である。公称・真接合強さのいずれも、温度サイクル数 n には依存しなかった。

3・4 超音波反射波と接合強さの関係

図8にエコー高さの指示長さ $L(X)$ および F/B の指示長さ $L'(X)$ と公称接合強さとの関係を示す。指示長さの増加とともに公称接合強さは高くなっている。この図から指示長さによる接合強さの推定は可能である。しかし、 F/B 法ではエコー高さ法よりプロットされた点が集中してしまうので、エコー高さによる指示長さ $L(X)$ を用いた方が接合強さの推定に有利であると考えられる。

4. 結言

変態固相接合された軟鋼みかき平板の超音波探傷を行なった結果、以下のような結果を得た。

(1) エコー高さ法ならびに F/B 法により、超音波反射波と接合強さの関係を求めることは可能である。また、減衰率法は測定器の精度不足から接合強さの推定はむずかしい。以上の3法の中で最も接合強さの推定に適しているのは、エコー高さ法である。

(2) 変態固相接合法による板材 (75×75×t5) の接合適性条件は、加圧力 16.2 MPa, 開放電圧 2.1 V で、1200K以上の加熱である。

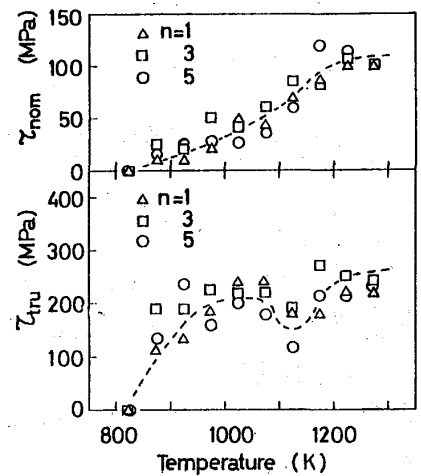


図7 最高計測温度と接合強さの関係

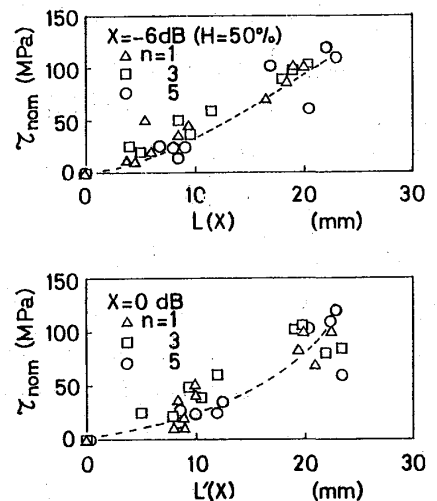


図8 指示長さとの接合強さの関係