430 拡散接合部の引張破面形状とフラクタル次元の関係

The relationship between the structure of tensile-fractured surface at
diffusion-bonded joint and its fractal dimension

正 池庄司敏孝 (東工大)

○ 学 岡田 隆寿 (東工大院)

正 鈴木 暁男 (東工大)

Toshitaka IKESHOJI, Tokyo Inst. of Tech., Ookayama 2-12-1, Meguro-ku, Tokyo, Japan, 152-8552

Takahisa OKADA, Graduate School of Tokyo Inst. of Tech.

Akio SUZUMURA, Tokyo Inst. of Tech.

Diffusion-bonded stainless steel joint apt to fracture brittly in spite of its enough tensile strength comparable to the base metal. In order to clarify the causes, fractal analysis of the tensile fractured surface was applied under various bonding conditions.

As changing the bonding conditions, the shape and distribution of faults such as voids and inclusions left on the bonding surfaces were varied as well as the shape of grain boundaries. These caused the change in fractal dimension variously. Because the fractured surface looked like brittle in macroscopic and ductile in microscopic, the fractal dimension was affected by its observing scale. It was verified that the microstructure of fractured surface was well characterized by its fractal dimension, and that fractal analysis was helpful in solving the problem of diffusion bonding.

Key Words: Diffusion bonding, Fractals, Stainless steel

1 はじめに

金属材料を拡散接合した場合、接合部の引張強さは母材並みの値を示すが、衝撃強度の低下や低温脆性があらわれるなどの脆化現象が見られる。その原因として、残留空隙や酸化物などの介在物、第2相粒子等が接合界面に散在すること、また、接合界面の結晶粒界が比較的フラットになっていることなどが考えられる。しかし、欠陥が微小であるため、検出や解析は困難である⁽¹⁾⁽²⁾。そこで本研究では、フラクタルを用いて破面の解析を行った。様々なスケールで破面のフラクタル次元を計算し、フラクタル次元のスケール依存性を考慮することにより、接合欠陥の解析を行った。また、接合時間等の条件を変えることにより破面形状を変化させ、フラクタル次元との関係を得ることで、さらに詳細に破壊機構に影響を与える諸因子の解明を試みた。

2 実験方法

端面をエメリー紙 (#2000) で研磨した外径 12 [mm] の SUS304 ステンレス鋼製丸棒を拡散接合した。接合は、温度 1100 [°C] 接合圧力 12 [MPa] の状態で、6 種類の保持時間で行った(1,5,10,20,30,60[min])。また、接合雰囲気は圧力 5.0×10^{-5} [torr] 以下の真空である。接合後、Fig.1 に示す形状に加工し、インストロン型引張試験機により液体窒素中で準静的引張試験を行った(引張速度 0.500[mm/min])。得られた破面の微細構造を SEM で観察し、2 検出器式走査型電子顕微鏡で破面の縦断面曲線を 1 視野(1 観察スケール)当り 4096 点の離散点列で記録した。フラクタル次元はその曲線データから相関関数法により計算した。1 視野当りのデータ量が固定であるため、SEM の倍率を変えることにより異なるスケールの破面形状の解析が可能である。

Fig.1 Shape of tensile test specimen

3 実験結果及び考察

拡散接合した SUS304 試験片の引張試験を液体窒素中で行った結果、母材並みの引張強さが得られたが、絞りはほとんど得られなかった。SEM で破面観察を行うと、比較的低倍率では脆性的な破面形状を示し、高倍率ではディンプルパターン形状を示した(Fig.2(b))。マクロ的には結晶粒単位で破壊し、粒界内部は主に第2相粒子を起点としたディンプルパターンで構成されていることから、粒界延性破壊であると考えられる⁽³⁾。

Fig.2 SEM images of tensile fractured surface of
diffusion-bonded SUS304.

Fig.3 Fractal Dimension vs. Observing Scale of tensile fractured surfaces of diffusion-bonded SUS304.
(A) diffusion-bonded for 5 min, (B) for 30 min.

Fig.4 SEM images of tensile fractured surface of diffusion-bonded SUS304. (a) diffusion-bonded for 5 min, (b) for 30 min.

Fig.5 The average size of grain diameters on the fractured surface.

破断面のフラクタル次元を計算した結果を Fig.3 に示す。Fig.3(A) は、5 分間接合した試験片を引張破断し、その破断面から、フラクタル次元を計算した結果であり、Fig.3(B) は、30 分間接合した際の結果である。接合時間を変えることにより、フラクタル次元に違いが現れた。5 分間接合した場合には、試験片ごとにフラクタル次元に大きなばらつきが見られたが、30 分間接合したものでは見られなかった。元となった破面の SEM 像を観察すると、接合時間を変えたことにより、接合部での破断面形状に変化が見られた (Fig.4)。5 分間接合を行った試験片の破断面には多数の残留微小空隙が見られ、研磨傷も残留している (Fig.4(a)) が、30 分接合した試験片では、空隙はほとんど見られなくなった。様々な接合欠陥が残留していると、それらが破面のフラクタル次元に影響を及ぼすことにより次元値が一定にならなかったと考えられる。

視野幅を変えて様々なスケールでの破面のフラクタル次元を計算することにより、フラクタル次元がその観察スケールに依存することが確認できた (フラクタル次元の観察スケール依存性)。約 100 [μm] 程度の観察スケールを境にしてフラクタル次元に挙動の変化が見られた。破面から確認できる最も大きい結晶粒の大きさが約 100 [μm] であることから、結晶粒で構成された破面のフラクタル次元と、結晶粒内部のディンプルパターンまで計算範囲に入れたフラクタル次元との差が出たと考えられる。また、Fig.4(b) において、一部結晶粒径が大きくなっている。よって、Fig.3(A)、(B) において、フラクタル次元の挙動の変化が生じる観察ス

ケールが遷移すると思われたが、そのような現象は生じなかった。Fig.5 に、すべての試験片破面写真から計測した結晶粒径の平均値を示す。接合時間の増加により結晶粒径の粗大化が確認できる。しかし、その増加量が微小であったため、結晶粒径の違いによる、フラクタル次元の観察スケール依存性への影響を確認することができなかったと考えられる。

4 まとめ

拡散接合した SUS304 ステンレス鋼を液体窒素中で引張り破断させ、破面のフラクタル次元を計算することにより破断面の解析を行い、接合部が脆化する原因の解明を試みた。そして、以下の結果が得られた。

- ・ 接合時間を変えて実験を行い、接合欠陥がフラクタル次元に大きな影響を及ぼすことが分かった。
- ・ 約 100 [μm] の観察スケールを境に、フラクタル次元に挙動の変化が見られた。これは、結晶粒界の影響によるものと考えられる。これを確認するためには、結晶粒の粗大化をさらに促進させるか、次元解析する視野幅を細かく設定する必要がある。

参考文献

- [1] 社団法人溶接学会編; 溶接・接合便覧, 発行 平野秀樹, (1990) pp 465-472
- [2] 新版溶接技術総覧編集委員会編; 新版溶接技術総覧, 発行 海老原熊雄, (1994) pp 382-387
- [3] 社団法人日本材料学会 編集兼発行; 材料強度学, (1997) p 11