

Al含有フェライト系ステンレス鋼箔の極低加圧接合法

Pressureless Joining Technology of Al containing Ferritic Stainless Steel Foil

1. はじめに

新日本製鐵(株)は、自動車用排気ガス浄化装置としてセラミックス製に代わりステンレス鋼製のハニカム体を用いたメタル担体を開発・実用化した。ハニカム体の素材は厚さ約50 μ mのステンレス鋼製の平箔と波箔で、これを巻き込みハニカム体を形成している。このハニカム体は使用時には高温の排気ガスにさらされるため、その接合部に対しては高温で安定した接合強度が要求される。しかし、接合時には既にハニカム体の形状で、また素材は薄い箔であるため、接合に際して接合面を加圧して十分な密着を確保することは困難である。そこで、極低加圧でも安定した接合が得られる接合方法を採用する必要がある。この様な接合方法として①ろう付け、②拡散接合がある。ここでは、これらの接合方法について概説しメタル担体への適用について述べる。

2. ろう付け

2.1 ろう付け

ろう付けは、母材より融点の低いろう材を用いて母材をほとんど溶かさず接合する方法である。溶融したろう材と母材とのぬれを利用して接合するため積極的な加圧は不要で、ハニカム体の接合には適した接合方法である。母材の種類や使用目的にあわせて様々な種類のろう材があるが、メタル担体のハニカム体のろう付けには耐熱性とコストの観点からガスアトマイズにより作成された粉末のNiろう材が使用されている。

2.2 ぬれ性

ろう付けでは、溶融したろう材と母材のぬれ性が接合品質に対して重要である。メタル担体ハニカム体の素材は耐酸化性を得るためAlを含んでいる。図1は、母材中のAl量と拡がり率との関係を示す。拡がり率とは、図1中の模式図で示す様な溶融前後のろう材の投影面積の比で、この値が大きいほど良くぬれていると考える。ろう材は19%Cr-10%Si-残Ni系のBNi-5である。図1に示す様に、母材中のAl量が増加するに従い拡がり率は低下する。これは母材表面のAl酸化物がぬれを阻害しているためである。そのため、ろう付け時の雰囲気が必要となる。図2は雰囲気と拡がり率の関係を示す。母材は20%Cr-5%Al合金ステンレス鋼箔、ろう材はBNi-5である。雰囲気は真空と水素雰囲気である。還元性のある水素雰囲気の方がぬれ性は良好である。しかし、雰囲気ろう付けは雰囲気の露点管理が悪いと、逆に酸素を持ち込むことになり工業的には注意が必要である。真空中でもろう付けは可能であるが、真空度の管理が重要である。

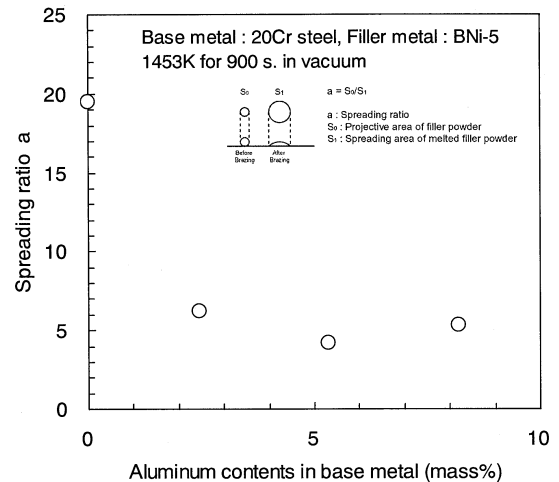


図1 母材のAl量と拡がり率との関係
Relationship between Al content in base metals and spreading ratio

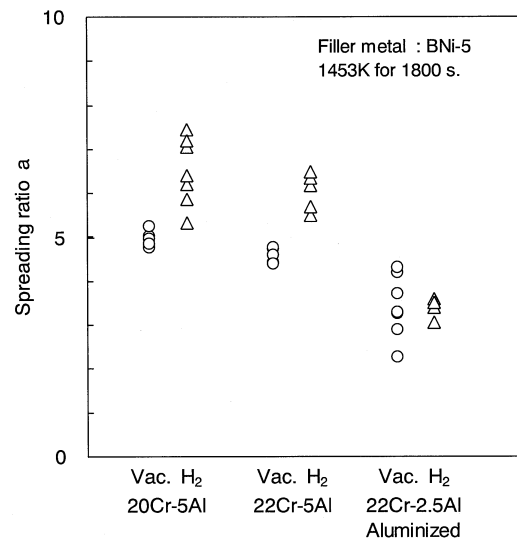


図2 ろう付け雰囲気と拡がり率の関係
Relationship between brazing atmosphere and spreading ratio

2.3 ろう付け温度

ぬれとは母材と溶融したろう材の界面での反応である。そのため、ろう付けの温度も重要である。図3はろう付け温度と拡がり率との関係を示す。母材は20%Cr-5%Al合金ステンレス鋼箔、ろう材はBNi-5、雰囲気は真空である。図3に示す様に、ろう付け温度が十分高くない場合は拡がり率が安定しない。良好なろう付け部を得るためには十分なろう付け温度まで加熱する必要がある。

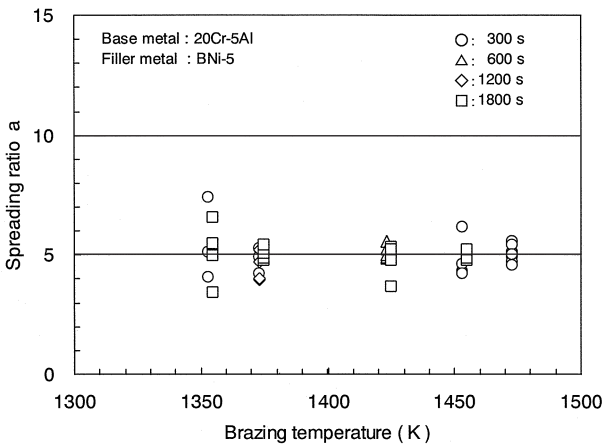


図3 ろう付け温度と拡がり率の関係
Relationship between brazing temperature and spreading ratio

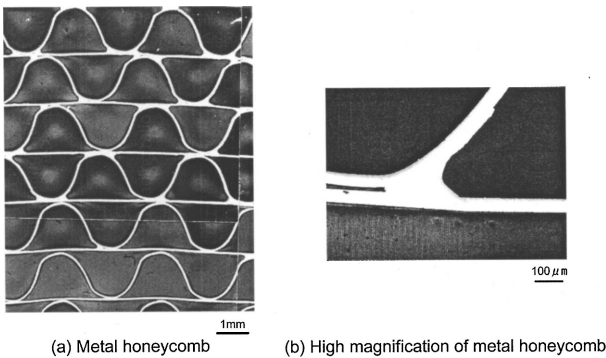


図4 ハニカム体外観
Brazed metal honeycomb

2.4 ハニカム体のろう付け

図4は、ろう付けにより接合されたハニカム体の拡大写真である。波箔と平箔の接点がろう付けにより接合されている。適切なろう付け条件を採用することにより、十分な接合強度を持つハニカム体を得ることができる。

3. 拡散接合

3.1 ハニカム体の拡散接合

拡散接合とは、母材同士に加圧力をかけて接触させ、温度を上昇させることで拡散現象を引き起こし接合部を形成する方法である。ただし、ここで言う拡散接合とはハニカム体の組み立て接合であり、拡散接合条件の加圧力をかけることができない。平箔と波箔(平箔をコルゲート加工したものでハニカム体を巻き取る時、平箔にバックテンションを付加することで面圧を与えるが、過大なバックテンションを付加すると巻き取り軸近傍のハニカム体が座屈してしまうからである。バックテンションを十分に付加することができないことより、ハニカム体の拡散接合において

は、ステンレス鋼箔表面性状の影響を顕著に受ける。そこで、これらの影響について述べる。

3.2 接合条件

供試材料として20%Cr-5%Alの耐熱性フェライト系ステンレス鋼箔(箔厚 $52\mu\text{m}$)を平箔として使用した。この箔にピッチ2.5mm、波高さ1.25mm、頭頂部幅0.5mmの加工を施したものを波箔として用いた。使用した真空加熱炉の加熱中の真空度は約 2×10^{-4} Torrであり、加熱温度は 1250°C とした。

3.3 アルミナ生成の影響

真空熱処理による箔表面性状への影響を検討するため、真空炉に平置きした箔を90分間真空中で加熱処理した。その結果、箔の表面が灰白色であるのに対し、箔の裏面が金属光沢を呈していることを見出した。図5は箔の表裏面をSEM-EDSで観察、分析した結果である。表面は白い粉体で覆われているのに対して、裏面はほぼ黒色で白色部が散在している。EDSの分析結果によると、黒色部はFe-Cr-Alの生地で、白色部はアルミナであることが判明した。このことから真空炉中に面した箔面は炉中の残留酸素により酸化されていることがわかる。その一方で炉壁に面した箔面は酸化が抑制されていることがわかる。この原因としては、炉壁に面した箔表面から発生するアルミニウム蒸気が滞留し酸素の侵入を抑制したものと考えられる。

以上の結果より、平箔と波箔の接触部で発生するアルミニウム蒸気が滞留し、接合界面の酸化を抑制することがハニカム体の拡散接合の必要条件であると言える。そのためには波箔形状は、サイン型より台形型の方が有利である。なお、平箔と波箔平箔と波箔の接合界面にアルミナが一度生成されれば、拡散接合は不可能である。

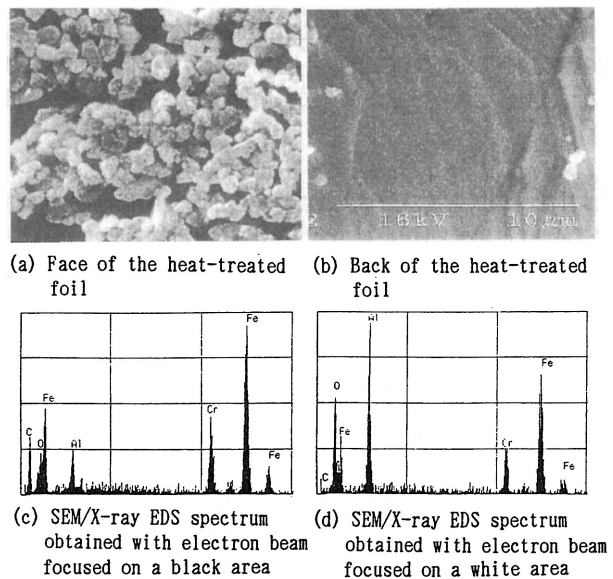


図5 真空熱処理後の箔表面状態の分析結果
Analysis of foil surface condition after heat treatment

3.4 表面粗さの影響

平箔と波箔には縦方向に微小なロール疵があり、これらを巻廻ると図6の模式図のようなになる。この図中の矢印の箇所を、箔幅方向に拡大したのが図7である。すなわち平箔と波箔のロール疵の頂点と頂点が接している。この表面粗さ(疵の高さとピッチ)が低加圧拡散接合に大きな影響

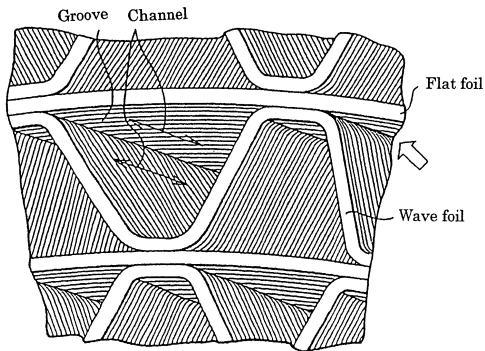


図6 真空熱処理前のハニカム体の模式図
Schematic diagram of honeycomb body before heat treatment

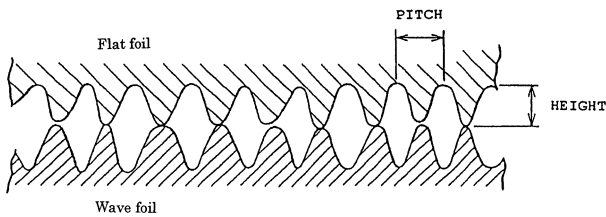


図7 拡散接合前の平箔と波箔の接触状態を示す模式図
Schematic diagram of contact condition of flat foil and wave foil before diffusion bonding

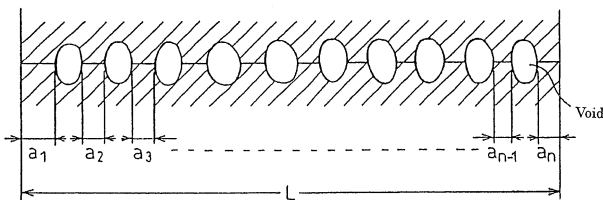


図8 拡散接合後の平箔と波箔の接触状態を示す模式図
Schematic diagram of contact condition of flat foil and wave foil after diffusion bonding

を与えることは容易に類推できる。平箔と波箔の拡散接合の接合状況の模式図を図8に示す。ここで接合界面には多数のボイドがあり、単位長さあたりのボイドを除いた接合部の長さの総和を拡散接合率と定義する。それまで使われていた#80ロールで仕上げた箔表面粗さはRaで $0.35\mu\text{m}$ であった。それに対して新たに作製した#400ロールで仕上げた箔表面粗さは $0.10\mu\text{m}$ であった。両者の拡散接合率は接合時間90分でそれぞれ0.25と0.50であった。#80ロールで仕上げた箔で作製したメタル担体は、入り側温度 950°C のエンジン冷熱耐久試験で約400サイクルで破壊脱落したが、#400ロールで仕上げた箔で作製したメタル担体は、上記の耐久試験で900サイクル以上の耐久性を示し合格した。

4. まとめ

この様に、接合雰囲気、接合温度、箔の表面状態を最適に制御することにより、極低加圧の条件でも箔を十分強固に接合することが可能であり、高温下の使用でも、十分耐久性を持つメタル担体のハニカム体を製造することができた。この様な技術を適用して、図9に示される様な耐久性に優れたメタル担体を開発することに成功した。

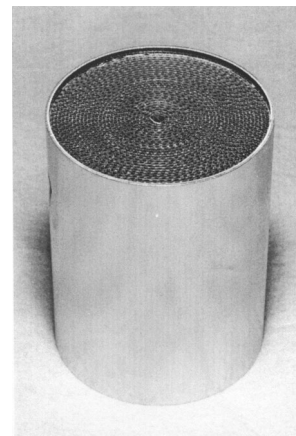


図9 メタル担体外観
Metal substrate