研究ノート

ブレージングシート芯材への液相の侵食機構

伊藤 吾朗*・菅野 幹宏*

Encroachment mechanism of the liquid phase on the core material of brazing sheets

Goroh ITOH and Motohiro KANNO*

(Received June 9, 1987)

1. 緒 言

自動車用熱交換器のフィン材などに使用されているブレージングシートは、Al-Mn 系合金を芯材とし、Al-Si 系合金を皮材としているが、ろう付時に芯材が液相に侵食され、フィン形状を保てなくなることがある。これはサグ現象と呼ばれ、ろう付時の芯材組織が等軸・微細な再結晶組織の場合^{1)~3)}、および未再結晶組織の場合^{1),2)}に、顕著に現れることが明らかになっている。その理由は前者の場合、液相が芯材の粒界に侵入することに帰せられる^{1)~3)}。他方後者の場合について既報¹⁾では、芯材の未再結晶域全体が液相中に溶解すると同時に、皮材に残存する固相が成長し、結果的に液相領域が芯材内へ移動することに基づくと考えた（以下、この考えを溶解析出説と呼ぶ）。しかし液相が芯材の一部に局部的に侵入する可能性（以下、局所侵入説）も指摘されており、この場合の侵食機構についてはなお検討の余地があるようである。

ところで最近、従来の3003合金よりも著しく耐サグ性に優れる芯材が見出された²⁾が、液相の侵食機構が明らかになれば、さらに優れた芯材の開発も可能となろう。よってここでは、芯材が未再結晶組織となっている場合の液相の侵食機構として、上記2説に的を絞る、その是非を検討することにした。

2. 液相の芯材への侵食

Fig. 1には、ろう付温度に加熱した時に芯材が未再結晶組織となる場合について、加熱前後のブレージングシートの断面組織を示したが、加熱温度は610、615°Cの2種類とし、保持時間はいずれの温度についても10

minとした。また食刻は、第二相を分かりやすくする目的で、ディックス・ケラー液⁴⁾によって行った。図に示すように、加熱後の組織には、(I)第二相をほとんど含まない皮材側の領域、(II) Siを多量に含む幅の狭い共晶領域、(III) Mnを含む第二相が加熱前とほぼ同様に比較的高密度に分布する板中心部の領域（高温加熱の(b₂)の場合には見られない）、の3種類の領域が存在する。以下ではそれぞれ、 α 単相域、共晶域、健全域と呼ぶことにするが、共晶域は加熱温度から冷却する直前の液相領域にほぼ対応する。したがって図より液相が芯材内部にまで達したことが明らかであり、未再結晶組織を有する芯材が耐サグ性に劣ることがよく理解できる^{1),2)}。

ここで Fig. 1の組織の特徴をまとめると、(i)加熱前の芯材には Mnを含む第二相が高密度に分布するが、加熱後は(b₁)、(b₂)いずれの場合も α 単相域が旧芯材部内に認められるので、加熱前に存在した第二相は何かの反応によって消滅したことになる；(ii)共晶域は(b₁)、(b₂)いずれの場合も主として旧芯材部に、圧延方向にほぼ平行に分布し、(b₁)の場合この共晶域が α 単相域と健全域の境界となる；(iii)上記共晶域以外に、圧延方向にほぼ垂直に共晶域が分布し、 α 単相域を矩形状に分割する；などである。

これら(i)~(iii)の組織の特徴を踏まえて前記2説を検討するが、まず Fig. 2(a),(b)には、それぞれ溶解析出説および局所侵入説に基づき、侵食組織の形成過程を模式的に示した。はじめに(i)の第二相の分布について考える。健全域においては加熱前に比べてやや分布があらくなるものの、Mnを含む第二相が多数認められる。このことはこれら第二相が、ろう付温度に保持するだけでは芯材母相（固相）中に固溶・消滅しないことを示し、 α

* 東京大学工学部（東京都）。Faculty of Engineering, The University of Tokyo (Tokyo).

Fig. 1(a, b) Optical microstructures of L-ST section of a brazing sheet (3003 core alloy with 4343 cladding alloy). (a): Cold-rolled by 5%; (b₁) and (b₂): heated up to 610 and 615°C, respectively after (a), and kept at these temperatures for 10 min.

単相域はこの部分を液相が掃引することによって生じた²⁾としか考えられない。ここで液相が幅の狭い共晶域にのみ局所的に侵入した²⁾と考えると、侵入経路以外はFig. 2(b)に示されるように、第二相が残存しなければならず、Fig. 1(b₁, b₂)に示される α 単相域の存在は説明できない。すなわち旧芯材内における第二相の消滅は、溶解析出説を支持し局所侵入説を否定する重要な結果と思われる。

次に前記(ii)すなわち共晶域が圧延方向にほぼ平行に分布することについては、溶解析出説の場合、圧延方向にほぼ平行に存在する液相を介して、芯材から皮材側の固相(α アルミニウム相)へと主にAl原子が移動し、結果的に液相が圧延方向に平行なまま芯材内部に進行するとして合理的に説明できる。他方局所侵入説でもこれについては説明できそうであるが、健全域が残らないFig. 1(b₂)の場合は、共晶域が圧延方向に平行になる、すなわち侵入方向がほぼ直角に曲がる必然性は、これまでのところ見当たらない。そしてたとえばFig. 3に示すように、なぜそのような折れ曲がりやが複数回起こったり、共晶域が芯材の途中で途絶えたりしないのかについても、局所侵入説では説明し難い。

Fig. 2(a, b) Schematic drawings expected from the two theories explaining the encroachment mechanism of the liquid on the core. (a): Dissolution and precipitation theory, (b): local encroachment theory. (1~3): Structural changes during heating and holding, (4): structure after cooling.

Fig. 3 A variation of structure after cooling which is expected from the local encroachment theory (refer to Fig. 2(b)).

Fig. 4 A schematic drawing showing the process of the dissolution of subgrains and the growth of α -aluminum grains, which is expected from the dissolution and precipitation theory (refer to Fig. 2(a)).

最後に(iii)の特徴についてであるが、溶解析出説では、加熱時に皮材側の固相が適当な間隔で液相中に遊離して存在すると考えれば、無理なく理解できる。これに対して局所侵入説では、芯材中の粒界または亜粒界や亜結晶粒群が経路となるとされる²⁾が、液相を生じる直前の芯材の結晶粒は、サグをほとんど生じない場合と同様、圧延方向に延伸した形状となっている^{1), 2)}ので、粒界(大傾角粒界)はこの場合侵入経路になっていない。また亜粒界や亜結晶粒群が、Fig. 1(b₁, b₂)の共晶域のように約100 μ mの矩形状に分布することは、一般にきわめて

考えにくいので、局所侵入説には侵入経路の点でも問題があると思われた。

以上簡単な実験結果をもとに、液相の侵入機構として溶解析出説の方がより合理的であると考えた。未再結晶域がなぜ、あるいは微視的にどのようにして溶解するかについては、一応既報¹⁾において Fig. 4 に模式的に示したように、亜粒界にまず液相が侵入し、皮材中に残存する α 相と亜結晶粒との寸法差により、亜結晶粒が溶解し α 相が成長すると考えた。しかしこの考えは実験事実に基づけられたわけではないので、今後さらに検討の必要があろう。

3. 結 言

ブレージングシートの芯材が未再結晶組織となる場合

の液相による侵食機構について、溶解析出説と局所侵入説との是非を比較・検討した。その結果、ろう付加熱前に芯材に存在していた第二相が消滅すること、共晶領域が主に圧延方向に平行に存在し、全体的に矩形状に分布すること、などを考慮すると、現在のところ溶解析出により芯材が侵食されると考えた方が妥当と思われた。

参 考 文 献

- 1) 鈴木壽, 伊藤吾朗, 小山克己: 軽金属, **34** (1984), 708.
- 2) 当摩建, 麻野雅三, 竹内庸: 軽金属, **37** (1987), 119.
- 3) 今泉重威: 軽金属, **29** (1979), 115.
- 4) ギュンター・ベツォー: 金属エッチング技術 (松村源太郎訳), アグネ, (1977), 42.