

特集 令和元年度日本アルミニウム協会賞

開 発 賞

高耐食性熱交換器用アルミニウムフィン材 Aluminum fin material for heat exchanger with high corrosion resistance



片木 威*
Takeshi KATAGI



久保 雄輝**
Yuki KUBO



平木 伸幸***
Nobuyuki HIRAGI

1. はじめに

近年の家庭用、業務用、産業用の熱交換器用アルミフィン材は表面処理で耐食性処理や熱交換効率向上のための親水性処理が行われることが多く、表面処理性能向上の研究や開発が盛んに行われている¹⁾。一方で熱交換器用フィン材に用いるアルミ母材の研究開発は少なく、特に高い耐食性を持つ高純度アルミ²⁾を熱交換器用フィン材に応用するという研究や開発はほとんどない。

高純度アルミの高い耐食性を活かし、かつ熱交換器用フィンに成形できる強度や成形性を兼ね備えた高純度アルミベース合金を開発した。さらに耐食性を向上させるために、そのアルミ合金に耐食性の表面処理を施した熱交換器用アルミフィン材を開発した。

2. 開発の背景

高純度アルミ（99.99～99.9999%Al）は純アルミ系やアルミ合金と比較して耐食性に優れているが、軟質であり、フィンへの加工性が不十分である。例えば高純度アルミで0.15～0.2mmの板厚で熱交換器用フィンのプレス成形を行ったところ、フィンカラーの高さにもよるが割れ不良が確認された。

また、産業用熱交換器においては過酷な環境で使用される

ケースがあり、高い耐食性が求められる。アルミフィン材に表面処理を施すことで耐食性を高める事が出来るが、プレス成形時にアルミ素地がむき出しになる端面から進行する腐食を抑制する事は難しく、課題が残されていた。

そこで、高純度アルミの製造技術^{3),4)}を持った住友化学株式会社と熱交換器用フィン材の製造技術を持った株式会社片木アルミニューム製作所の共同で高耐食のアルミ合金（開発品）を開発した。さらに表面処理を施すことで、従来の表面処理フィン材を上回る耐食性を有するアルミフィン材（開発アルミフィン材）を開発した。



図1 銅管を挿入した開発アルミフィン材

*株式会社片木アルミニューム製作所 代表取締役社長

**住友化学株式会社 無機材料事業部アルミニウム部

***株式会社片木アルミニューム製作所 大山工場 品質保証課 係長

3. 開発アルミフィン材の特徴

3.1 高耐食性アルミ合金

熱交換器用フィン材のアルミニウムには純アルミ系や3000系合金が使用され、耐食性が必要な場合には、表面処理による耐食性を付与することが一般的である¹⁾。

開発アルミフィン材は、耐食性の高い開発品に更に高耐食の表面処理を施した熱交換器用アルミフィン材である。

アルミニウムの耐食性を低下させるFeやSiなどの不純元素を制限することで、高純度アルミと遜色ない高い耐食性を保持している。また、Mn、Mgなどの添加量の調整や圧延の圧下量の調整、さらに熱処理の焼鈍温度の条件を工夫することで従来の熱交換器用アルミフィン材と同等の機械的特性を確保した。

3.2 機械的特性

図2に示すように開発品の引張強度は高純度アルミより高く、3000系合金と同等になった。強度を向上させたことで、しごき性が良好となり、高純度アルミでは不可能であった熱交換器用フィンのプレス成形に成功した。

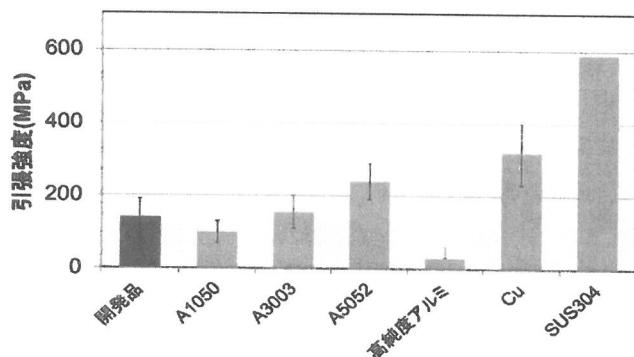


図2 各種板材の引張強度

3.3 耐食性

次に塩水浸漬と酸性およびアルカリ性溶液浸漬にて耐食性比較試験を実施した結果を図3、4、5に示す。

開発品アルミの耐食性として塩水浸漬試験ではA1050の純アルミや3000系のアルミ合金などと比べ腐食速度で1/2～

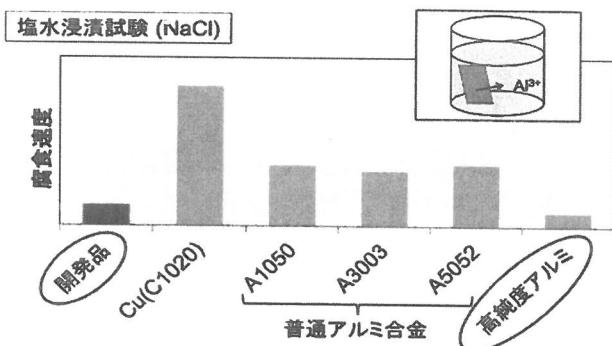


図3 塩水浸漬試験による腐食速度

1/3倍の耐食性を示している。酸性およびアルカリ性溶液を用いた評価でも開発品は高純度アルミと同等の高い耐食性が確認されている。

酸性溶液浸漬試験 (H_2SO_4)

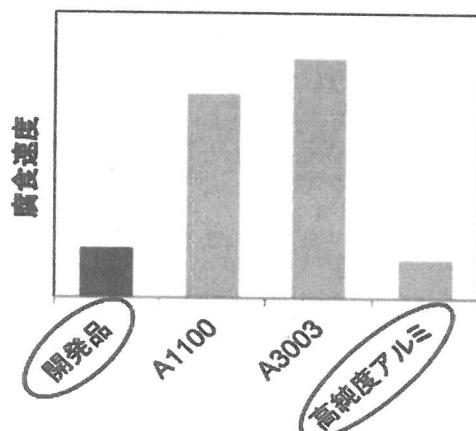


図4 酸性溶液浸漬試験による腐食速度

アルカリ性溶液浸漬試験 (NaOH)

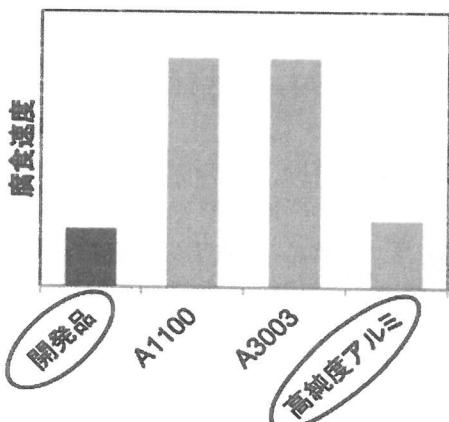
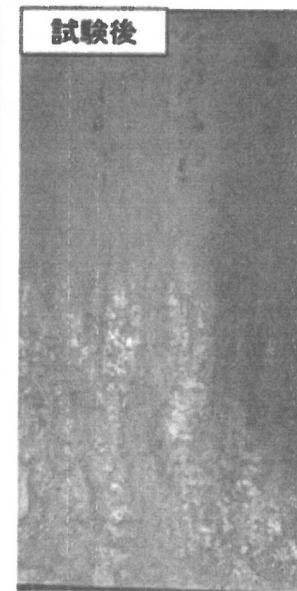
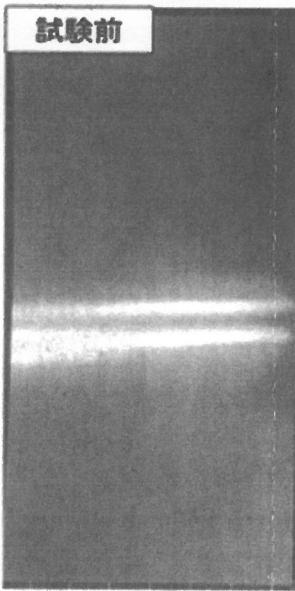


図5 アルカリ性溶液浸漬試験による腐食速度

また、より実環境に近い条件として、酢酸塩水噴霧試験(300hr)も実施した。試験前後の試験片外観写真を図6に示す。

開発品は白色腐食生成物が全面に付着しているが、若干表面金属光沢を残す状態となっている。それに対し比較した純アルミA1100では全面が凹凸のある腐食状態となっており、開発品の方が高い耐食性を示している。



開発品



純アルミ [A1100]

図 6 酢酸塩水噴霧試験 300 時間後の試験片外観写真

分極測定により腐食特性や腐食挙動の評価を行った結果を図 7 に示す。開発品は 3000 系のアルミ合金などと比べ、孔食（穴あき腐食や端面腐食）に対して高い耐食性をもつ評価結果が得られた。

フイン成形後の耐食性を確認するため、開発品と純アルミ A1100 それぞれをプレス成形したフインで噴霧試験評価を行った結果を図 8 に示す。評価はキャス試験で行い、開発品と純アルミでそれぞれ孔食が確認されるまで耐久試験を実施した。純アルミでは 48 時間でフインカラーパートにおいて孔食が複数確認できたが、その時間では開発品の孔食は確認できず、120 時間まで試験を続けたが、最終まで孔食は確認できなかった。

様々な耐食性評価で、熱交換器用フインで従来使用されている純アルミや 3000 系アルミ合金などと比べ開発品は高い耐食性を示すことが確認できた。

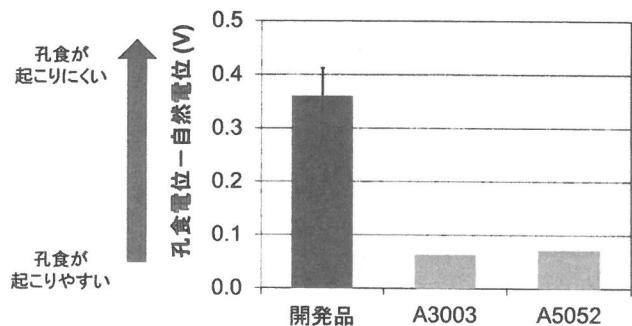
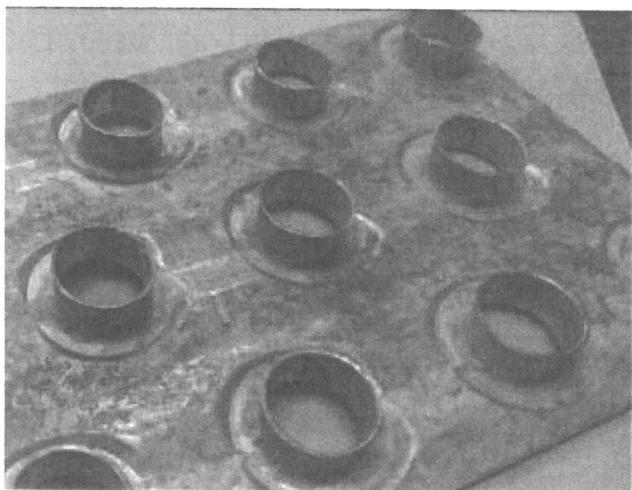
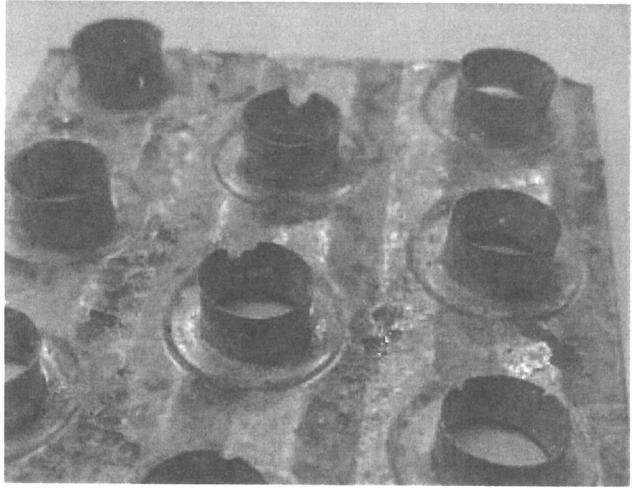


図 7 分極装置による電気化学的な耐食評価試験結果



開発品



純アルミ [A1100]

図 8 フイン成形品の耐食性試験（キャス試験）

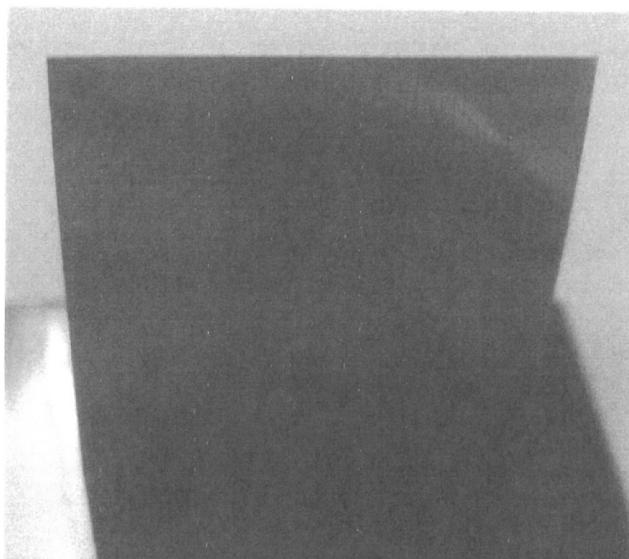
この開発品は過酷な環境下で長期間使用されることを想定しており、熱交換器の性能を維持する為には、アルミ母材の耐食性が高くてもさらに耐食性を向上させる表面処理が必要となってくる。

一般的なクロスフインタイプのフイン材は、表面処理したアルミコイルをプレス成形して組み立てる。そのため、フイン材の端面および打ち抜き部分はアルミ素地がむき出しになる。さらに熱交換効率を上げるためにフインにスリットと呼ばれる凹凸加工をする場合には、更に端面が増えアルミ素地

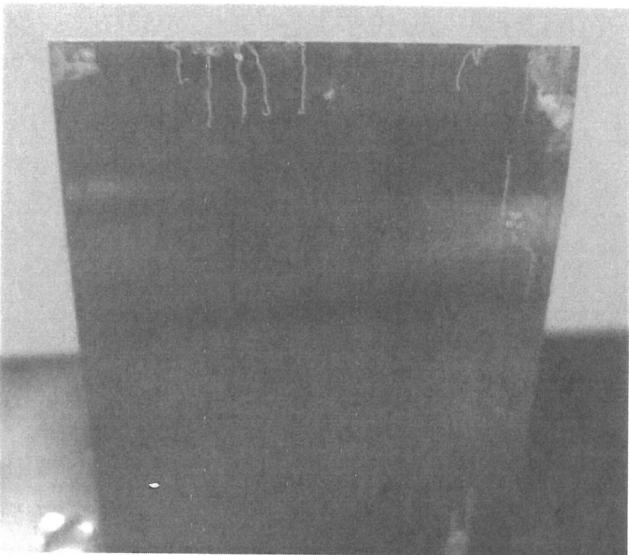
がむき出しになる部分が増える。

長期間メンテナンスが出来ない過酷な環境下で使用される熱交換器では、アルミ素地がむき出しになる端面から腐食が進行する。熱交換器組み立て後に追加塗装する場合もあるが、熱交換器内部にあるアルミ素地部分まで塗装しきれない。また、塗膜の表面欠陥部分からも穴あきなどの腐食が生じるケースもある。この問題点は、耐食性に優れた開発品を母材に用いることで解消することができる。

開発品、純アルミ A1100、それぞれに耐食性被膜を 3 層塗布し、酢酸塩水噴霧試験（300 時間）を実施した。試験後の試験片外観写真を図 9 に示す。



母材 開発品



母材 純アルミ [A1100]

図 9 表面処理材噴霧試験後の端面からの錆成長

両試料ともに腐食は確認されなかったが、試験後 2 週間放置したところ、純アルミ A1100 の端面から糸状の腐食の進行が確認された。実際にフィン加工した製品耐食評価でも同様に開発アルミフィン材での腐食進行が抑制されていることが確認されている。

4. おわりに

高純度アルミをベースにして、Mn や Mg を添加したアルミ合金を開発した。3000 系合金と同等の機械的特性（強度、成形性）を有し、かつ高い耐食性を有することが確認できた。さらに、そのアルミ合金に耐食性の表面処理を行うことで、より高い耐食性を持つ熱交換器用フィン材を開発することができた。

開発アルミフィン材は、アルミ平面部はアルミ母材と表面処理による耐食性、端面ではアルミ母材自体で腐食の進行を抑制する効果を持っている。

今後、銅フィン材からの置き換えや従来のアルミフィン材では対応しきれなかった過酷な環境での用途に拡販していく。

また、熱交換器用フィン材以外でも高い耐食性が要求されるアルミ製品への市場開拓も検討している。

謝 辞

熱交換器用フィンのプレス試験の実施や開発アルミフィン材の販売に多大なるご尽力をいただきました株式会社大倉アクトの皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 館山慶太：軽金属，68（2018），97-104
- 2) 竹本実：軽金属，7（1957），15-25
- 3) 近藤光博ほか：まてりあ，33（1994），62-65
- 4) 星河浩介ほか：住友化学（2013），10-19