

5182 硬質板の曲げ加工性に及ぼす製造因子の影響

Effect of Manufacturing Factors on Bendability of Cold Rolled 5182 Alloy Sheets

鈴木 覚*
Satoshi Suzuki

松浦浩之*
Hiroyuki Matsuura

東海林 了*
Ryo Shoji

概要 5182硬質板は飲料用缶のエンド材、タブ材等に広く用いられている。この飲料用缶エンドにおいて形状の工夫により耐圧強度を向上させたフルフォームエンドが近年の主流になりつつあり、これにより材料を従来に比べ薄肉化できる利点がある。しかしこのフルフォームエンドに成型する場合は非常に厳しい曲げ加工性が要求され、これを満たさないとエンドが内圧により反転したときに亀裂が入り内容物が漏洩する可能性がある。

本研究ではこのフルフォームエンドに適した5182硬質板の製造因子について検討した。その結果、不純物量及び最終冷間圧延率が大きく曲げ加工性に影響を及ぼすことを見出し、これを考えたうえでの対策材の製造方法についてまとめたので報告する。

1. はじめに

5182硬質板は飲料缶のエンド材、タブ材等に広く用いられている。この飲料缶エンドにおいては形状の工夫により耐圧強度を向上させたフルフォームエンドが近年の主流になりつつある。これを図1に示す。フルフォームエンドは従来型エンドに比べカウンターシンク部のRがきつくパネルハイトが高い形状で、従来よりも薄肉化された材料で同等の耐圧強度が得られる特徴がある^{1)~2)}。しかしこの場合材料はカウンターシンクのR部において厳しい曲げ加工を受けるため従来よりも高い曲げ加工性が要求される。また、仮に成形ができたとしても、曲げ加工性が低い材料では表面に発生した微細な割れが塗膜にも伝播し、エンドの耐食性が低下する。また、エンドが内圧により反転した場合、カウンターシンクのR部より亀裂が発生し内容物が漏洩する可能性がある³⁾。これを写真1に示す。これは亀裂発生部の名称をとってチャックウォール割れ又は割れた後の形状をとってワニ口割れと呼ばれる。

筆者らは5182硬質板の製造因子と曲げ加工性の関係を詳しく調べ、これを改善するための適正製造条件について検討した。その結果不純物としてのFe, Si含有量, 最終冷間圧延率, ベーク温度等が曲げ加工性に影響を及ぼすことを見出したので、その結果について報告する。また、これに基づいた対策材の製造も行った。これらの結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 Fe, Si量の影響

5182合金 (Al-4.5Mg-0.35Mn) をベースに Fe 量を 0.06 ~

0.07%, Si 量を 0.06 ~ 0.21% の範囲でふったアルミニウム合金の小型鋳塊(厚さ60mm)を面削, 均質化処理後, 熱間圧延に

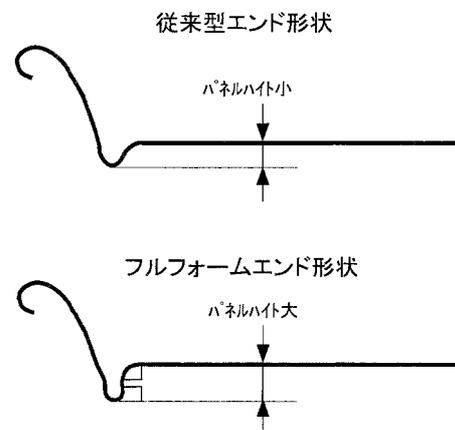


図1 エンド形状
End shapes



写真1 フルフォームエンドにおけるチャックウォール割れの実例
An example of chuckwall cracking of full-form end

* メタル総合研究所 第2研究部 材料研究グループ

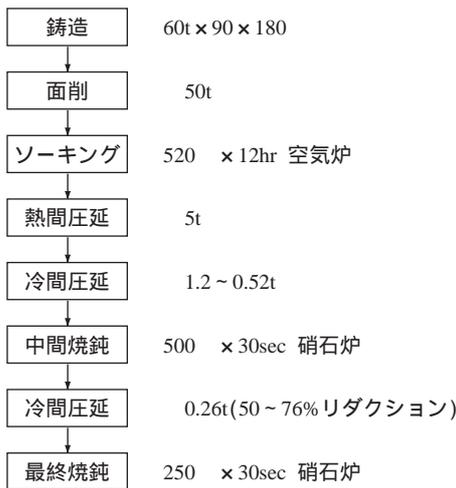


図2 実験材の製造工程
Schematic diagram for preparation process of samples

表1 供試材の化学成分(mass%)
Chemical composition of the specimens

	Si	Fe	Mn	Mg	Al
No.1	0.10	0.03	0.35	4.6	bal.
No.2	0.09	0.06	0.36	4.5	bal.
No.3	0.11	0.11	0.35	4.5	bal.
No.4	0.10	0.23	0.35	4.5	bal.
No.5	0.12	0.39	0.33	4.6	bal.
No.6	0.10	0.52	0.36	4.5	bal.
No.7	0.09	0.84	0.34	4.4	bal.
No.8	0.11	1.07	0.36	4.6	bal.

表2 供試材の化学成分(mass%)
Chemical composition of the specimens

	Si	Fe	Mn	Mg	Al
No.1	0.06	0.23	0.35	4.6	bal.
No.2	0.10	0.24	0.35	4.5	bal.
No.3	0.13	0.23	0.36	4.5	bal.
No.4	0.21	0.23	0.34	4.6	bal.

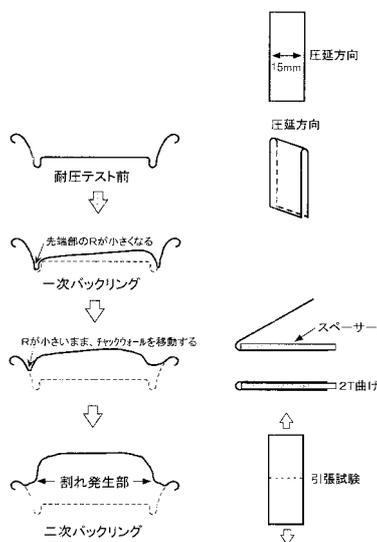


図3 フルフォームエンドの実際のバックリング形態と曲伸試験方法の比較
Comparison between actual buckling of full-form end and bend-stretch test

より厚さ5mmとし、更に冷間圧延により厚さ0.8mmとした。更に中間焼鈍として硝石炉にて500 × 30sec加熱して再結晶させ、その後冷間圧延にて厚さ0.26mmの板材とした。これを缶エンド材の塗装焼き付け加熱をシミュレートするために250 × 30secのバークを施して試料とした。実験材の製造工程のフローチャートを図2に示す。また、実験材の合金組成を表1、2に示す。

曲げ加工性は曲伸強度を測定することにより評価した。図3に示すように圧延方向と平行に折り目がつくように180°の0.26mmR曲げを行った後、これを元に戻して引張試験を行うものであり、加工性の劣る材料ほど曲げ加工でダメージを受け、曲伸後の引張強度が低下することを利用したものである。また、この試験方法は図3左に示したようにフルフォームエンドの実際のバックリング時のカウンターシンク部の曲げ加工部の挙動をシミュレートしているものである。試験はn=10で行った。

2.2 最終冷間圧延率の影響

5182合金(Al-4.5Mg-0.35Mn-0.23Fe-0.13Si)を用い、中間焼鈍板厚をふって最終冷間圧延率を50%から76%の範囲で変化させた材料(バーク条件は(1)と同様)について同様に評価を行った。

3. 結果及び考察

3.1 Fe, Si量の影響

図4にFe量と曲伸強度の関係を示す。明らかにFe量が増加するにつれ曲伸強度が低下していくことがわかる。また、写真2にはこのときの最終板のミクロ組織の変化について示した。Fe量と共に結晶粒径が小さくなっていくことがわかる。また、機械

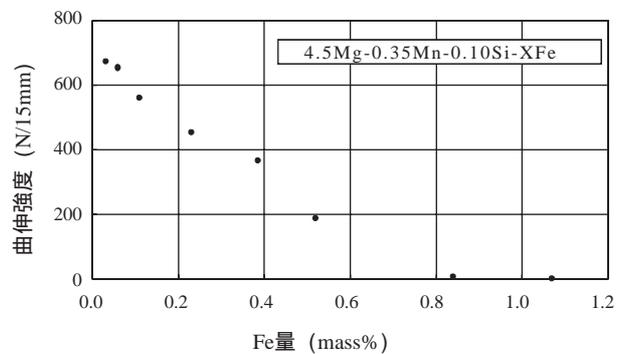


図4 Fe量と曲伸強度との関係
Relationship between Fe content and bend-stretch strength

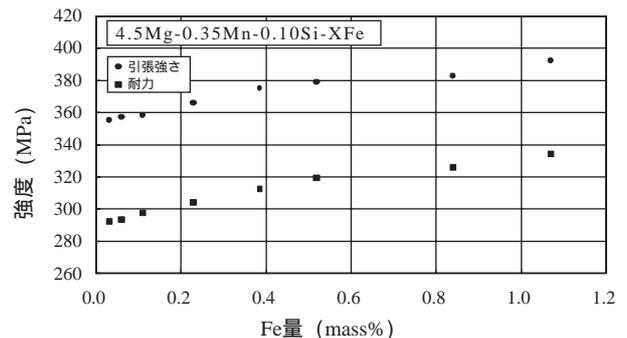


図5 Fe量と強度の関係
Relationship between Fe content and tensile/yield strength

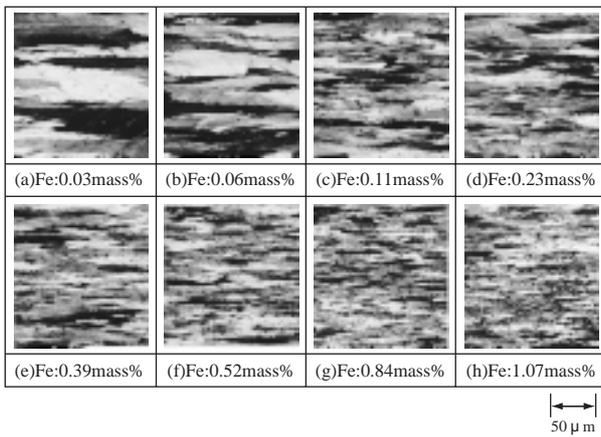


写真 2 最終板の結晶粒径に及ぼす Fe 量の影響
Optical micrographs showing effects of Si content on the grain size of final stock

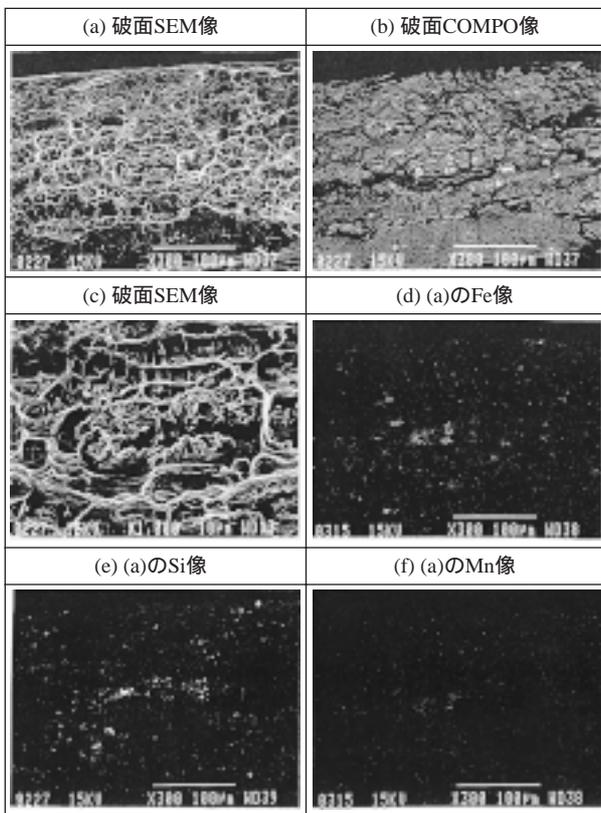


写真 3 曲伸試験後の破面
Fracture surface of samples after bend-stretching

的性質については図5に示すようにFe量と共に強度が上昇していくことがわかる。また、当然ながらFe添加に伴い晶出物量は増加しているが、曲伸強度の減少が結晶粒微細化、強度の上昇、晶出物の増加のどれに対応した現象なのかは明確ではない。しかしながら一般に結晶粒が微細化すれば曲げ加工性は向上するものと考えられるので、強度又は晶出物の影響であると考えられる。ここで写真3に曲伸試験後の破面を観察したものを示すが、破面には晶出物が大量に観察された。よって曲伸強度測定時の引張試験により試験片が破壊される際には晶出物が大きく関与しているように思われる。図6にはFe量と晶出物個数の関係を図7には晶出物個数と曲伸強度の関係を示す。晶出物個数と曲伸強度の相関が非常に高いことがわかる。

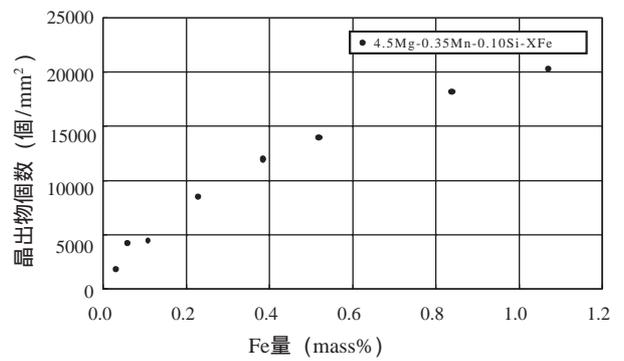


図 6 Fe 量と晶出物個数の関係
Relationship between Fe content and the number density of dispersoid

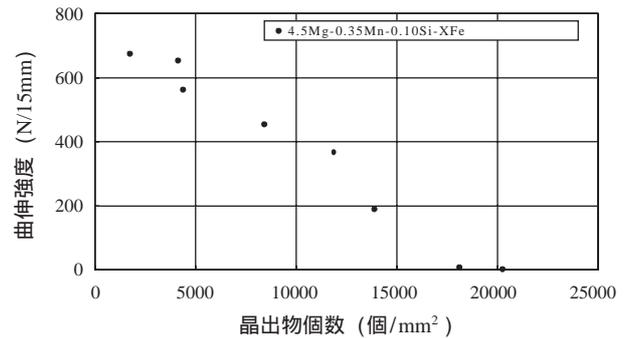


図 7 晶出物個数と曲伸強度との関係
Relationship between the number density of dispersoid and bend-stretch strength

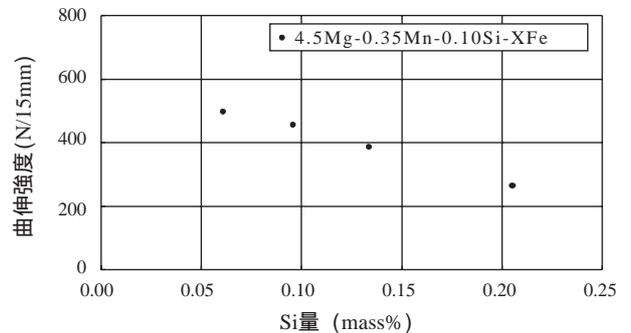


図 8 Si 量と曲伸強度との関係
Relationship between Si content and bend-stretch strength

つぎにSi量と曲伸強度の関係について図8に示す。やはりSi量と共に曲伸強度が低下していくことがわかる。また、写真4にはSi添加に伴う最終板の結晶粒径の変化を示すが、Siの添加に関しては結晶粒径にはほとんど変化が見られなかった。また、機械的性質への影響については図9に示す。強度もFeの場合と違って大きな変化は見受けられない。よってSi添加の場合は強度や結晶粒の影響なく晶出物が曲伸強度に与える影響が取り出せているものと考えられる。そこでこの場合もFeの場合と同様に晶出物の個数で整理したものを図10に示す。やはり曲伸強度との相関が高いことがわかる。

この晶出物の影響について詳しく調べるため曲伸試験片の引張試験直前の曲げ戻し部の晶出物観察を行った。これを写真5に示す。これを見ると晶出物の周りに空隙が存在し、また、晶出

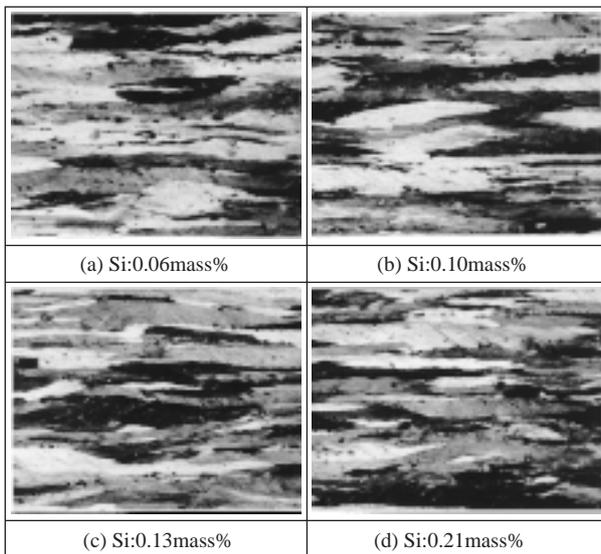


写真4 最終板の結晶粒径に及ぼすFe量の影響
Optical micrographs showing effects of Fe content on the grain size of final stock

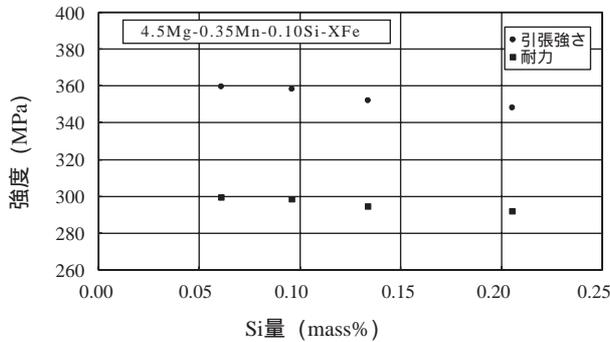


図9 Si量と強度の関係
Relationship between Si content and tensile/yield strength

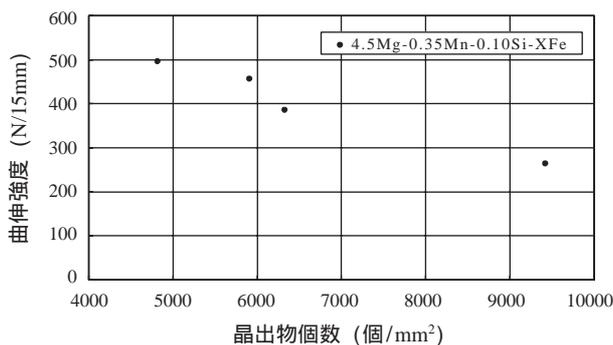
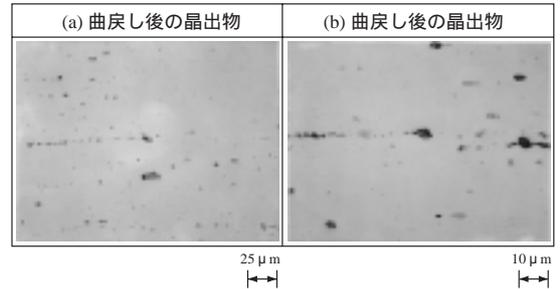
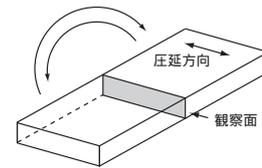


図10 晶出物個数と曲伸強度の関係
Relationship between the number density of dispersoid and bend-stretch strength

物そのものや晶出物間に亀裂が発生し、その亀裂同士が連結し、巨大な亀裂へ成長しているのが観察された。これを模式的に示したのが図11である。Fe, Siといった晶出物形成元素が増加すると晶出物個数が増加し、晶出物間の亀裂伝播が容易になるために曲伸時のダメージが大きくなり、曲伸強度が低下するものと考えられる。



曲戻し後の試験片の晶出物観察結果(光顕)

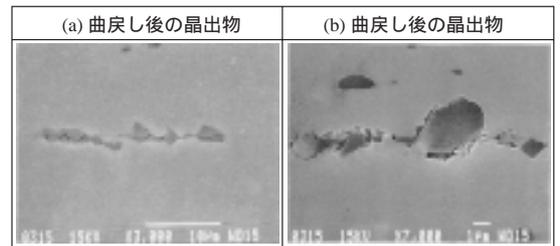


写真5 曲戻し後の試験片の晶出物観察結果(SEM)
SEM images of dispersoids after bend-stretch test

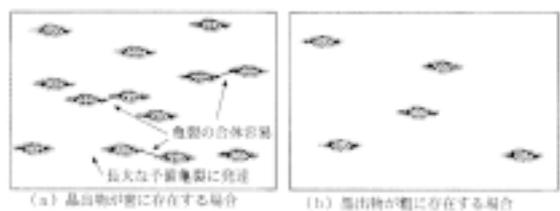
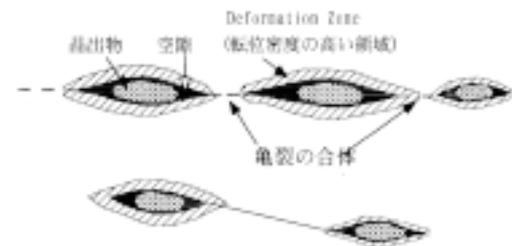


図11 晶出物の個数による亀裂の伝播の容易さの違い
Schematic diagram of crack propagation depending on the number of dispersoids

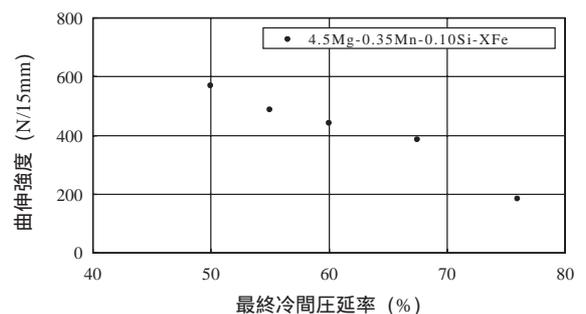


図12 最終冷間圧延率と曲伸強度との関係
Relationship between final cold reduction and bend-stretch strength

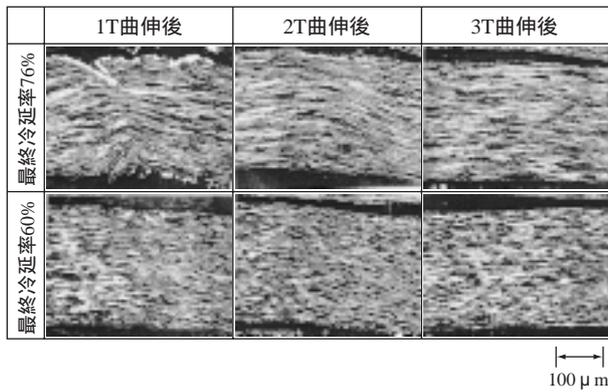


写真 6 最終冷延率の異なる材料の曲伸後のミクロ組織
Microstructure of samples with different cold reduction ratios after bend-stretching

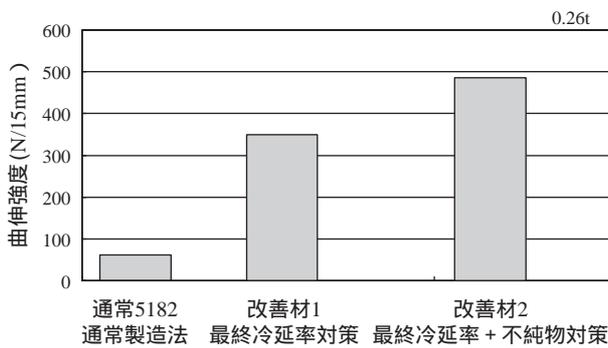


図 13 工業規模での対策材の曲伸強度
Comparison of bend-stretch strength of manufactured samples

3.2 最終冷間圧延率の影響

図12に最終冷間圧延率と曲伸強度の関係を示す。明らかに最終冷間圧延率が高くなるにつれ曲伸強度が低下することがわかる。これについては曲伸試験片を本来の切り出し方向に対し90°変えたサンプルで曲伸後のメタルフローを観察した。結果を写真6に示す。最終冷間圧延率が高いサンプルは曲伸後にメタルフローの乱れが観察された。一方最終冷間圧延率が低いサンプルはメタルフローの乱れが少ないことがわかる。これは最終冷間圧延率が高くなると曲げ加工時に不均一に変形していることが原因であると考えられる。そのために曲伸部分のメタルフローの乱れがダメージとして残留しこの部分を脆弱化させるものと考えられる。

3.3 対策材の製造方法

以上のことから曲伸強度の改善には不純物の規制、及び最終冷間圧延率の低減化が効果があるものと考えられる。

しかしながら最終冷間圧延率の低減化はそのまま強度の低下につながる。この場合キャンエンドとして重要な特性である耐圧強度が低下してしまうことになる。よって最終冷間圧延率の低減化による強度の低下を別の方法で補う必要がある。

この場合は晶出物を増加させないような元素で強度を補えばよいことになり、MgやCuといった固溶強化成分が望ましいと考えられる。実際にこの考え方に基づいて対策材を工場規模で製造した。対策材としては最終冷間圧延率対策のみをした対策材Aと最終冷間圧延率対策及び不純物対策を行った対策材Bを製造した。この結果を通常の製造条件で製造した比較材と共に図13に示す。明らかに最終冷間圧延率の対策により曲伸強度が向上しており、不純物対策を行うと更に改善されることがわかった。

4. まとめ

- (1) 不純物元素としてのFe, Si量が増加すると晶出物個数が増加するために、曲げ加工を受けた際に晶出物及びその近傍に亀裂が入り、曲げ加工部を脆弱化させ、結果として曲伸強度を低下させる。
- (2) 最終冷間圧延率を増加させると、曲伸の際に不均一に変形し、曲伸強度が低下する。
- (3) 不純物を規制し、最終冷間圧延率を低減化するとともにMg, Cuといった固溶強化成分を増量することで従来材と同等の強度で曲げ加工性を改善することができる。

5. おわりに

以上は現在フルフォームエンド材 FE482 として製造している材料の開発経過を含んだものであるが、今後更にフルフォームエンドの比率は高まる傾向にあると思われる。また、更にこのフルフォームエンドは小径化、薄肉化が進みつつあり、こういった製品にも対処できるように検討を続けていく。

参考文献

- 1) 大西健介:アルミニウム, vol.1, 1 (1994), 9.
- 2) 日本国特許 第 2739807 号
- 3) 日本国公開特許公報, 平 5-302139 号