

(解説)

IT・電機機器用アルミニウム合金板の開発動向

Technical Trends in Aluminum Alloy Sheets and Plates for IT and Electric Instruments



小林一徳*

Kazunori KOBAYASHI

Aluminum alloy sheets and plates are widely used for IT and electric instruments. High strength Al-Mn alloy "K alloy series" are applied for Li-ion battery cases and Al-Mg alloy "5X30" is applied for the body of digital cameras and cellular phones. Al-Mg alloy plates "ALJADE" and "ALHIGHCE" have high accuracy in thickness and excellent flatness, so they are used for semiconductor and liquid crystal display manufacturing facilities. Properties and features are described in regards to the required qualities.

まえがき = 近年、IT・電機機器の開発、製品化の進展に伴って、そのきょう体や構造部材へのアルミニウム合金板の使用が年々増加している。携帯電話やデジタルカメラなどの小型モバイル製品には、小型化、軽量化の要求にこたえるためにアルミニウム合金薄板が適用され、半導体/液晶製造装置や検査・計測機器のような大型の産業用機器・装置類においては、軽量化、加工性などの面からアルミニウム合金厚板が適用されている。

当社では、主に携帯電話の電源として使用されるリチウムイオン電池のケース用材料として、高強度アルミニウム合金板「Kシリーズ」、ならびに主にデジタルカメラのきょう体などの外観品質が重要視される用途に対応した「5X30」を開発した。また、主に半導体/液晶装置用構造材料への要求にこたえて、板厚精度が優れ、切削加工時の変形の少ない高精度厚板「アルジェイド」、「アルハイス」を開発した。

ここでは、これらアルミニウム合金板の特徴ならびに使用製品に応じた材料特性などについて解説する。

1. リチウムイオン電池ケース材

リチウムイオン電池は1990年代初頭に開発され、小型モバイル用途、とくに携帯電話に多く搭載され、急速に生産数量を伸ばしてきた。そのケースには当初鋼板が使用されていたが、1995年頃よりアルミニウム合金板が使用されるようになり、現在に至るまで電池の軽量・小型化に大きく寄与してきている。

まず、ケース素材を鋼板からアルミニウム合金板に代えることにより電池重量が3割程度軽くなる。さらには、アルミニウム合金の強度を高めることによりケースの薄肉化が可能となり、電池重量の軽減とともに、電池内容物をできるだけ多く装入することによる高容量化にも貢献してきた。図1にアルミニウム合金素材厚さとケ

ースの肉厚の変遷を示す。アルミニウム合金使用初期には、素材厚さが0.6~1.0mmに対して、ケース肉厚は0.4mm程度であったが、薄肉化が急速に進展して、近年は肉厚が0.2mmを下回る程度まで薄くなっている。当初は3003合金が使用されていたが、その後薄肉化に対応するために強度の高い3005系合金、現在ではさらに合金濃度を高めた高強度材も開発・実用化されている。

現在の小型電池ケース用アルミニウム合金板に要求される主な特性は、高強度・高成形性である。具体的には、1) 薄肉化した電池の使用環境(充放電、温度)における電池内圧の上昇などに対抗する強度および耐クリープ性、ならびに2) 絞り・しごき加工により薄肉まで加工可能な成形性である。すなわち、電池として実使用される時には充放電が繰返され、さらには例えば夏季の暑い自動車内に携帯電話が放置されるといった場合には温度が上昇し、電池反応の高まりとともに気泡が発生して内圧が上がり、電池の膨れ現象が生じる。膨れが大きくなると、組込み箇所が変形して電池の交換ができなくなったり、配線に不具合が生じるなどの問題が起きる。この膨れ現象は、内圧がアルミケースの弾性変形領域を越え

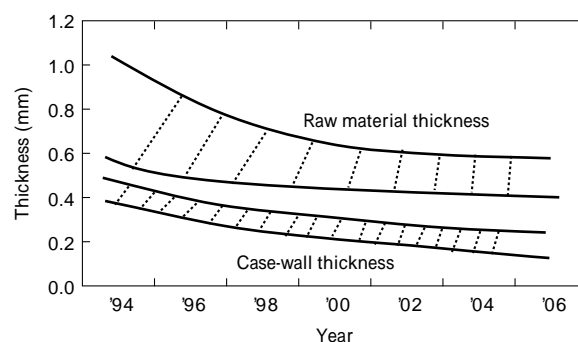


図1 電池ケースの肉厚とアルミニウム合金板素材の厚さの変遷
Fig.1 Trends of battery-case-wall thickness and raw material thickness

*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

ない範囲でも進展するため、クリープ現象が発現したものと推定されることから、膨れ抑制のためにはケース材に対して高強度性と耐クリープ性が求められる。

一方、角型ケースへの成形加工は、トランスファプレス機を用いて、多段の連続成形によりなされる。初期工程は絞り加工が中心で、中段からはしごき加工も加わり、50%以上の減肉がなされる。この複雑な成形工程において、割れ、くびれ、寸法精度不良などの不具合が生じないことが望まれる。また、ケースの中に電池内容物を充填した後にフタで封止するが、この接合はパルスレーザー溶接が用いられることから、溶接性にも優れた合金板が要求される。

当社の電池ケース用アルミニウム合金板はこれらの要求に基づいて開発されたものである。表1に当社材のラインアップを示す。ケース薄肉化の要求に応じて、Al-Mn系3000系合金をベースとして、MgとCuを添加したL3X15合金（JIS3005合金相当）、およびK1、K5合金である。電池ケース用としては最も古い合金となった3003合金の耐力が180MPaであるのに対して、L3X15合金では205MPa、K1、K5合金は245MPaと70MPa近く高強度化したものである。

このK1、K5合金を用いたケースは、3003合金製ケースよりも非常に硬い。また、これら各合金の強度（プレス加工による肉厚減少を想定した冷間圧延50%後の耐力）とクリープ特性（片持ばりでのクリープ試験）の関係を図2に示す。3003合金、L3X15合金、K5合金、K1合金の順に強度が高く、耐クリープ性にも優れ、電池ケースとして実使用された場合にもこの順に膨れ量は小さくなると推測される。この耐クリープ性が向上するメカニズムは、主たる添加元素であるCuが合金内に固溶して、転位を固着して移動を抑制するためであると推定される。K1、K5合金は、電池メーカより非常に高い評価

表1 リチウムイオン電池ケース用アルミニウム合金板（当社開発）
Table 1 Developed aluminum alloy sheet for Li-ion battery case

	Trade name (Alloy code)	Alloy system	Temper	Mechanical properties		
				T.S. (MPa)	Y.S. (MPa)	El. (%)
Developed	K1	Al-Mn-Cu-Mg	H14	250	245	3
	K5	Al-Mn-Cu-Mg	H14	250	245	3
	L3X15	Al-Mn-Mg-Cu	H14	210	205	2
Conventional	3003	Al-Mn	H16	190	180	4

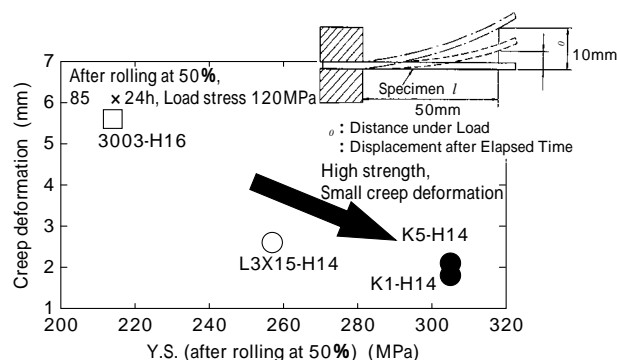


図2 電池ケース用アルミニウム合金板の強度とクリープ特性の関係
Fig. 2 Relationship between strength and creep characteristics of aluminum alloy for battery-case

を受け、薄肉・高容量の電池を中心に量産使用されている。今後も多くの製品に使用されていくものと思われる。また、将来的には自動車用途への拡大も期待され、小型・軽量化を実現する素材材料として、アルミニウム合金板の今後のさらなる技術発展が望まれる。

2. 光学・電子機器きょう体材

デジタルカメラに代表される光学機器、ならびに携帯電話やノートパソコンに代表される精密電子機器のきょう体などへのアルミニウム合金板の使用が年々増してきている。例えば、図3に示したように、コンパクトデジタルカメラの国内メーカ出荷台数の2003年からの推移¹⁾を見ると、2007年には9,000万台を越えている。その中でカメラメーカ各社は激しい競争を繰広げ、高性能化、高画素化、あるいは小型・軽量化を進めてきた。また、近年ではカメラユーザへ大いにアピールする上質で洗練されたデザインも実現してきている。とくに、アルミニウム合金板を使用したきょう体は、金属ならではの高級感、すなわち高輝度・透明感にあふれたもので、かつ小型・軽量化も実現するものである。

当社ではこのような優れた外観品質の要求にこたえるために、5000系（Al-Mg系）合金である「5X30」合金を開発した²⁾。「5X30」合金は、4.5%程度の高濃度のMgの含有と連続焼鈍処理等の最適な製造技術の開発により、表2に示すように高強度と高成形性を兼備している。また、不純物の抑制、製造工程における組織制御により、寸法・形状が均一な金属結晶粒組織が得られている。均一な結晶粒組織により、梨地処理にて光沢度の高い艶消し面となる。不純物の制御により、透明感の高い陽極酸化処理外観が可能である。

従来のアルミニウム製きょう体には、純アルミニウム1050が多く用いられてきたが、表面梨地処理において結

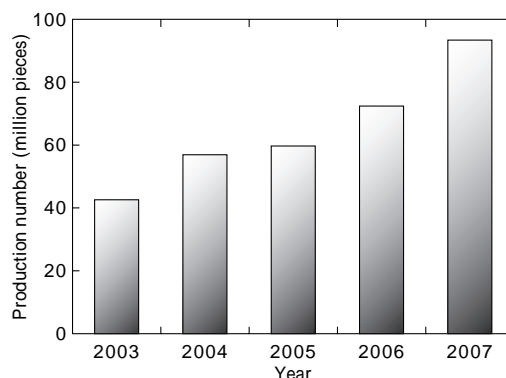


図3 コンパクトデジタルカメラの国内メーカ生産の推移
Fig. 3 Change of number of pieces of compact digital camera produced by domestic camera makers

表2 「5X30」アルミニウム合金板の代表的材料特性
Table 2 Properties of "5X30" aluminum alloy sheet

	Alloy	Temper	Mechanical properties			Formability	
			T.S. (MPa)	Y.S. (MPa)	El. (%)	Erichsen value ^{*)} (mm)	LDR
Developed	5X30	T4	270	120	32	10.2	2.10
Conventional	1050	H24	120	115	20	9.2	2.10

^{*)} measuring 1.0mm thickness sheet

晶粒内・粒界ともエッチングされるため、表面の凹凸が均一ではなく、かつばやけたような状態であった。しかし、図4に示すように、「5X30」合金に対して梨地処理を施すと、結晶粒界が優先してエッチングされて、結晶粒の輪郭がくっきりと浮き出た均一な外観となり、これ

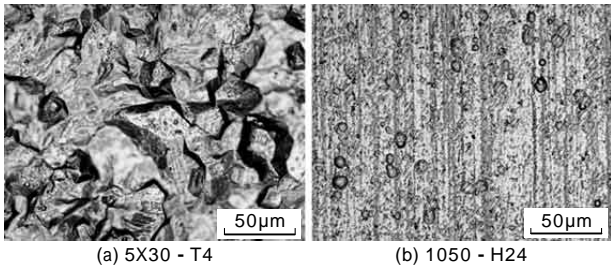


図4 「5X30」アルミニウム合金の化学梨地処理後の金属結晶の輪郭 (20%NaOH液, 80℃ 処理)
Fig. 4 Outline of grain structure after satin finished surface treatment of "5X30" aluminum alloy sheet (20%NaOH solution, at 80℃)

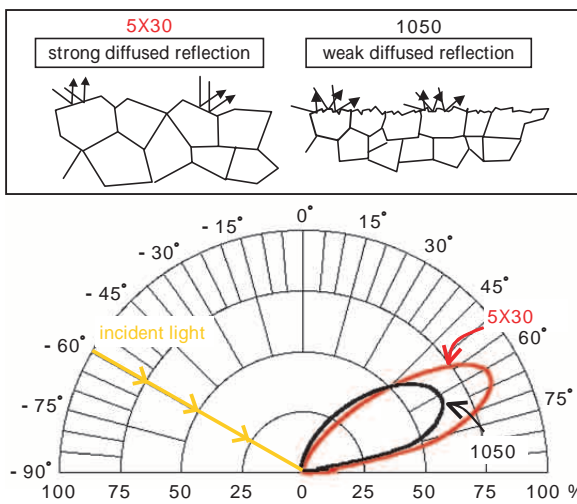


図5 3次元変角光度計を用いた拡散反射成分測定結果
Fig. 5 Diffused reflection of "5X30" aluminum alloy sheet measured by Goniophotometer



Digital camera (by CANON INC.)



Cellular phone housing (by SHARP CORPORATION)

図6 「5X30」アルミニウム合金をきょう体に用いたデジタルカメラおよび携帯電話の例
Fig. 6 Digital camera and cellular phone housing using "5X30" aluminum alloy sheet

が高輝度梨地を実現した。

このような人間の目に映る高輝度・透明感・高級感がどのようなメカニズムで成立したかを定量的に把握するために3次元変角光度計を用いた拡散反射成分の測定を行った。「5X30」合金と1050に梨地処理し、陽極酸化処理した表面を対象に測定した結果を図5に示す。「5X30」合金では、60°を中心として40~80°の範囲において、1050の1.4倍程度強い拡散反射量があることを示している。均一で結晶粒の輪郭が浮出した組織などに起因して、1050より光輝性の高い、光沢度の高い面になっていることが明瞭である。

この「5X30」合金をきょう体に使用したデジタルカメラならびに携帯電話きょう体の外観を図6に示す。ユーザへのアピール度が極めて高く、持つ喜びを感じる製品として好評を得ている。また、本技術は平成16年度日本アルミニウム協会開発賞を受賞した。今後もデザイン重視の要望に対し、アルミニウム合金板の特長を生かした新しい製品の開発が期待されている。

3. 半導体/液晶製造装置用アルミニウム合金厚板材

従来より、半導体/液晶製造装置の真空チャンバや構造部材などにはアルミニウム合金厚板が多く用いられている。アルミニウム合金は鉄鋼材料や銅合金材料と比較して装置の軽量化を実現する。半導体/液晶製造装置の部材加工では、マシニングセンタを用いて、表面切削加工、孔あけ加工、溝加工が中心に行われる。アルミニウム合金は切削抵抗が小さく³⁾、熱伝導率も高いため切削加工時の熱の除去が容易であることから、周速1,200m/分以上の高速での切削が可能であり、切込量や送り量を大きくとることができる。仕上げ面の品位や精度も高く、粗さ10µm程度の加工精度も容易である。また、表面処理も容易で耐食性が良く、ガス放出係数が低いことから、アルミニウム合金の使用は拡大している。

一方、液晶テレビやパソコン用液晶ディスプレイの大型化に伴い、液晶ガラス基板からより多くのパネルを効率的に採取するために、製造装置も年々大型のものが開発されてきた。図7にガラス基板の大型化状況を示

550	3rd generation	650			
680	880	4th generation			
1,100	1,250	5th generation			
1,660	1,850	6th generation			
2,030	2,200	7th generation			
2,300	2,600	8th generation			
3,000	3,300	10th generation			

図7 液晶ガラス基板の大型化状況 (“呼び世代”の推移)
Fig. 7 Trend in glass substrate size

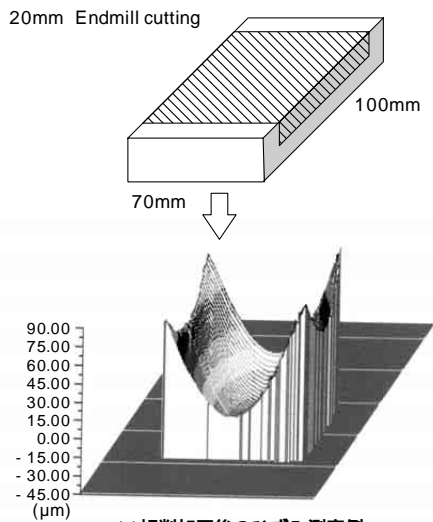
す。液晶製造装置におけるアルミニウム合金板の使用量は、第5世代でおよそ15トン/月、同様に第6世代では60トン/月、第8世代では90トン/月である。とくに、2.5%程度のMgを含有する5052-H112合金は、半導体/液晶製造装置の構造材として十分な強度および寸法精度を有するため、国内で最も広く使用されている。

当社では、こういった装置用構造材料への要求にこたえて、高精度なアルミニウム合金厚板を開発した。当社の厚板「アルジェイド」、「アルハイス」、「アルハイス83」の強度、板厚ごとの板厚公差、平坦度ならびに製造範囲を表3にまとめて示す。熱間圧延条件および精整工程の厳密な制御を中心として開発した「アルジェイド」

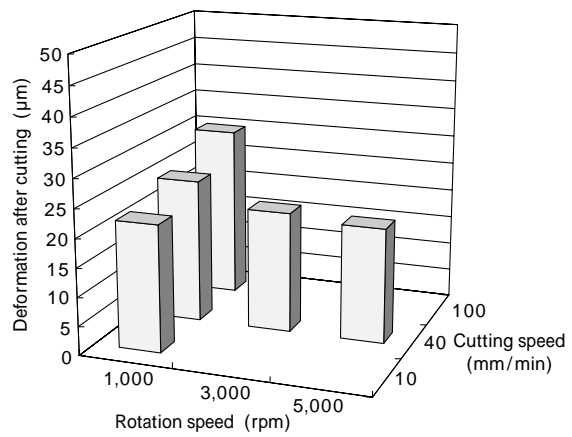
表3 高精度アルミニウム合金厚板の仕様と製造範囲
Table 3 Specification and product size of aluminum alloy plates

	Tensile strength (MPa)	Thickness tolerance (mm)										Flatness (mm/m)
		4	4 to 5	5 to 6	6 to 8	8 to 12	12 to 20	20 to 29	29 to 50			
ALJADE	> 216(10mm ¹)	±0.10	±0.12	±0.15	±0.17	±0.20	±0.30	±0.40	±0.50			0.6
	> 196(20mm ¹)											
ALHIGHCE	> 216(10mm ¹)	4, 5, 6			7, 8, 10, 12	15	16, 18, 20, 22	25, 30, 35, 40, 45, 50				0.2
	> 196(20mm ¹)	±0.04			±0.05	±0.08	±0.10	±0.15				
ALHIGHCE83	> 275	4, 5, 6			8, 10, 12	15	20	25, 30				0.4
		±0.06			±0.09	±0.12	±0.15	±0.20				
JIS 5052-H112	> 195(4 to 13mm ¹)	4 to 5	6	7, 8	10	12, 15, 16	18, 20, 22	25	30, 35	40	45, 50	7
	> 175(13 to 50mm ¹)	±0.35	±0.45	±0.50	±0.60	±0.70	±0.80	±0.90	±1.0	±1.1	±1.3	

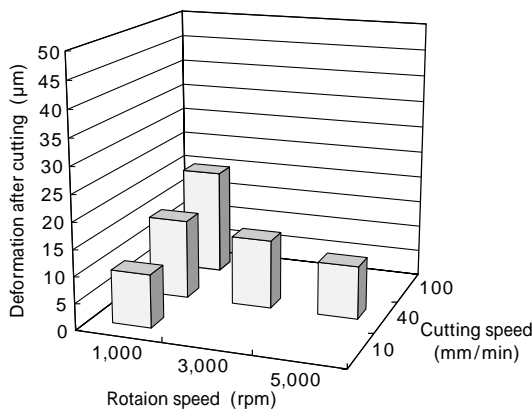
	Product size	
	Thickness (mm)	Width × Length (mm × mm)
ALJADE	4 ~ 50	1,000 × 2,000
		1,250 × 2,500
		1,525 × 3,050
ALHIGHCE	4 ~ 50	1,000 × 2,000
		1,250 × 2,500
		1,525 × 3,050
ALHIGHCE83	4 ~ 30	1,000 × 2,000
		1,250 × 2,500



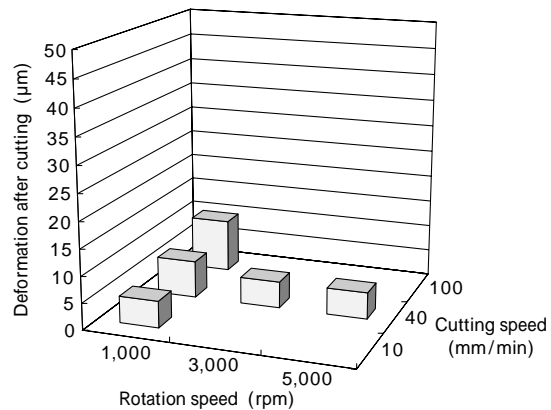
(a) 切削加工後のひずみ測定例
(a) Estimation of deformation after cutting



(b) JIS5052-H112



(c) アルジェイド
(c) ALJADE



(d) アルハイス
(d) ALHIGHCE

図8 アルミニウム合金厚板の切削加工ひずみ

Fig. 8 Deformation after cutting of aluminum alloy plates

は、JIS5052-H112 合金と比べて、板厚精度、平坦度の公差範囲はそれぞれ 1/3 以下、1/5 以下に改善されている。また、板内部の残留応力も抑制させているため、切削加工時の変形が極めて小さく、表面切削や溝加工により所定形状に仕上げる際に、加工工程の簡略化やひずみ矯正の削減が可能となる。

「アルハイス」は、板厚精度および平坦度をさらに向上させており、表面切削をせずとも素材のまま高精度部材としての使用が可能である。

例えば、図 8 に厚板からエンドミルを用いて溝加工を施した後のひずみ（反り）発生の測定例を示す。(a) は加工後に平面度測定器により測定した結果を示す。アルジェイドの加工ひずみは((c) 図)、JIS5052-H112 合金((b) 図)の 1/2 ~ 2/3 であり、アルハイス((d) 図)では 1/3 以下である。これは、板厚方向の応力分布において表面と中心部の差異が小さいことに起因する。また、回転速度を上げることや、送り速度を下げることもひずみ低減に有効である。

「アルハイス 83」は、5083 合金をベースとして開発したもので、板厚精度および平坦度が高く、非熱処理合金中で最高の強度を有するため、室温での使用はもとより、200 以上の高温用途、または部品製造工程で 200 以上の焼鈍工程が入る場合には、このアルハイス 83 の適用が推奨される。

むすび=アルミニウム合金板は、IT・電機機器の製品きょう体や製造装置の構造部材として多用され、その使用目的や環境に応じた要求にこたえるために、特長・特性が年々向上されている。リチウムイオン電池はそのエネルギー密度の高さから、今後はハイブリッド車などの自動車用途への使用拡大が期待され、携帯電話やデジタルカメラなどのモバイル製品も堅調に伸びていくと予測される。その中でアルミニウム合金の優れた特長を生かした開発が望まれると考えられる。高精度厚板については、太陽電池パネル製造装置などの環境対応向けにも使用され始めている。また、国内のみでなく東アジア・東南アジアでも多用され始め、構造部材としての一層の使用拡大が期待される。

参 考 文 献

- 1) 有限責任中間法人カメラ映像機器工業会ホームページ「統計」(<http://www.cipa.jp>, 2008 年 8 月 8 日閲覧)
- 2) 小林一徳ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.1 (2004) p.119.
- 3) (社)日本アルミニウム協会：アルミニウムハンドブック(第 7 版), (2007) p.124.