解説

VTR シリンダー用アルミニウム合金の諸特性

浅野 和彦*・宮上 晃*・有井 泰隆*

Properties of aluminum alloys for VTR cylinder

Kazuhiko ASANO, Akira MIYAGAMI and Yasutaka ARII

1. はじめに

近年、VTR 市場の急激な拡大が注目を集めている。図1は VTR の生産台数の推移を示すが、1975年以降ほぼ指数関数に近い形で増加していることがわかる。'82年に1,000万台をはじめて越えたが、その2年後の'84年には早くも2,500万台が見込まれるに至っている。VTR の大半は輸出されており、日本国内での普及率は30%程度なので、VTR 市場の伸びは当面続くものと考えられる。

周知のように、VTR には記録・再生用の磁気ヘッドを組込んだシリンダーやディスクが搭載されており、これがアルミニウム合金製であるため、VTR の市場は同時にアルミニウム合金の市場でもある。VTR シリンダーの単体重量はメーカーや機種によっても異なるが、年間2,500万台の生産とすると5,000トン/年を越える規模と見積られている。

VTR シリンダー用の材料としてはこれまで多くのものが検討されてきた。開発当初は陽極酸化処理を施したアルミニウム鋳物、硬質クロムメッキした銅合金、オーステナイト系ステンレス鋼などが使用された。その後AC5A, AC8A, AC8Bなどのアルミニウムが使われたが、ピンホールや巣などの casting 欠陥が問題となつた。現在の家庭用カセット VTR のシリンダーは一部の鋳物と2218 (Al-Cu-Mg-Ni系)合金の鍛造棒または押出棒からの冷間鍛造品が多い。

シリンダー用の新しい合金も素材メーカーを主体に開発が進められているが¹⁾、その詳細はほとんど公表されていない。本稿の目的は VTR シリンダー用アルミニウム合金の紹介であるが、上述の事情にかんがみ、現在市場で一般的に入手できる材料に限定してその特性をまとめてみた。

図1 VTR の生産台数の推移

2. 磁気テープの構造と走行機構

VTR シリンダー材の特性をみるに先だつて、磁気テープの構造とその走行機構をみておくことにしよう。それらがシリンダー材として要求される特性を大きく支配しているからである。

衆知のように、VTR は磁気テープに磁気ヘッドを接触させて映像と音声磁気パターンとして記録する装置

* (株)神戸製鋼所 (下関市)。Kobe Steel Ltd. (Simonoseki)。

受理日: 昭和59年11月21日

である。その心臓部は回転磁気ヘッド部と磁気テープを安定に走行させるための案内ドラムから構成されている。家庭用 VTR には、1975年5月ソニーが開発した B マックス方式と1976年9月日本ビクターが発表した VH S 方式の2種があり、シリンダーの構造および走行機構にじゃっかんのちがいがあある。

図2は VHS 方式のテープ走行系を示す²⁾。この方式では磁気ヘッドを組み込んだ上部回転シリンダーと下部固定シリンダー系を採用している。下部シリンダーには写真1に示すように斜めのテープガイドがあり、テープはこのガイドの下縁を基準として走行する。上部シリンダーを回転させることによりテープとシリンダーの間にエアギャップを発生させ、テープの走行安定性を保つ工夫がなされている。

β マックス方式ではシリンダー系は上部固定シリンダー、回転ヘッドディスク、下部固定シリンダーから構成されている。この場合にもテープは下部シリンダーのガイドに沿って走行することになっている(図3²⁾)。

一方ビデオテープの多くはベース(ポリエステル)上にバインダーを介して粉末の磁性体を塗布した構造になっている。写真2に市販の $\frac{1}{2}$ インチテープの表面状態を

示す。メーカーにより磁性体がバインダー中に埋没しているものから表面に多量に露出しているものまで各種のテープが市販されている。

磁性体は酸化物であり、一般に硬度が高い。この酸化物がシリンダー上を摺動するため、シリンダー材には耐摩耗性が必要とされることになるのである。

図3 β マックス方式におけるテープ走行系
(原²⁾による)

図2 VHS 方式におけるテープ走行系
(原²⁾による)

写真1 VHS 方式の VTR シリンダー

A 社製

B 社製

1 μ

写真2 市販 VTR テープの表面状況

3. シリンダー用合金の一般的特性

代表的な VTR シリンダー用アルミニウム合金の組成を表 1 に示す。いずれも Al-Cu-Mg-Ni をベースとし、鋳物はそれに Si を添加しているものが多い。Ni を含有しているのが他の一般的アルミニウム合金と異なる共通の特徴である。元来、Ni は耐熱性を高める元素として添加されるが、シリンダーの場合にはむしろ耐摩耗性を高める効果があると考えられる。鋳物における Si は溶湯の流動性を良くするために添加されるが、これもシリンダーでは耐摩耗性を向上させる。

表 2 にそれらの合金の機械的性質を示す。鋳物(T6)では引張り強さが約30kgf/mm²以上である。2218は T6 としての規格は定められておらず、T72 調質での標準値として引張り強さ34 kgf/mm²、耐力26 kgf/mm²、伸び12%が示されているだけである³⁾。2218製のシリンダーは冷間鍛造後、T6 処理されるが、押出材(T6)では引張り強さ40 kgf/mm²、耐力35 kgf/mm²、伸び12%程度である。

いずれの合金も、多かれ少なかれ Cu を含んでいるので耐食性がいいとは言いがたい。シリンダーは一般に切削のまま使用され、表面処理しないことが多いのでこの点ではやや問題がある。しかし VTR の使用環境は腐食という面ではマイルドであることが普通なので、實際上腐食が問題となることはあまりない。まれに、長時間休止中に結露等で水滴が付着して腐食するという例がある。その意味でも耐食性の向上は VTR シリンダー材としてのひとつの課題といえよう。

写真 3 に 2218 および AC8A の鋳造組織(熱処理後)を示す。2218 では主として Al₃Ni の化合物が全面に晶出しているが、EPMA 分析によるとこの化合物中には Cu

も共存している。Al₃Ni 中の Ni の一部が Cu と置換したものと考えられる。一方 AC8A では針状の共晶 Si と Al₃(Ni, Cu) とが共存している。これらの初晶 Si や Al₃(Ni, Cu) 化合物が耐摩耗性を高める。また熱処理によつて生成される析出物も耐摩耗性向上に寄与する。

2218

AC8A

100μ

写真 3 代表的シリンダー材の光学顕微鏡組織

表 1 代表的シリンダー用アルミニウム合金の化学成分 (wt%)

成分 品種	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	その他
2218	≤0.9	≤1.0	3.5~4.5	≤0.20	1.2~1.8	≤0.25	≤0.10	—	Ni 1.7~2.3
AC5A	≤0.6	≤0.8	3.5~4.5	≤0.30	1.2~1.8	≤0.10	—	≤0.20	Ni 1.7~2.3
AC8A	11~13	≤0.8	0.8~1.3	≤0.10	0.7~1.3	≤0.10	—	≤0.20	Ni 0.8~1.5
AC8B	8.5~10.5	≤1.0	2.0~4.0	≤0.50	0.5~1.5	≤0.50	—	≤0.20	Ni ≤1.0

表 2 代表的シリンダー用アルミニウム合金の機械的性質

	引 張 強 さ (kgf/mm ²)	耐 力 (kgf/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル硬さ	備 考
2218-T72	33.5	26.0	11	95	
AC5A-T6	≥30	—	—	約 110	金 型 鋳 物
AC8A-T6	≥28	—	—	約 110	同 上
AC8B-T6	≥28	—	—	約 110	同 上

4. VTR シリンダー材として要求される諸特性

シリンダー材に要求される特性は VHS 方式と β マックス方式とでじやつかん異なるし、それぞれの特性の重要度もテープの構造などでかわってくる。ここではごく一般的な特性をみてる。代表的な特性としては以下のものがあげられる。

(1) 非磁性体であること

VTR は磁気記録方式の装置であるから、テープと接触するシリンダーは当然非磁性でなければならない。シリンダー材としてアルミニウム合金が選ばれる基本的な理由もここにあり、開発当初使われた銅合金やオーステナイト系ステンレスも同様である。

(2) 耐摩耗性

すでに述べたように、シリンダー表面は硬い磁性粉を塗布したテープが摺動するので摩耗の生じる危険が常にある。写真 4 は 2218 の円筒試験片に磁気テープを摺動させて人為的に摩耗させたものの表面状態である。試験前には切削の送りマークが明瞭に認められるのに対して、試験後には表面が荒れていることがわかる。現実にはシリンダーよりも磁気ヘッドの摩耗の方がより重要な問題であり、写真 4 のような現象はまず生じないし、また VHS 方式ではシリンダーとテープの間に薄い空気膜（エアギャップ）が形成され、テープが直接接触しないようになっている。しかし VTR の小型化や記録密度の高度化に伴ってエアギャップも小さくなる傾向にあり、シリンダーの摩耗もより重要な問題になってきている。特に、テープガイドの下縁部はテープ端面と接触するため最も摩耗しやすいといわれている。この部分が摩耗するとテープの走行位置がずれ、トラッキングエラーを生じるため、 1μ の摩耗でも影響が出る²⁾。

VTR テープによるアルミニウム合金の摩耗挙動については多くのことは公表されていない。江田⁴⁾は、磁気テープの耐摩耗性が FC 30 と同程度であることを利用して、FC 30 を相手材とする大越式試験法でシリンダー材の耐摩耗性を調べている。図 4 はその結果である。それによれば耐摩耗性は AC8B>4032>2218>AC5A の順になる。この結果から江田は Si, Cu の含有量が高いほど耐摩耗性が向上するとしている。

耐摩耗性に関連した大きな問題点はその評価方法が確立していないことであろう。江田が採用した大越式試験法は迅速測定法としては簡便で良いが、これがテープによる実際の摩耗をシミュレートしているかどうかは確認される必要がある。耐摩耗性の評価方法は 8 mm VTR やメタルテープの普及とともにますます重要性を増すものと予測されるだけに、その確立が急務であろう。

テスト前

テスト後

20 μ

写真 4 2218 のテープによる摩耗面

(3) 動摩擦係数

磁気テープとシリンダーとの動摩擦係数も重要な特性のひとつである。摩擦係数が大きすぎるとテープの走行が不安定になり、画像が乱れたり、場合によってはテープがシリンダーに貼りついてしまったりするからである。

しかし動摩擦係数は磁気テープの特性としては広く調べられているのに対し^{5), 6)}、シリンダー自体のそれはあまり調べられていない。ここではテープの特性調査の結果を中心に動摩擦係数をみることにしたい。

田中ら⁵⁾はシリンダーと磁気テープとの摩擦係数を次のようにして測定している。すなわち円筒試験片 (S45C) に磁気テープを接触摺動させ、テープの入側と出側の張力を測定する。動摩擦において摩擦がクーロンの法則に従うとすれば次式が成立つ：

$$\frac{T_2 - \sigma V^2}{T_1 - \sigma V^2} = e^{\mu \theta} \quad (1)$$

T_1, T_2 : それぞれ入側, 出側の張力

σ : 単位長さ当りのテープ質量

$\approx 5.4 \times 10^{-3} \text{ g/cm}$

図4 シリンダー用アルミニウム合金の耐摩耗性⁴⁾

V : テープと円筒との相対速度

μ : 摩擦係数

θ : テープの巻きつけ角

σV^2 は遠心力による補正項であるが, σ が小さいので $\sigma V^2 \approx 0$ と近似される。したがって(1)式はよく知られたオイラーの式になる:

$$T_2/T_1 = e^{\mu\theta} \quad (2)$$

図5は田中ら⁵⁾の測定結果を示す。図5(a)は静止した円筒面をテープが走行する場合で β マックス方式に対応し, (b)はテープと円筒が同じ方向に運動する場合でVHS方式に対応する。どちらの場合も(2)式が成立し, オイラーの式によつて動摩擦係数を求めることができる。図5によれば(a)では摩擦係数の速度依存性が極めて小さいのに対して(b)では大きくなっている。これは(b)の場合には円筒とテープとの相対速度が関係しているためであり, 円筒の周速が大きくなるとテープと円筒との間に空気の潤滑膜が形成され, 摩擦係数が小さくなると考えられる⁵⁾。

摩擦係数はシリンダー表面の材質によつても, またテープの材質によつてもかわってくる。

図6は各種のシリンダー材種についての測定結果である²⁾。この場合には硬質アルマイトの摩擦係数が大きく, TiO_2 をコーティングしたもののそれが非常に小さくなっている。ちなみに, 筆者らの測定によると2218の摩擦係数は市販のVTRテープに対して0.28程度であつ

図5 テープ走行形式と動摩擦係数

(a) 固定した円筒面上をテープが走行する場合 (β 方式に対応)

(b) 円筒とテープが同一方向に運動する場合 (VHS方式に対応)

た。

図7は硬質クロムメッキした材料に対する摩擦係数を柔軟性の異なる各種テープについて測定結果を示す⁶⁾。テープ材種によつて摩擦係数が異なるだけでなく、摺動時間による変動も大きくかわることがわかる。

以上のように多くの因子の影響を受けるにもかかわらず、動摩擦係数が、材料の側からほとんど調べられていないということは大きな問題のひとつであろう。今後、合金組成や組織との関係で摩擦特性を明らかにすることが望まれる。

(4) 切削性

VTR シリンダーは最終的に切削加工によつて仕上げられる。その精度はアルミニウム合金の切削加工品の中でも第一級のレベルが要求される。たとえば、表面粗度は $R_{\max}=0.3\sim0.8\mu$ (一説に $0.1\sim0.3\mu$)⁸⁾、偏心 $2\sim3\mu$ 、真円度 $50\text{mm}\phi$ に対して 0.2μ ⁸⁾ といわれている。

図8に、市販のシリンダーの表面粗度の測定例を示す。この品物では $R_{\max}=0.3\sim0.4\mu$ 程度であつた。プロフィールには明瞭な送りマークは認められない。鏡面を出すためにかなりパニシングのきいた切削をしているも

のと考えられる。

切削は通常天然ダイヤの工具で行われる。シリンダー材は耐摩耗性のすぐれたアルミニウム合金であるから、工具寿命からみた切削性は必ずしも良くない。天然ダイヤでも一本の工具で切削できるシリンダーは1000~数千個にすぎない⁷⁾。

切削上のもうひとつの問題は穴あけ性である。写真1にみられるように、シリンダーには多数の穴がある。そのため穴あけ加工はシリンダー製造の上で極めて重要な位置を占めることになる。2218にせよ鋳物合金にせよ現在用いられているシリンダー材の穴あけ性は必ずしもいいとは言えない。耐摩耗性を高めれば高めるほど穴あけ性はより大きな問題となろう。

切りくず処理性も重要である。切削加工はNC化さ

図6 各種シリンダー材種の動摩擦係数²⁾

図7 種々のテープの動摩擦係数⁶⁾
(No はテープの種類を表す)

図8 市販シリンダーの表面粗度

れた設備で行われ、月に数万個～数十万個加工されるから、切りくず処理性の良否は生産性に大きな影響を及ぼす。一般に、鋳物は切りくず分断性は良い。しかし2218は工具形状や切削条件によっては連続した切りくずが生成されることがある。写真5は2218の押出棒を普通旋盤で切削した場合の切りくずの例である。仕上げ切削のように切りこみが小さいと切りくずは細かく分断するが、切りこみが大きくなると連続しやすくなる。ただ、切りくずの残留延性自体は小さいので、大量のクーラントをかけることによって切りくずが折れることはある。

切削という観点からすると以上述べたように現行のシリンダー用アルミニウム合金はまだ問題が多い。他の特性をそこなわずに切削性を高めることが今後の大きな問題である。

(5) 冷間鍛造性

鋳物を除いてシリンダーは冷間鍛造によって成形される。したがって冷間鍛造性の良否もシリンダー製造上重要な問題である。

材料的な側面からすれば組織を微細化するのが冷間鍛造性を高める道である。2218の場合では $Al_3(Ni, Cu)$ の晶出物を微細にする必要がある。晶出物が粗大であるとそれを起点として割れが発生するからである。鋳造棒は凝固速度が大きく、組織が微細になるため通常の連鋳鋳塊より有利である。

冷間鍛造性の評価方法はいくつかあるが、最も簡便なものに落重試験法がある。これは円柱状の試験片に一定重量のおもりを落下させ、変形量から変形抵抗を求めるとともに、くりかえし変形によって割れが発生する限界の加工率(変形能)をみる方法である。この方法で求めた2218の変形能と変形抵抗はそれぞれ約60%, 30 kgf/mm²である。これは、冷間鍛造用としてしばしば使われるJIS 2017と比べ変形能がやや小さく、変形抵抗がやや大きい結果になっている。その意味で2218の冷間鍛造性に必ずしも良くないが、実際には大きな問題とはなっていない。

5. おわりに

VTR シリンダーに対する要求特性は多様であり、場合によって相反する特性が要求される。それに対して材料的には大半が規格合金が使われているだけで、シリンダーとして最適な材料が供給されているとは言い難い。その意味では新しい合金を開発する余地がまだ残っているといえよう。

シリンダー材としての要求特性の中で不明な点が多い

写真5 2218の切りくず形状の例

A: 切込み 0.1 mm, 送り 0.03 mm/rev

B: 切込み 0.5 mm, 送り 0.1 mm/rev

(工具 超硬K10, チップブレーカなし)

のはテープとの動摩擦特性(摩耗挙動および動摩擦係数)と思われる。従来この種の試験はほとんどなされてこなかったが、組織や合金成分に強く依存する特性と予測されるだけに今後検討しなければならない重要な課題である。

最後に本解説は筆者らの浅学とともに公表されたデータの不足のため中途半端なものに終わったことをお詫び申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 馬場義雄, 宇野照生: アルトピア, No. 6 (1984), 19.
- 2) 原 正和: ホームビデオ, 日本放送出版協会 (1978).
- 3) Aluminum Standards and Data, 1982, The Aluminum Association.
- 4) 江田 弘: 精密機械学会第102回講習会テキスト, 「超精密加工と加工機械」, 精密機械学会 (1982), p. 24.
- 5) 田中久一郎, 三好和寿: 潤滑, 19 (1974), 645.
- 6) 平塚広明, 花房広明, 中村孔三郎, 細川茂文: 電子通信学会論文誌, J63-C (1980), 361.
- 7) 日経メカニカル, 1981年8月3日号, p. 48.
- 8) 江田 弘, 貴志浩三, 上野秀雄: 機械の研究, 35 (1983), 197.