

## 【硬質アルマイト処理の概要】

陽極酸化皮膜のうち、皮膜硬さ及び耐摩耗性に優れた皮膜は、特に硬質（陽極酸化）皮膜、或いは「硬質アルマイト」と呼ばれて工業用機器のアルミニウム部品の運動部や流体との接触面など特に表面硬さや耐摩耗性を必要とする部分に多く使われている。

陽極酸化皮膜は、アルミニウム自身が電気化学的に陽極として酸化されて、酸化皮膜となるため、素地材料であるアルミニウム合金の影響を受けて皮膜性能が色々に異なっている。硬質皮膜の多くは用途上 50  $\mu$ m 程度の皮膜厚さとするため、普通の用途に使われる 10  $\mu$ m 程度の皮膜に比べ、素地性質を大きく反映し、それが皮膜性能の差となって現れる。このような素地材質による皮膜の種類を硬質皮膜の JIS 規格（JIS H 8603）では 5 種類に区分して、色々な品質性能に差があることを示している。

### 【素地材質による硬質皮膜の種類】

| 種類     | 屈伸材                                                             | casting材                                 | ダイカスト材                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|
| 1種     | A1080,1070,1050,1100<br>A3033,3004,5005,5N01<br>A6061,6063,6N01 | 接点又は端部から<br>1.5mmの範囲を除き<br>点食があつてはならない。  |                          |
| 2種－(a) | A2011,2014,2017,2024                                            |                                          |                          |
| 2種－(b) | A5052,5056,5083<br>A7075,7N01                                   |                                          |                          |
| 3種－(a) |                                                                 | AC4C,AC7C                                | ADC5,ADC6                |
| 3種－(b) |                                                                 | AC1B,AC2A,AC3A<br>AC4B,AC5A,AC8A<br>AC9A | ADC1,ADC3<br>ADC10,ADC12 |

（注）この表は、JIS H 8603 に示された種類区分を基にして工業的に多く使われている合金が、どの種類に属するかを示した物である。

### 【皮膜硬さ】

| 種類     | 微小硬さHv0.05     |
|--------|----------------|
| 1種     | 400以上          |
| 2種－(a) | 250以上          |
| 2種－(b) | 300以上          |
| 3種－(a) | 250以上          |
| 3種－(b) | 受渡し当事者間の協定による。 |

【往復運動平面摩耗試験で耐摩耗性】 単位%

| 種類     | 耐摩耗性基準試験片に対する比率 |
|--------|-----------------|
| 1種     | 80以上            |
| 2種－(a) | 30以上            |
| 2種－(b) | 55以上            |
| 3種－(a) | 受渡当事者間の協定による。   |
| 3種－(b) |                 |

備考 耐摩耗性基準片に対する比率は、次の式によって算出する。

$$WRwC(\%) = \frac{WRwt}{WRws} \times 100$$

WRwC(%)：耐摩耗性基準試験片に対する比率(%)  
WRwt：試験片の摩耗性(ds/μm)  
WRws：耐摩耗性基準片の耐摩耗性(ds/μm)

【平板回転摩耗試験での耐摩耗性】 単位mg

| 種類     | 耐摩耗性基準試験片に対する比率 |
|--------|-----------------|
| 1種     | 15.0以下          |
| 2種－(a) | 35.0以下          |
| 2種－(b) | 25.0以上          |
| 3種－(a) | 受渡当事者間の協定による。   |
| 3種－(b) |                 |

【単位面積当たりの皮膜質量】 単位mg/dm<sup>2</sup>

| 種類     | 耐摩耗性基準試験片に対する比率 |
|--------|-----------------|
| 1種     | 1100以上          |
| 2種－(a) | 950以上           |
| 2種－(b) |                 |
| 3種－(a) |                 |
| 3種－(b) | 受渡当事者間の協定による。   |

(注) 単位面積当たりの質量は、皮膜厚さ50 μ mの換算値である。

### 【耐食性】

| 種類     | 試験時間          | 耐食性                             |
|--------|---------------|---------------------------------|
| 1種     | 336h          | 接点又は端部から1.5mmの範囲を除き点食があつてはならない。 |
| 2種－(a) | 受渡当事者間の協定による。 |                                 |
| 2種－(b) |               |                                 |
| 3種－(a) |               |                                 |
| 3種－(b) |               |                                 |

アルミニウム合金は、添加されている合金成分の種類と組み合わせで 1000 系から 7000 系に整理されており、それぞれ材料の特徴を生かした用途に使い分けられている。

1 種に指定された合金系は、概ね良好な硬質皮膜が得られる合金である。

2 種 (a) に指定された 2000 系合金は、ジュラルミン (2017) や超ジュラルミン (2024) として知られる。これらの合金を代表とするように、鋼に匹敵する強度がある。しかし、強度を増すために添加された銅 (Cu) が第 2 相成分  $\text{CuAl}_2$  となり、硬質処理において色々な障害を起こし、良い皮膜性能が得られない為である。処理方法には色々改善が図られている。また、素材の表面に表面処理性の良いアルミニウム合金層をクラッドして使用することもある。

2 種 (b) に指定された 7000 系合金は亜鉛 (Zn) とマグネシウム (Mg) を組み合わせ、超超ジュラルミン (7075) に代表されるように最高の強度が得られる合金である。硬質皮膜処理において合金成分が電解液に溶解するため、良い皮膜が得にくい。

又、5000 系で 2 種 (b) に指定された材料は、マグネシウム (Mg) を多く含有する合金で、硬質処理においてマグネシウムが電解液に溶解するため、良い皮膜が得にくい。

3 種 (a) に指定された材料は、鍛造材とダイカスト材の中で銅 (Cu) 2%未満又は、ケイ素 (Si) 8%未満の鍛造材及びダイカスト材としては表面処理性の比較的良い材料である。

3 種 (b) に指定された材料は、合金成分の添加量も多く、表面処理が特に困難な材料であり、皮膜性能については、受渡当事者間で取り決める様に指示されている。

### 【硬質アルマイト処理】

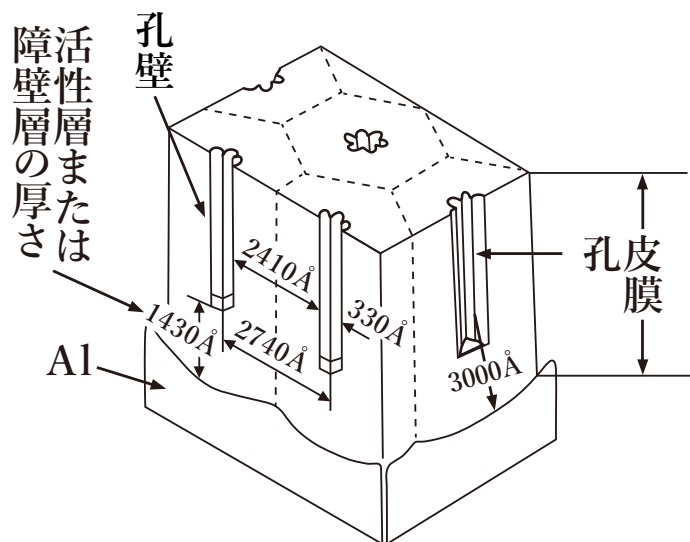
硬質アルマイト皮膜は、普通アルマイト皮膜と比較して硬い皮膜であり、処理方法も皮膜厚さも出来るだけ有効に、速く生成させ、しかも硬い皮膜を生成させる条件を併せ持った電解液とその条件を組み合わせている。

電解方法として一般的に、

- 1) 陽極酸化処理において電流密度を高くして皮膜生成速度を高くし、

## 2) 電解液温度を低くして皮膜の溶解を少なく抑える方法

がとられている電解が進むに伴い皮膜厚さが厚くなると、処理する電圧も次第に高い電圧が必要になる。処理電圧高くなるとポア径は拡大され、ポアの数減り、セルの壁の厚さが厚くなり、皮膜の硬さは硬くなる。



### 【硬質アルマイト皮膜の特性】

#### 1. 皮膜厚さ

皮膜厚さは平均値を使用する。合金によっては皮膜厚さの不均一が避けられないためである。皮膜の海外規格は  $50\mu\text{m}$  を標準としており、その膜厚公差は  $\pm 10\mu\text{m}$  以内とされている。膜厚指定が仮に  $100\mu\text{m}$  の場合も膜厚交差は変わらない。酸化皮膜は、通常皮膜厚さの  $1/3\sim 1/2$  素材の外側に成長するので、製品の完成寸法に注意が必要である。

#### 2. 皮膜の色

硬質アルマイト皮膜の色は、合金の種類、処理の方法、厚さによって異なる。硫酸浴標準法により A1100 を処理した場合、皮膜の色は膜厚の増加に従い、「淡灰色－灰褐色－濃灰褐色」と変化する。合金の種類によって異なるが、一般に暗灰褐色又は黒褐色を呈する。ただし、交直重畳法や電流反転法による皮膜の発色は比較的淡色である。

#### 3. 表面粗さ

表面粗さは、通常皮膜厚さの増加に伴い粗くなる。電解液処理温度は低いほど電流密度は高いほど、粗さは増加する傾向にある。又、電流波形を変調させた電解法は表面のあれる傾向が強い。従って、処理後の表面粗さ ( $R_a$ ) が指定された場合、処理前に指定粗さの  $1/2$  程度に表面粗さを調整する必要がある。

#### 4. 表面硬さ

硬質アルマイト皮膜の用途からみると、もっとも重要な品質性能は耐摩耗性でその代用特性として硬さが使われる傾向がある。硬質アルマイト皮膜は、素地が酸化物となって皮膜を形成するため、合金の種類、電解液、処理条件に強く影響を受ける。合金の種類に合わせた処理方法が色々研究され、皮膜性能の向上が図られているが、JIS に示された材質による種

類によって皮膜硬さは、ほぼ決まってくる。

硬質アルマイト処理の工程で…

溶解しない元素：ケイ素（Si）鉛（Pb）

溶解するが皮膜の中で酸化物や他の不溶解性化合物として残る元素：

マグネシウム（Mg）亜鉛（Zn）

強い溶解性があるが皮膜の中で安定した化合物として残らない元素：

銅（Cu）ニッケル（Ni）

等、添加成分の影響が酸化皮膜中に残されるからである。

皮膜硬さは断面の測定を JIS に指定しており、素地側が高く、表面側が低い値となり、皮膜厚さが増すほどその差は大きくなる。従って、硬さの測定は皮膜の中で行う。

## 5. 耐摩耗性

耐摩耗性は従来、平板回転摩耗試験（テーパ摩耗試験）が多く使われていたが JIS では往復運動平面摩耗試験と噴射摩耗試験が採用され、平板回転摩耗試験と併せて三種の試験方法から選択出来ることになった。摩耗状態は多様であり耐摩耗試験もそれぞれの使用法に応じた試験が望ましい。平板回転摩耗は、一方向の摺動摩耗の方向を反転・往復させて行う試験、噴射摩耗は一定圧力で人造研磨材を吹き付けて行う試験である。

陽極酸化皮膜は湿度の影響を受けるため、摩耗による重量減を求める試験では試験室の環境、特に湿度管理が必要である。又、往復運動平面摩耗試験と噴射摩耗試験、使用した試験機、使用した研磨紙又は研磨剤、試験の時期、環境によりデータが変動することが多く、試験結果個々の相関性が乏しい。これを解消するため、JIS では耐摩耗性基準試験片（H 8601 付属書 1）が採用され、基準試験片の測定値との比率で表示することになっている。なお、硬質皮膜は通常耐食性を必要とする場合を除いて封孔処理は行わない。封孔処理によって耐摩耗性が低下するためである。

以下の表にて「平板回転摩耗における封孔処理の耐摩耗性に与える影響」「往復運動平面摩耗、噴射摩耗、平板回転摩耗の相互関連」「各種材料と硬質皮膜の耐摩耗性の比較例」を示す。

【皮膜硬さと平板回転摩耗】

| 材料    | 膜厚さ | 25 $\mu$ m |        | 50 $\mu$ m |        | 80 $\mu$ m |        |
|-------|-----|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
|       |     | 皮膜硬さ       | 平板摩耗   | 皮膜硬さ       | 平板摩耗   | 皮膜硬さ       | 平板摩耗   |
| A5052 | 未封孔 | 422Hv      | 10.2mg | 409Hv      | 11.0mg | 416Hv      | 18.6mg |
|       | 封孔  | 427        | 27.1   | 418        | 22.5   | 425        | 38.4   |
| A1050 | 未封孔 | 418        | 11.2   | 425        | 10.5   | 411        | 11.1   |
|       | 封孔  | 433        | 16.2   | 436        | 17.4   | 427        | 19.2   |

注) 平板回転摩耗はCS-17による。封孔はNi塩90℃:20分

【往復運動平面摩耗、噴射摩耗、平板回転摩耗の相互関連 JIS H 8603

硬質皮膜耐摩耗試験】

| 材料   | 往復運動平面摩耗 |                      |                      |      | 噴射摩耗          |     |                     |      | 平板回転摩耗   |      |      |
|------|----------|----------------------|----------------------|------|---------------|-----|---------------------|------|----------|------|------|
|      | ds       | 減摩量<br>$\mu\text{m}$ | ds/<br>$\mu\text{m}$ | 比率   | $\mu\text{m}$ | 秒   | s/<br>$\mu\text{m}$ | 比率   | CS-17.mg |      |      |
| 1050 | 700      | 16.2                 | 43.21                | 100  | 51.5          | 285 | 5.7                 | 100  | 8.1      | 8.9  | 9.3  |
| 2014 | 300      | 24.2                 | 12.40                | 28.7 | 49.2          | 130 | 2.6                 | 45.6 | 22.8     | —    | —    |
|      | 300      | 24.1                 | 12.44                | 28.8 | 52.1          | 120 | 2.3                 | 40.3 | 22.3     | —    | —    |
| 2024 | 300      | 25.3                 | 11.86                | 27.4 | 52.4          | 130 | 2.5                 | 43.9 | —        | 24.8 | —    |
|      | 300      | 21.3                 | 14.08                | 32.6 | 48.6          | 130 | 2.7                 | 47.4 | —        | 23.6 | —    |
| 7075 | 700      | 28.2                 | 24.82                | 57.4 | 49.1          | 150 | 3.1                 | 54.4 | —        | —    | 13.2 |
|      | 700      | 25.8                 | 27.13                | 62.8 | 53.1          | 180 | 3.4                 | 59.6 | —        | —    | 16.5 |

【各種材料と硬質皮膜の耐摩耗性の比較】

(平板回転摩耗試験機(CS-17,1000荷重)を使用し試験片が20,000回転で摩耗した重量を示す)

| 試験片                 | 摩耗量(mg) |
|---------------------|---------|
| 硬質皮膜(M.H.S.法・A1050) | 12.3    |
| 硬質クロムメッキ(Hv945)     | 45.6    |
| 硬質クロムメッキ(Hv1003)    | 29.1    |
| SK4(焼き入れ)           | 18.6    |
| A5052(無処理)          | 388.6   |
| A1100(無処理)          | 540.8   |

## 6. 耐食性

硬質皮膜は、皮膜が厚いため通常の耐食性は極めて高い。又、用途上、耐食性を必要とする場合以外は封孔処理を行わない。封孔処理によって耐摩耗性が低下する傾向があるためである。従って、耐食性も併せて必要な場合、低温封孔や、クロム酸封孔を行われることもある。耐食性試験は塩水噴霧試験が使われ、判定法などは受渡当事者の協定に依ることが普通である。

## 7. 絶縁体力

皮膜厚さ  $50\mu\text{m}$  の陽極酸化皮膜の比抵抗は、 $20^{\circ}\text{C}$  で  $4 \times 10^{15}\text{ohm/cm}$  もあり、各種絶縁物の中でも高い。絶縁性を利用する目的によって色々な測定法があるが、硬質皮膜の JIS では絶縁体力試験法 (JIS H 8687) を指定している。

「皮膜厚さと絶縁破壊電圧 (JIS 法)」について以下の表に示す。

### 【皮膜厚さと絶縁破壊電圧(JIS法)】

材料:1050 昇圧速度:25V/sec 封孔処理:沸騰水30分

| 皮膜厚さ(μm) | 封孔処理(V) | 未封孔(V) |
|----------|---------|--------|
| 10       | 464     | 454    |
| 25       | 1832    | 1556   |
| 50       | 3362    | 2294   |
| 80       | 3742    | 2540   |

### 8. 熱伝導性と耐熱性

硬質皮膜の熱伝導性は非常に小さい。皮膜は短時間の加熱であれば2000℃まで耐えられ、素地を溶解から守る。耐熱性が良いので持続的な加熱の場合、200℃までは皮膜の性能は変わらない。