

耐熱性のあるアルミニウム陽極酸化皮膜

—耐熱クラックレス超硬質アルマイト TAF TR 皮膜の諸特性—

東栄電化工業株式会社相模原工場 第1事業部技術課

要旨 アルミニウム陽極酸化皮膜すなわちアルマイト皮膜は、100℃以上の高温度域で使用するとクラックが発生してしまう事が知られている。高耐熱特殊アルマイト「TAF TR 処理」によって得られた皮膜は、高温下でもクラックすることがないため、高温下でもアルマイト皮膜本来の絶縁性や表面保護性などの基本的な特性を確保できる。また、この TAF TR 処理は Hv550 という硬質アルマイト以上の皮膜硬さを得ることが可能であるほか、黒色仕様の「TAF TR BK 処理」は高温下や紫外線環境下でも黒色を保持可能である。これらの特殊アルマイト処理は、軽量化、信頼性向上、生産性向上などを目的として、主に各種摺動部品や、絶縁部品、反射防止製品など様々な用途への実用拡大が期待されている。

キーワード アルミニウム、陽極酸化処理、アルマイト、めっき、耐熱性、耐紫外線、黒色、低反射・反射防止、クロムフリー、重金属フリー、クラックレス、防塵、パーティクル発生防止、剥がれ防止、超硬質、耐摩耗、摺動性、絶縁性、光学部品、半導体製造装置、検査装置、産業用機械・治具

1. 陽極酸化皮膜の耐熱性について

アルミニウムの表面処理として最も一般的な表面処理の一つに陽極酸化処理すなわちアルマイト処理がある。古くから鍋・やかんなどの調理器具、サッシなどの建材に使われており、身の回りを見渡せば日用品やスマートフォンなどの電子機器の筐体、照明器具などに多く使われている。その他にも、カメラの鏡筒などの精密光学部品、医療機器、車輛、搬送機器、電子機器・半導体製造装置、産業機械摺動部品・治具などの一部で使用される。

アルマイト皮膜は 100℃以上の高温度域で使用すると、母材であるアルミニウム合金との線熱膨張係数の差がもたらす応力により、クラック（ひび割れ）が発生してしまう事が知られている。クラックが発生すると、母材であるアルミニウム合金が露出し、最悪の場合はアルマイト皮膜が剥離し表面保護の機能を完全に失う。

その為、従来ではアルミニウム合金部品を 100℃以上で使用する場合は表面処理は、耐熱性のあるめっき処理や蒸着を選択したり、材料自体をステンレス製や樹脂製にしたりするなどの対処がされていた。

2. 耐熱性アルマイト「TAF TR 処理」の開発

一方で、アルマイト処理やアルミニウム合金の使用は、処理コスト、母材との密着性や機械的寸法精度、軽量

化、熱伝導などの面では優位性があり、特に絶縁性付与、黒色化、反射防止、放熱性向上、耐摩耗性向上などの用途では耐熱性のあるアルマイト処理技術が強く求められた。

そのような中、開発されたアルマイト処理が「TAF TR 処理¹⁾」である。TAF TR 処理は、特殊な条件下で陽極酸化処理を行うことにより、従来の課題であった、「母材が膨張することにより発生する応力」を緩衝させ、高温下でもクラックすることのない皮膜を得ることが可能である。

3. アルマイト皮膜の各種性能試験と TAF TR および TAF TR BK の諸特性

①加熱試験による耐クラック性の評価

(1) 供試料として、A5052 材 (50mm × 100mm × t1mm) を使用し、表面処理は、一般アルマイト (硫酸浴・陽極酸化処理)、シュウ酸アルマイト (シュウ酸浴・陽極酸化処理)、硬質アルマイト (硫酸浴・硬質陽極酸化処理)、TAF TR 処理、一般黒アルマイト (硫酸浴・黒色陽極酸化処理)、TAF TR BK の 6 種を行った。

(2) これらの試料を 150℃、250℃、350℃に加熱した電気炉の中に投入後 1 時間保持し、電気炉の電源を切り、徐冷した。

(3) 徐冷後の皮膜の様子を観察した。

各試料の試験後の様子を表 1 および図 1 に示す。

表 1. 各種アルマイト皮膜の加熱試験後の様子

加熱条件		150℃×1 時間	250℃×1 時間	350℃×1 時間
一般アルマイト処理 (硫酸浴-陽極酸化処理)	6.5 μm	著しいクラック	著しいクラック	著しいクラック
シュウ酸アルマイト処理 (シュウ酸浴-陽極酸化処理)	13.5 μm	○	クラックの発生	著しいクラック
硬質アルマイト (硫酸浴-硬質陽極酸化処理)	40 μm	著しいクラック 変色	著しいクラック 変色	著しいクラック 変色
TAF TR 処理	40 μm	○	○	○
一般黒アルマイト (硫酸浴-黒色陽極酸化処理)	13.9 μm	著しいクラック 変色	著しいクラック 完全に脱色	著しいクラック 完全に脱色
TAF TR BK 処理	6.9 μm	○	○	○

○はクラックの発生無し

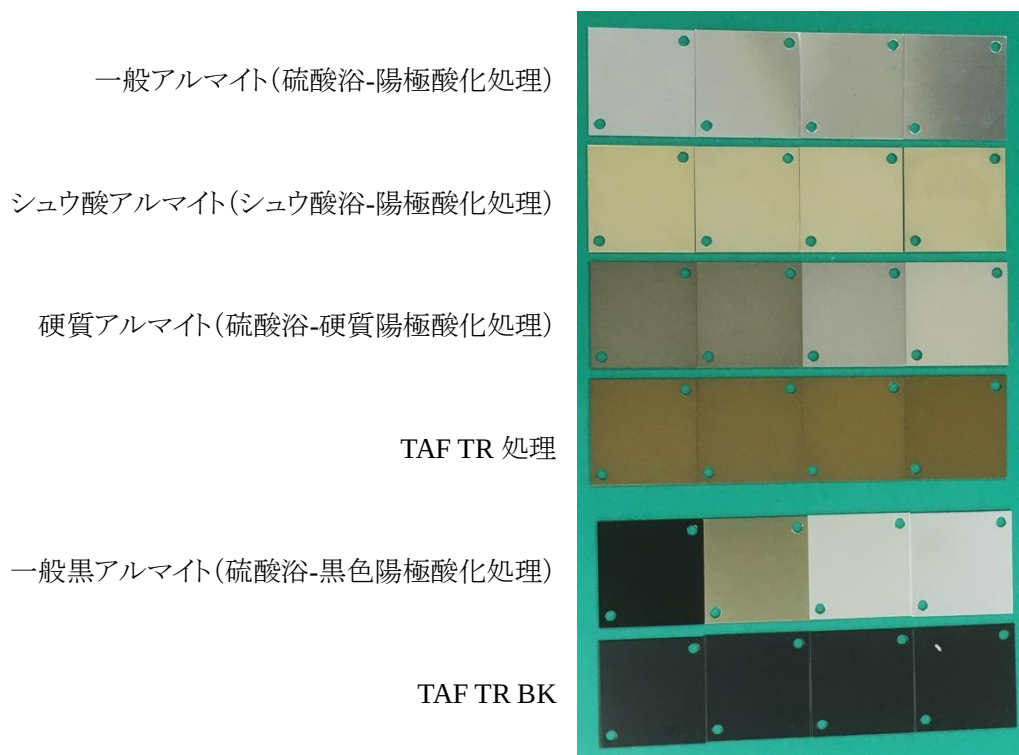


図 1. 各種アルマイト皮膜の 1 時間加熱試験後の様子
(左から加熱無し, 150℃, 250℃, 350℃)

②皮膜の硬さ試験

- (1) 供試料として、A5052 材と A6061 材(それぞれ 100mm×100mm×t2mm)を使用し、TAF TR 処理を行った。
- (2) ビッカース硬さ試験機を用いて皮膜の断面硬さを測定した。

試験結果を表 2 に示す。参考として JIS H 8603 で定められている硬質アルマイトの要求値を併記する。

表 2. TAF TR 処理の皮膜硬さ

	TAF TR	JIS 規格
A5052	542.4	300 以上
A6061	453.9	400 以上

※マイクロビッカース硬さ（荷重：0.49N）

③線粗さ

- (1) 供試料として、A1050 HB 材を使用した。
- (2) 目標皮膜厚さ 20 μm および 50 μm として硬質アルマイト(硫酸浴-硬質陽極酸化処理)と TAF TR 処理を行った。
- (3) (株)東京精密製「SURFCOM 2000SD」を使用し、得られた皮膜表面の線粗さを測定し、素材の線粗さと比較した。

測定結果を表 3 に示す。

表 3. 各種アルマイト皮膜表面の粗さ

皮膜種	膜厚	パラメータ		
		Ra	Rz	Pt
	μm	μm	μm	μm
素地	—	0.028	0.307	0.648
硬質アルマイト（硫酸浴-硬質陽極酸化処理）	20	0.167	1.466	2.613
	50	0.178	1.571	2.998
TAF TR 処理	20	0.089	0.782	1.365
	50	0.098	0.732	1.155

④絶縁破壊試験

- (1) 供試料として、A1050 材(100mm×100mm×t1mm)を使用した。
- (2) 硬質アルマイト(硫酸浴-硬質陽極酸化処理)および TAF TR 処理、また、TAF TR 処理と特殊処理を組合せた「TAF TR 高耐電圧仕様」の処理により 3 種類の皮膜を得た。更にこれらの皮膜をそれぞれ 10 μm 、20 μm 、30 μm 、40 μm 、50 μm の厚さ違いで作製した。
- (3) 皮膜-素地間の絶縁破壊試験を実施した。

試験結果を図 2 に示す。

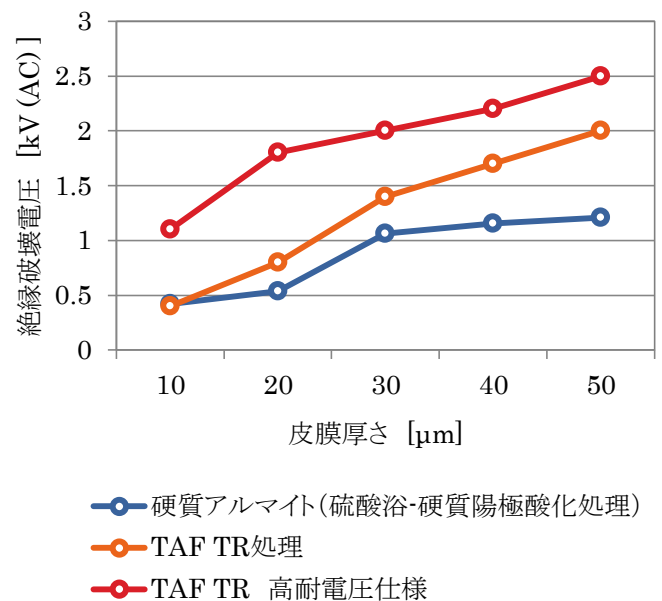


図 2. 各皮膜における厚さ毎の絶縁破壊電圧

⑤反射率

- (1) 供試料として、A5052 材(12mm×38mm×t0.1mm)を使用した。
- (2) TAF TR BK 処理(低反射仕様)と艶消し黒アルマイト(粗面化エッチング後に硫酸浴-黒色陽極酸化処理)を行った。
- (3) 島津製作所製 UV-3100PC を用いて、試料表面の分光光度計試験分析を実施した。なお、試験条

件は下記の通りとした。

測定モード: 拡散反射率測定 (正反射光を含む)

測定波長: 200~2500nm

入射角: 8°

測定間隔: 1nm

スリット幅: 7.5nm (200~890nm), 30nm (890~2500nm)

試験結果を図 3 に示す。

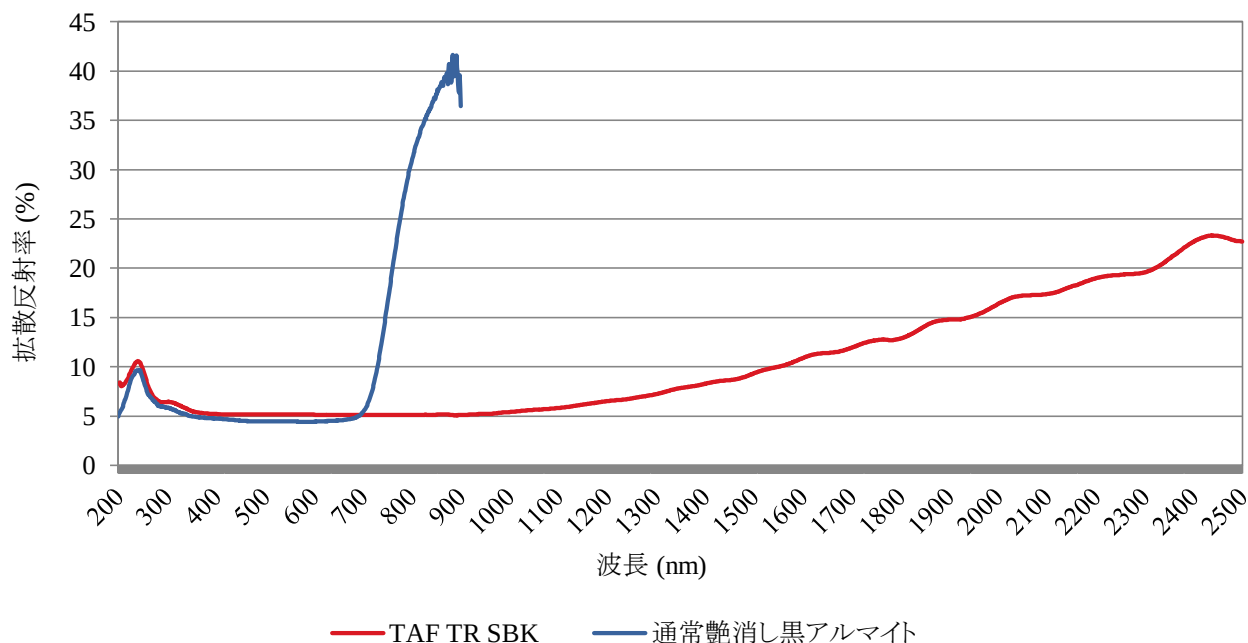


図 3. 各黒色皮膜の拡散反射率

4. TAF TR および TAF TR BK の優位性と実用展開

TAF TR 処理の大きな特長はクラックレスであることと、それが高温域でも保持可能であるということであろう。また、黒色仕様である TAF TR BK はクラックレスであることに加えて高温度域での使用や紫外線照射による脱色が無いことが強みである。その他の硬さ、線粗さ、耐電圧などの特性についても前項の試験結果から、従来品より優れている事は明らかである。

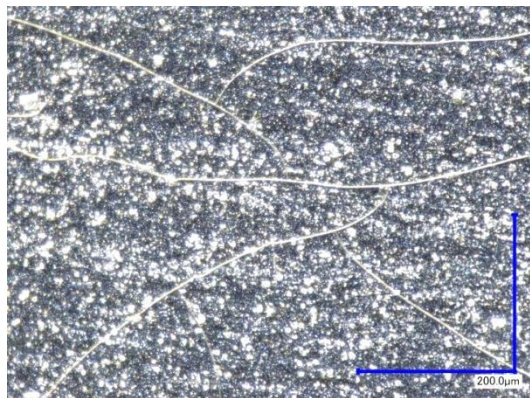
従来の表面処理からの変更による、性能向上や表面処理コスト削減が可能となり、また、ステンレスから「アルミニウム合金+TAF TR 処理」への変更による軽量化なども実現できるであろう。用途としては様々であるが、主な例を挙げると、半導体製造装置用の真空チャンバー取付アルミボルトは、締結時および加熱時の皮膜クラック・皮膜脱落による異物混入防止策として、

TAF TR 処理されたものを使用しているし、製造された半導体を検査するための光学部品には、迷光(意図しない光の反射)を防止するために、高温でも低反射性を維持できる TAF TR BK の低反射仕様が使用されている。

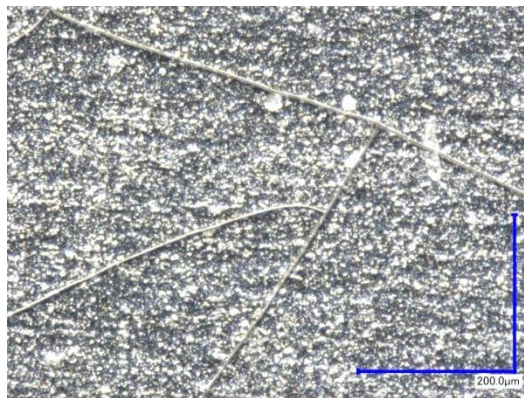
最近では表面処理技術の調査・見直しを積極的に行う大手企業も増え、ますます表面処理への要求は多様化される中、従来アルマイト処理やコスト高の蒸着などの表面処理に代わる、高温でも使用可能なコストパフォーマンスの高い表面保護膜として今後も各種用途への展開が期待される。

最後に、350℃に加熱した後の TAF TR およびその他の一般的なアルマイト皮膜の差を、拡大写真(500倍/デジタルマイクロスコープ VHX-700F (株)キーエンス製)により示す。

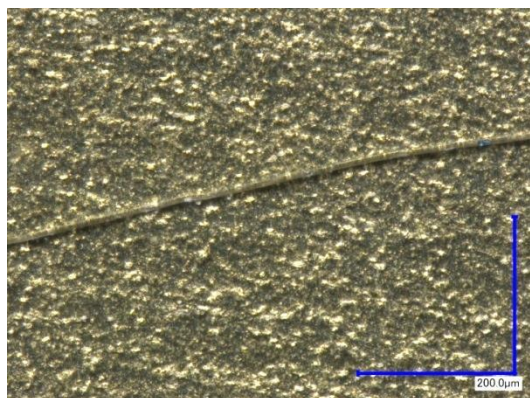
▼ 一般アルマイト(硫酸浴-陽極酸化処理)



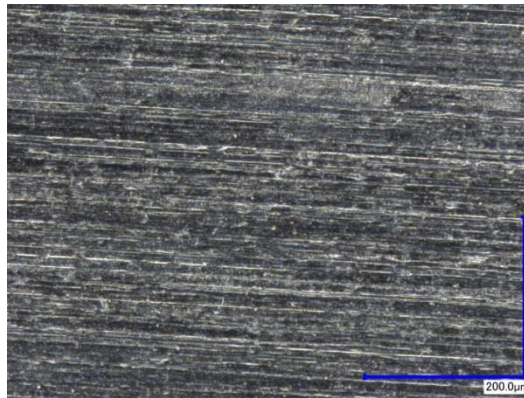
▼ 一般黒アルマイト(硫酸浴-黒色陽極酸化処理)



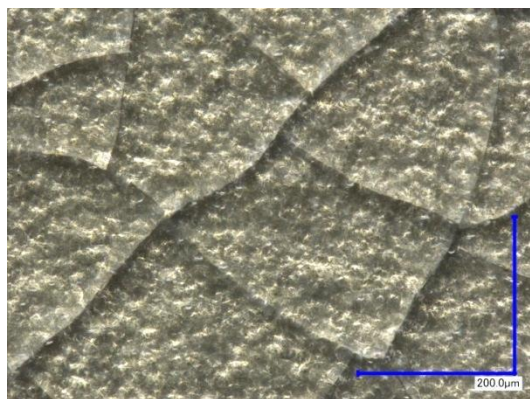
▼ シュウ酸アルマイト(シュウ酸浴-陽極酸化処理)



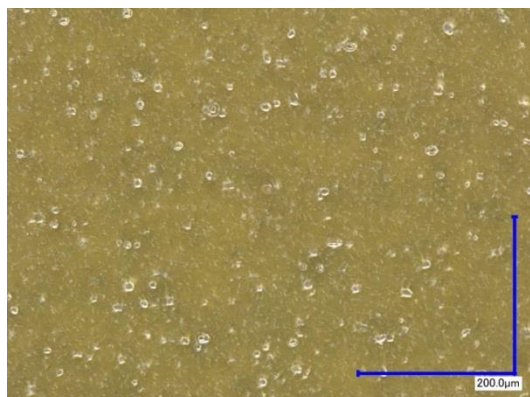
▼ TAF TR BK



▼ 硬質アルマイト(硫酸浴-硬質陽極酸化処理)



▼ TAF TR 処理



脚 注

- 1) TAF TR 処理および TAF TR BK 処理は東栄電化工業株式会社(神奈川県相模原市)が開発したアルミニウム陽極酸化処理. 同社ではこのほか「アルミニウム合金用接着接合下地『TAFAD 処理』」などの特殊表面処理を開発している. これらの表面処理は半導体・電子機器・精密光学部品その他産業機械など様々な分野で実用を拡げている.