

チタン,アルミの耐摩耗改善表面処理技術「KENI COAT[®]」の開発

中山武典(工博)*・加藤 淳*・漆原 亘*・寺田好則**・岩井健治(工博)***

*技術開発本部・材料研究所 **鉄鋼事業本部・チタン技術部 ***アルミ・銅事業本部・商品開発室

Development of a New Coating Technology「KENI COAT[®]」for Improving Titanium and Aluminum Wear Resistance

Dr. Takenori Nakayama・Jun Katoh・Wataru Urushihara・Yoshinori Terada・Dr. Kenji Iwai

KENI COAT is a new hard coating (electrolytic Ni-P plating) technology for improving titanium and aluminum wear resistance. The new coating has excellent adhesivity, high toughness and good impact resistance. KENI COAT has already been applied to aluminum and titanium parts for automobiles, motorcycles, bicycles, machines, sporting goods, etc. It can be also used on magnesium which also suffers from substantial usage wear. With this new coating, titanium and aluminum and magnesium are expected to come into wider use in various industries.

まえがき = チタン, アルミは、軽く、強く、錆びにくいという特性から、自動車をはじめ各種分野への適用が期待されている。しかしながら、摩擦時に焼き付きを生じやすく、耐摩耗性に劣るという欠点があるために、構造体としての強度は十分であるにもかかわらず採用にいたらないケースがある。

そこで、著者らはチタン, アルミの弱点である耐摩耗性を克服するための実用的な表面処理技術を研究し、鉄系材料と同等以上の耐摩耗性を発揮させる硬質電気めっき技術(KENI COAT: Kobe Excellent New Ideal Coat)を開発した。以下に KENI COAT 処理品の技術特色、材料特性および製品例について紹介する。

1. 開発の背景

1.1 注目されるチタン, アルミ

近年の多様化した市場要求に応える材料として、軽量性、耐久性、リサイクル性に優れたチタン, アルミが注目を集めている。たとえば、自動車部材にチタン, アルミを適用すると車両軽量化やエンジンの高性能化(慣性質量低減による高回転化・高出力化)が達成でき、燃費向上、引いては地球温暖化の主因とされる CO₂ ガス排出の抑制に寄与するといわれている。また、鉄道、船舶の分野でも、新型新幹線、リニアモーターカー、高速艇など、さらなる超高速化に向けての軽量化や高性能化のニーズが高まっており、チタン, アルミへの期待が大きい。さらに、自転車、釣り具、ゴルフクラブなどスポーツ・レジャー分野でも、チタン, アルミは新素材として関心を集めている。

1.2 耐摩耗改善技術の必要性

チタン, アルミは、活性な金属であることから焼き付きを生じやすく、耐摩耗性に劣るものと考えられている。とくにチタンは熱伝導性も低いいため摩擦熱による相手材との凝着が生じやすく、摩擦の進行がいちじるしい。

こうした焼き付きを防止し、耐摩耗性を改善するためには表面を硬化させることが有効である。このため、電気めっきや無電解めっき、窒化、溶射、肉盛溶接、陽極

酸化(アルミに対してよくもちいられる)、イオンプレーティング、CVD、イオン注入など種々の表面硬化処理の適用検討が行われている¹⁾。しかしながら、いずれの手法においても程度の差こそあれ、硬化層の剥離(チタン, アルミ特有の安定な表面酸化皮膜が関与)、高面圧下での耐摩耗性能不足、窒化や肉盛、溶射、CVDなどの処理での熱影響による母材の強度劣化あるいは寸法変化、無電解めっきやイオン注入などでの高コスト(成膜速度、処理可能面積などが関与)などの問題あるいは制約があり、チタン, アルミの採用が見送られるケースが多い。ここで、新たな実用的な耐摩耗改善技術が求められる。

2. 開発の考え方および方法

2.1 電気 Ni-P めっきの選択

本開発の基本目標は、1.2 節で指摘した従来技術の問題点 ~ をクリアすることであり、そのためのベース技術として以下の理由により電気 Ni-P めっきを選択した。

- 1) 低温処理であるために窒化や溶射などで問題となる熱歪みや母材熱変質の恐れがない。
- 2) 膜厚制御範囲が広く(1~500 μm 以上)、高面圧下の転がり摩耗防止に必要な厚膜化が可能である。
- 3) 成膜速度が速く(無電解 Ni-P めっきや電気 Cr めっきの3~5倍)、めっき浴の安定性にも優れる。
- 4) 大量生産および大面積処理が低コストで達成可能な実用的な表面処理技術である。

2.2 耐摩耗支配因子の解明とブレークスルー技術

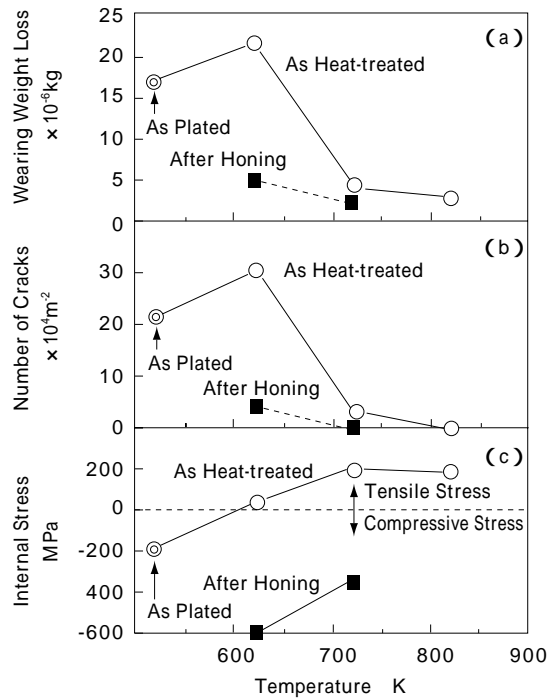
一般にめっき材の耐摩耗性向上には皮膜の高硬度化が有効と報告されている²⁾が、筆者らは従来からの研究³⁾⁴⁾を通して電気めっきによるチタン, アルミの耐摩耗性改善には基材とめっき膜との密着性確保と、めっき膜の高硬度と高靱性の両立が必要であることを認め、これらの課題解決に取り組んだ。

まず、密着性向上に関してはアンカー効果と表面活性化に有効な基板表面の均一粗化エッチング条件の最適化とめっき/基材の結合力を高める適正中間層を抽出し

た。また、後述するようにめっき層の引張応力低減により靱性改善に取り組んだ。

ここで、Ni-P めっきによって引張応力が生ずるのは、Ni の原子半径 (2.44 Å) が P の原子半径 (2.20 Å) にくらべて大きく、P が置換型に固溶して格子が収縮するためである。従来の電気 Ni-P めっきの P 含有量はおよそ 5mass% であり、無電解めっきレベルの 8mass% 以上にまで P を高めればアモルファス化して内部応力が低減することが知られているが、筆者らの研究では P 低減化 (2~3%) の方向で応力低減させ、S などの不純物量制御 (P と同様めっき応力や配向に關与) と結晶配向制御 (<111> / <200> 比が高いほどよい) を併用する方法が靱性向上は格段に優れることを明らかにした。

さらに 靱性を一層向上させるための今回の検討では、ホーニング処理を採用した。第 1 図(a)に示すように、熱処理を施した電気 Ni-P めっきチタン合金の耐摺動摩擦耗性はホーニング処理によって大きく向上することがわかる。第 1 図 (b), (c) はホーニング処理後のめっき皮膜の割れの面密度 (皮膜の靱性に対応) とめっき皮膜の内部応力を調べた結果である。ホーニング処理により割れ発生密度が大きく低減するとともに内部応力が引張から圧縮に転じている。したがって、ホーニング処理はピーニング効果によってめっき皮膜を圧縮応力化して皮膜



第 1 図 熱処理およびホーニング処理を施した電気 Ni-P めっき Ti-6Al-4V 合金の摺動摩擦耗量 (a) とクラック発生密度 (b)、めっき内部応力 (c) の関係
Fig. 1 Relation between heat treatment temperature and sliding wear resistance (a) of Ni-P electroplated Ti-6Al-4V alloy, and number of cracks (b) on the wear tracks and internal stress (c) of the Ni-P films

第 2 図 各種耐摩耗処理の硬度と靱性比較および従来電気 Ni-P と KENI COAT のピッカース押込圧痕近傍の表面状況

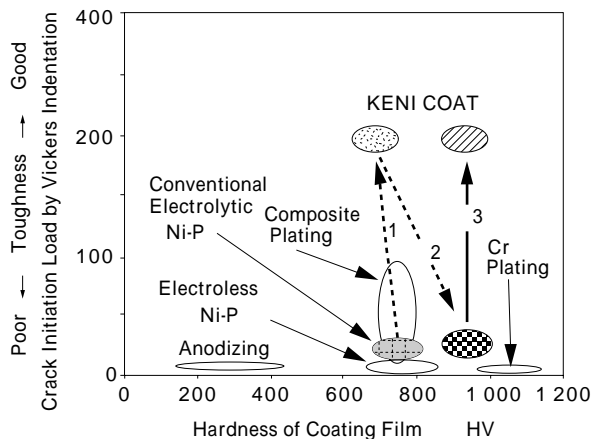
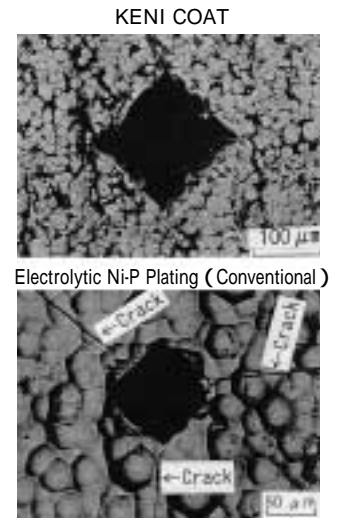


Fig. 2 Relation between hardness (HV) and toughness of the various coating films, and the surfaces in the vicinity of Vickers indentation square holes

1 Control of Internal stress, Microstructure, Orientations, etc
2 Heat Treatment, etc
3 Honing Treatment, etc



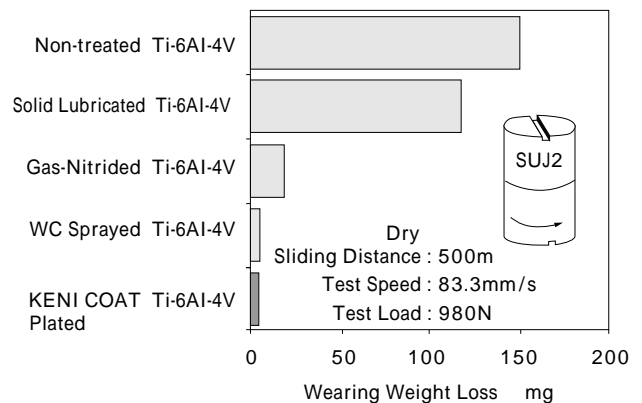
靱性を高めて耐摩耗性向上に寄与するものと考えられる。

第 2 図に前述の応力制御、組織制御、熱処理、ホーニング処理などのアルミ、チタンの表面硬さと靱性に及ぼす効果を示した。これら対応策の実施によって、図中に示すように硬度と靱性がきわめて高度なレベルでバランスしている。なお、第 2 図に示した写真には従来の電気 Ni-P めっきではピッカース押込圧痕周辺にクラックが生じているが、KENI COAT ではクラックが見られず高靱性を有することを示している。

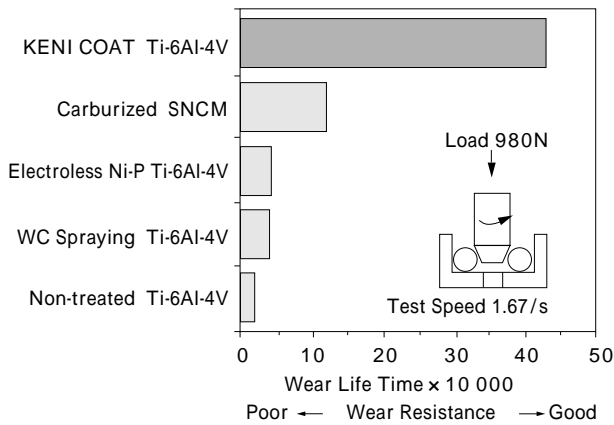
3. KENI COAT の特性

3.1 耐摩耗特性

各種の表面処理を施したチタン合金 (Ti-6Al-4V) の摺動摩擦試験結果の一例を第 3 図に示す。KENI COAT チ



第 3 図 各種表面処理チタン合金の摺動摩擦特性
Fig. 3 Sliding wear resistance of Ti-6Al-4V alloy with various surface treatments

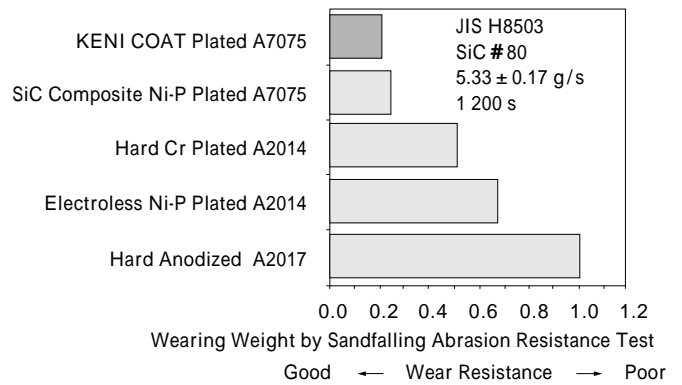


第4図 各種表面処理チタン合金の転動摩耗特性
Fig. 4 Rolling wear resistance of Ti-6Al-4V alloy with various surface treatments

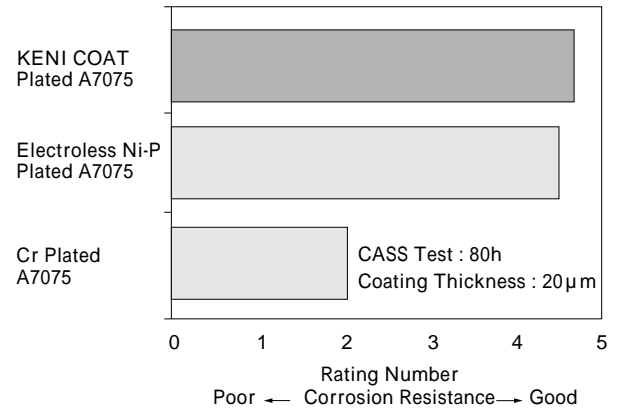
タン合金の耐摺動摩耗性は、摺動摩耗対策として汎用されているガス窒化やWC溶射を施したチタン合金とくらべて同等以上に優れており、無処理チタン合金の30倍以上である。また、第4図に示すように、KENI COATチタン合金の耐転がり摩耗性は鉄系浸炭材よりも優れており、高面圧下の条件においても鉄系材料と同等以上の耐摩耗性を発揮することを示している。ここで、耐摺動摩耗性に優れたWC溶射材の耐転がり摩耗性が劣っているのは、溶射皮膜特有の気孔などの欠陥が起点となって皮膜の欠損や剥離を生じたためと考えられる。表面処理皮膜の靱性の重要性、換言すれば靱性に優れたKENI COATの優位性を示唆している。

次に、代表的な表面処理を施したアルミ合金の耐アブレッシブ摩耗性について砂落とし試験 (JISH8503) より評価した結果を第5図に示す。KENI COAT材は硬質アルマイト (陽極酸化) のみならず、無電解Ni-Pめっきや硬質Crめっき、SiC分散めっきよりも優れている。

以上のように、KENI COATは高密着性で高硬度 (HV 600~800) と高靱性を高度なレベルでバランスさせていることから、摺動摩耗のみならずアブレッシブ摩耗やもっとも過酷な摩耗条件の一つとされる高面圧下の転がり



第5図 各種表面処理アルミ合金のアブレッシブ摩耗特性
Fig. 5 Abrasive wear resistance of Al alloys with various surface treatments



第6図 各種表面処理アルミ合金の耐食性
Fig. 6 Corrosion resistance of Al alloy with various surface treatments

摩耗においても優れた耐久性を発揮する。

3.2 その他の特性

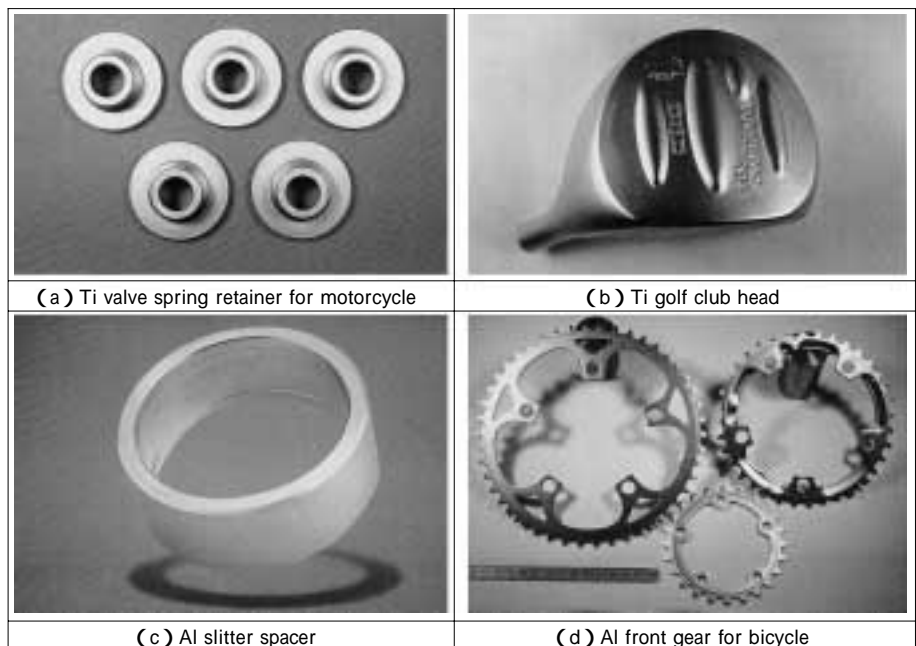
KENI COAT皮膜の海水中での腐食速度は、約0.002 mm/年であり、皮膜自身の一般耐食性はきわめて優れている。ここで、Crめっき、無電解Ni-Pめっき、およびKENI COATの各表面処理を施したアルミ合金 (A7075) のキャス腐食試験結果を第6図に示す。KENI COATは、Crめっきの2倍以上、無電解Ni-Pめっきと

写真1 KENI COATの実用例

- (a) Ti製二輪用バルブリテーナ
- (b) Ti製ゴルフクラブヘッド
- (c) Al製スリッタースペーサ
- (d) Al製自転車フロントギヤ

Photo.1 Examples of Ti and Al products with KENI COAT

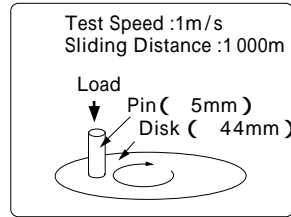
- (a) Ti valve spring retainer for motorcycle
- (b) Ti golf club head
- (c) Al splitter spacer
- (d) Al front gear for bicycle



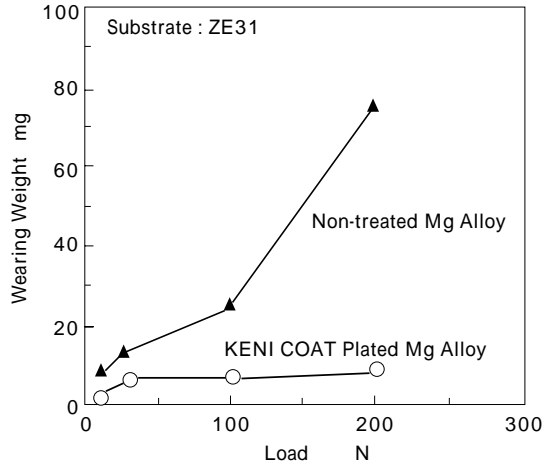
第1表 各種材料へのKENI COATの適用例

Table 1 KENI COAT applicable materials

Aluminum Alloys	Wrought Products	A2017, A4032, A5052, A6061, A7075, etc.
	Castings	AC4C, AC4B, AC8A, ADC12, etc.
Magnesium Alloys	Forgings	ZE31, ZE41, etc.
	Castings	AZ91, etc.
Titanium Alloys	Type	Pure Ti, etc.
	+ Type	Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn, etc.
	Type	Ti-13V-11Cr-3Al, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al, Ti-15Mo-5Zr-3Al, etc.
Others	Iron Alloys	SKD11, SUJ2, FC200, SUS430, etc
	Copper Alloys	C6191, etc.



第7図 KENI COAT マグネシウム合金の摺動摩耗特性
Fig. 7 Sliding wear resistance of magnesium alloy with KENI COAT



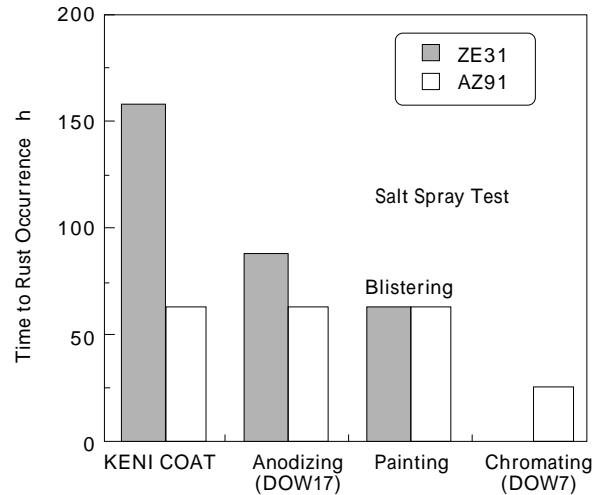
同等以上の基材防食効果を有することが明らかである。さらに、KENI COAT 処理品はシャンペンゴールド色を呈し、黒色化も可能であり、意匠性にも優れている。

4. 適用例

すでに、自動車部品（アルミ製ブレーキ部品）、自動二輪部品（チタン製バルブリテーナ、アルミ製オイルポンプ、アルミ製クラッチなど）、自転車部品（アルミ製フロントギヤなど）、治工具類（アルミ製スリッタースペーサーなど）、精密機械部品、スポーツレジャー製品（チタン製ゴルフヘッドなど）などで実用化を果たしている。代表的な実用化例を写真1に示す。

最後に、これまでに検討した KENI COAT の適用材料例を第1表に示す。第1表から明らかなように、チタン、アルミのみならず、鉄系材料、マグネ、銅系材料などにも適用可能である。ちなみに、KENI COAT を施したマグネ合金の耐摺動摩耗性および耐食性の評価試験結果をそれぞれ第7図および第8図に示す。KENI COAT によってマグネ合金の耐摩耗性や耐食性が向上することが明らかである。

むすび=以上述べたように、KENI COAT はチタン、アルミの耐摩耗性を飛躍的に向上させ、しかも、電気 Ni-P めっきを採用していることから、成膜速度が速く、大量生産および大面積処理を低コストで達成できるというメリットを有している。また、シャンペンゴールド色を呈し、黒色化も可能で意匠性にも優れている。さらに、



第8図 KENI COAT マグネシウム合金の耐食性
Fig. 8 Corrosion resistance of magnesium alloys with KENI COAT

これまで、めっき処理がきわめて困難といわれているマグネシウムにも KENI COAT 処理をすることが可能である。したがって、KENI COAT はチタン、アルミをはじめとした金属素材の用途拡大の実用的な表面高機能化技術の一つとして今後さらなる活用が期待される。

参考文献

- 1) 中山武典ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol. 43, No.3(1993), p.71.
- 2) Ronald N. Duncan : Metal Finishing, 88 (1990), p.11.
- 3) 屋敷貴司ほか：鉄と鋼, Vol. 81 (1995), p.1156.
- 4) Jun Katoh et al. : Proceedings of the International Tribology Conference, Yokohama, (1995), p.631.