

第13回 表面技術

表面硬化

中田 一博*

1. はじめに

構造物の軽量化材料の中ではアルミニウムはマグネシウムおよびチタンよりも安価であり、かつリサイクルが容易なためにプラスチック・樹脂のような産業廃棄物処理の問題は発生しない。しかし、構造用材料としてのアルミ合金の欠点の一つに、鉄鋼材料に比して耐摩耗性が著しく低いことが挙げられる。これを改善するために古くより硬質アルマイトやめっき技術が適用されてきた。しかし、近年アルミ合金をより厳しい環境下の構造用材料に適用しようとしており、これに伴い鉄鋼材料における浸炭焼入や窒化処理のような厚膜表面硬化処理技術の開発が強く求められてきている。平成7年には(財)金属系材料研究開発センターより我が国におけるこの分野の技術開発の現状が「アルミニウム合金の表面厚膜硬化技術」1)としてまとめられ、単行本として出版されている。

本項では、アルミ合金表面に厚さがミリオーダーの厚膜硬化層を形成する代表的な方法として、エネルギー密度の極めて高い集中熱源を利用してアルミ製品の必要な部分にその場で厚膜表面改質層を形成するプロセスについて紹介する。

2. アルミ合金の表面硬化技術の現状

図1はこれまでに公表されたアルミ合金の表面改質に関する特許および文献より表面硬化層の硬さと厚さとの関係をそれぞれの表面硬化法とともに表示したものである。両者の関係は「L字形」を示しており、2つのグループに分けることができる。すなわち、一つは硬さは比較的低いものの、厚さはミリオーダーの厚膜が容易に得られる方法であり、表面溶融合金法に属するものである。

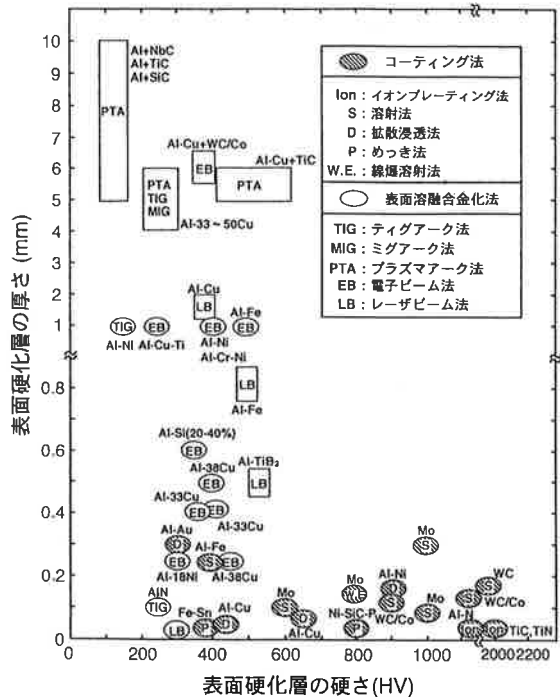


図1 これまでに公表されたアルミ合金の表面硬化層の硬さと厚さの関係 (著者作成)

これは、アルミ合金表面を局部的に溶融し、そこに金属やセラミックス粉末などを添加して、合金化・複合化層をその表面に形成する方法である。

もう一つの方法は厚さは 0.1mm 前後と薄いものの、硬さは HV800 ~ 1000 およびそれ以上の高い硬さが得られる方法であり、アルミ合金表面に硬質物質をコーティングする技術に属する。溶射(S)やめっき(P)などがあり、硬質アルマイトもこの技術に属する。前者の表面溶融合金法では、高硬度化を図るために合金化物質とその組織制御の開発が進められている。また実用的には合金化後にその表面を滑らかに仕上げる必要があるために、この面での対策も不可欠である。後者のコー

*大阪大学 接合科学研究所 助教授

ティング法では、厚膜化を図るために、成膜速度の迅速化、組織傾斜化などによる残留応力の低減およびアルミ合金基材の前処理(下地処理)などによる密着性の改善が今後の検討課題である。

(財)金属材料研究開発センターが行った調査²⁾によれば、軽量化のために鉄系製品をアルミ系製品に置き換える過程で厚膜硬化技術が必要とされることが多く、例えば自動車関係では表1のようなになる。単に耐摩耗性だけではなく、耐焼付性、潤滑性、耐熱性、耐食性などの幾つかの複合機能が要求される場合が多い。

また厚膜硬化の具体的な応用例として、真空機器や金型のアルミ化に伴う高面圧、高荷重を受けるフランジ部、ネジ部やあわせ面などの部分的な強化や耐摩耗性の改善、スライド面や摺動部の耐凝着性の改善などが検討されている。

3. 表面溶融合金化法

3.1 プロセス

表面層を局部的に溶融するために、その熱源にはエネルギー密度の大きな溶接用熱源³⁾が用いられる。これにはティグアーク、ミグアーク、プラズマアーク、レーザービームおよび電子ビームがある。表2に各熱源の特徴を比較して示す。

図2はレーザー合金化法の模式図を示す。合金化(硬化)材料の添加方法には、予め母材表面に添加材料をコーティングした後にレーザービームを照射し、母材とともに溶融して合金化層を形成する方法(プリコート法)とレーザービームを照射してできた溶融池に棒・ワイヤや粉末状の添加材を直接投入して溶融混合し、合金化層を形成する方法がある。表2にも示したようにプロセスによりそれぞれに適した方法がある。

エネルギー密度が比較的小さいアーク法では、表面局所溶融には大入熱が必要なために溶融部は大きくなり、厚膜でかつ一度の処理で10から15mm程度の幅広の合金化層を形成できる。特に、ミグ、プラズマアークでは処理速度も300から500mm/minと速いために大面積にわたって合

表1 厚膜硬化処理が求められるアルミ系製品(自動車)(文献より著者作成)

部品	硬化層		その他の特性
	厚さ(mm)	硬さ(HV)	
シリンダヘッド	3~5	200~300	耐熱衝撃性
ピストン	1~2	300~400	耐熱性、耐食性
ロッカーアーム	0.5以上	500~800	強度、低摩擦係数
カムシャフト	1以上	700以上	強度、耐摩耗性
コンロッド	1~2	700以上	強度、耐摩耗性
エンジン動弁	1以上	700以上	強度、耐摩耗性
オルダムリング	0.5	200~400	摺動特性

表2 表面溶融熱源の特徴

プロセス	パワー密度(W/mm ²)	硬化層厚さ	熱影響の程度	硬化物質添加方法	処理雰囲気	装置コスト
ティグアーク(TIG)	~150	10mm程度	大	棒・線材 コールドワイヤ	大気圧	100~200万円
ミグアーク(MIG)	~150	10mm程度	大	線材 コールドワイヤ	大気圧	100~200万円
プラズマアーク(PTA)	~1000	20mm程度	大	棒・線材 粉末材	大気圧	1000~2000万円
電子ビーム(EB)	10000以上	10~15mm程度	小	棒・線材(静置法) プリコート	高真空	1~2億円
レーザービーム(LB)	10000以上	数mmまで	小	棒・線材 粉末材 プリコート	大気圧(減圧)	1~2億円

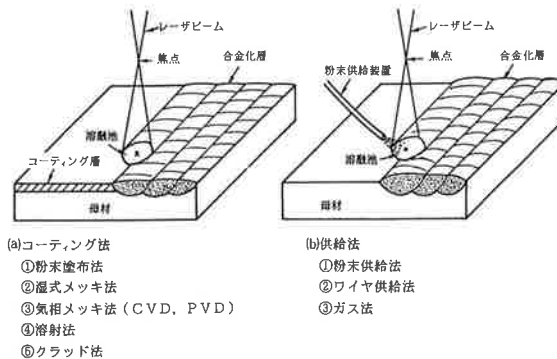


図2 レーザ合金化法の模式図

合金化層を形成するのに適している。しかし必然的に母材への熱影響や変形は大きくなる。

これに対してエネルギー密度の大きな電子ビーム法では小入熱で、比較的厚膜で、かつ幅の狭い合金化層を形成できるため、熱影響や変形を嫌う小型・精密部品の局所合金化処理に適している。レーザービーム法も電子ビーム法と同様であるが、電子ビーム法が真空室内での処理であるのに対して、レーザービーム法は大気中での処理が可能な利点がある。しかし母材へのエネルギー吸収率が悪

いために、膜厚は1 mm 程度である。いずれもビームの高速ウイーピング手法を適用することにより、アーク法並の 10mm 程度の幅広の合金化層を得ることも可能である。

3. 2 合金化材料と合金化層の特性との関係

代表的な合金化材料にはガス、金属（合金）、セラミックスがある。ガスは硬化に対する効果が小さいので、ここでは金属とセラミックスについて説明する。

(1) 金属

金属添加では、熔融アルミニウムとの反応により合金化層を形成し、主として硬質のアルミ基金属間化合物などにより、合金化層の硬さを増加させる。図3は合金化層の合金量と硬さの関係を示す。合金量の増加とともに金属間化合物の生成量の増加に対応して硬さも増加する。しかし、その生成量が増加し、大きな塊状もしくは層状を呈すると、合金化層の冷却中に割れが発生しやすくなり、硬さではほぼ HV300 以上では割れが発生する。このため金属添加ではこれ以上の硬さの増加には限界がある。

得られる合金化層の形成組織はアルミニウムと添加元素の状態図にほぼ従う。図4にプラズマアーク法による合金化層の断面組織写真を示すが、共晶系のシリコンや銅では均一な合金化層が得られるが、クロムやチタンのように包晶、偏晶系の金属粉末では、表面に化合物層を形成し、均一な合金化層は得られにくい。また、ニッケルのように包共晶系の場合には、両者の中間的な形態を示す。

したがって、金属元素の中では、合金化層の形成の容易さ、耐割れ性および硬さの観点より、銅およびシリコンが有効である。これは硬質粒子である CuAl_2 および Si がアルミマトリックス中に均一に分散するためである。

銅を約 50 %まで含むアルミ-銅合金棒やアルミ-銅複合ワイヤがティグ、ミグアーク法用の合金化材として開発されている。図5は、ティグ法によるアルミ合金製フランジ面への適用例である。

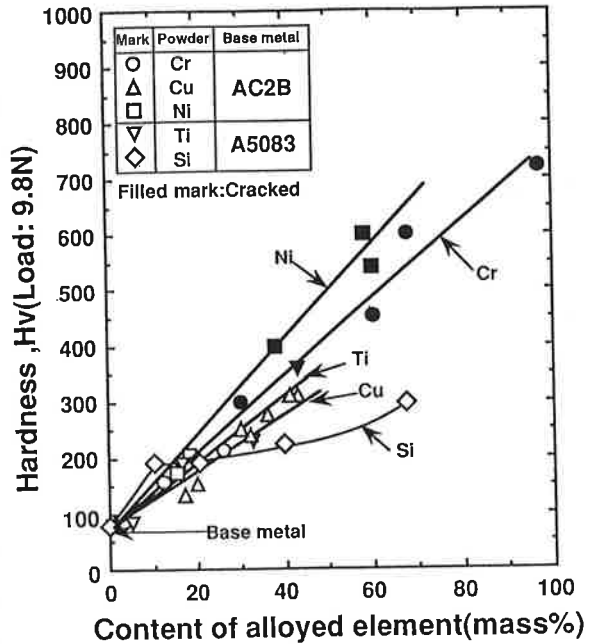
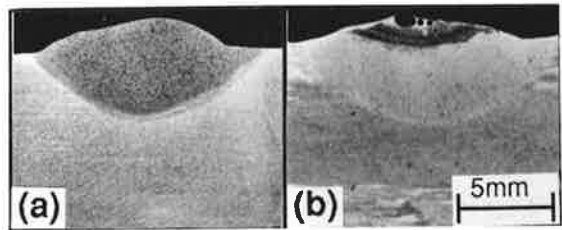


図3 プラズマアーク合金化層硬さに及ぼす各種合金添加量の影響



(a) シリコン添加 (b) チタン添加

図4 プラズマアーク合金化層断面マクロ組織例

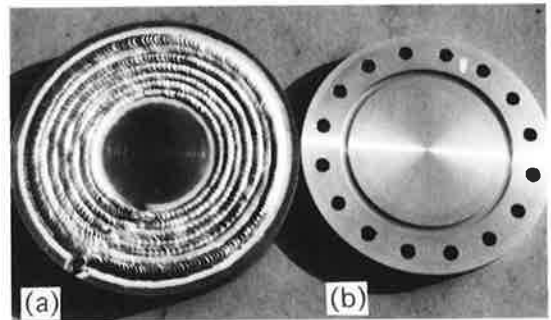


図5 厚膜硬化処理を施したアルミ合金製フランジ (a) 合金化処理、(b) 合金化処理後機械加工 (ティグ法、大阪富士工業(株)提供)

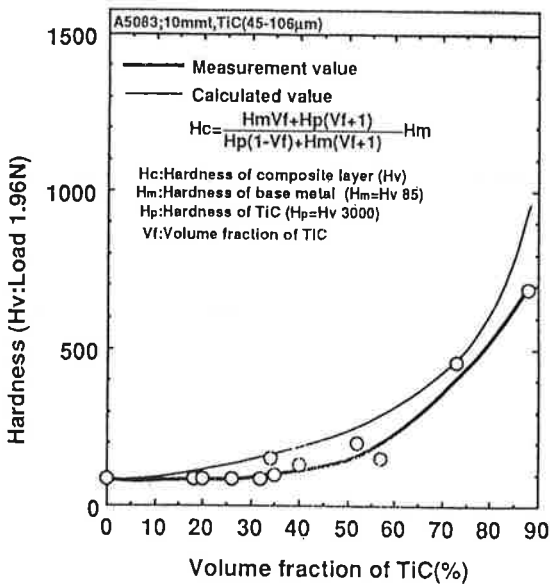


図6 TiC粒子複合化層の粒子体積率と硬さの関係

(2) セラミックス

溶融池内へセラミックス粒子を添加することにより、アルミ合金表面にセラミックス粒子分散層を必要な部位にその場で形成することができる。粒子分散複合化層は炭化物および硼化物において得られやすいが、窒化物、酸化物、ケイ化物では溶融アルミ(1000～1400℃まで過熱されている)と反応して分解する傾向が強い。また均一な粒子分散を得るためには、セラミックス粒子の粒度と

密度が大きく影響する。図6は、TiC粒子複合化層のTiC体積率と硬さの関係を示す。両者の関係は粒子分散型の複合則にほぼ従っており、硬さはTiC体積率が約50%以上において急激に増加する。

また金属との同時添加はアルマトリックスを強化するために、硬さおよび耐摩耗性のより一層の向上が図れる。

4. おわりに

アルミ合金の厚膜表面硬化技術はまだ開発途上の技術であるが、この技術を応用することにより、新たな機能を持った軽量化材料としてアルミ合金を再認識して頂ける一助となれば幸いである。なお紙面の関係もあり、本技術の詳細は参考文献1)をご参照願いたい。

参考文献

- 1) (財)金属系材料研究開発センター編：アルミニウム合金の表面厚膜硬化技術、日刊工業新聞社(1995).
- 2) (財)金属系材料研究開発センター：アルミニウム系新材料の高機能化に関する調査部会報告書(1987).
- 3) 沖田：アルミニウム合金の溶接、アルミプロダクツ、No.88(1998.8),16-25.