

軽合金の表面硬化処理に関する研究 ～肉盛溶接法による表面硬化～

素材開発室 福島 清

金属分析室 大貫 幸男, 石川 隆朗, 森 宏

Study on Surface-Hardening Treatment for Low-Alloys ～ Surface-Hardening by Welding Method ～

Kiyoshi FUKUSHIMA, Yukio ONUKI, Takaaki ISHIKAWA and Hiroshi MORI

Al合金やMg合金素材に表面硬化処理を行い、硬く磨耗しにくい軽合金材料を作製する。今年度は、溶加棒を用いたTIG肉盛溶接法により、素材と溶加棒成分から成る溶接金属部を形成し、その特性を評価した。Al合金素材の場合は、Zn溶加棒使用では150～200HVの硬さが得られ、Mg合金素材の場合は、Zn溶加棒使用では360HVの最高硬さが得られた。これらの値は試験片最表面の値ではないので、切削加工により硬い面を表面にあらわし出すことが必要となる。

1. はじめに

鉄(Fe)と比べて、アルミニウム(Al)やマグネシウム(Mg)、チタン(Ti)などの非鉄合金材料は比重が小さく、比強度が大きかったり耐食性に優れていたりする。これらの材料は絶対的な強度や硬さでは鉄鋼材料には及ばないが、近年、製品部材の軽量化の観点から、多方面で使用されるようになってきた。しかも、これらの製品部材にも硬さや耐摩耗性を要求されることもある。

本研究では、Al合金やMg合金素材に表面硬化処理を行い、磨耗しにくい軽合金材料を作製することを目的とした。今年度はこれらの合金素材表面に、溶加棒を用いた肉盛溶接法により、素材と溶加棒成分から成る合金層を形成し、このことによ

り表面部の硬化を図り、各種の特性を評価した。

2. 実験方法

2.1 使用材料

試験片素材として、Al合金展伸材A5083とダイカスト用Mg合金板材MDC1D (ASTM AZ91D)を用いた。試験片寸法について、Al合金は7×25×50mm、Mg合金は10×25×50mmの寸法に切断した。

Al合金の化学成分を表1、Mg合金のそれを表2に示す。

溶加棒としては、

純アルミニウムワイヤ (Al 99.95%)

純亜鉛ワイヤ (Zn 99.95%)

純すずワイヤ (Sn 99.9%)

マグネシウム棒 MDC1D (Mg90%-Al1%)

を用いた。純アルミニウム及び純亜鉛のワイヤは市場性があり、一般に流通している。Mgワイヤについては市販されていなかったため、厚さ1.0mmのMDC1D板材を幅2mm程度に切断して、溶加棒として使用した。

2.2 溶接条件

溶接は手動のTIG溶接法により行った。溶接条件は次のとおりである。

溶接電流：交流 50A

シールドガス：アルゴン 10ml/分

溶接トーチ速度：100～150mm/分

表1 Al合金の化学成分

材質	元素 (%)						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
A5083	0.15	0.20	0.015	0.66	4.40	0.11	0.007

表2 Mg合金の化学成分

材質	元素 (%)						
	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe
MDC1D	9.2	0.67	0.23	0.02	0.004	≤ 0.001	≤ 0.001

JIS MDC1D=ASTM AZ91D

溶接回数（層数）は1回（ワンパス，1P），又は2回（ツーパス，2P）とした。1回目は溶加棒を使用し，合金板素材に肉盛溶接した。2回目を溶接する場合は溶加棒を使用しなかった。

評価試験は溶接余盛を残したものと，ベルト研磨しツライチ程度に余盛除去したものについて行った。

2.3 評価試験機器

評価試験に使用した機器は，次のとおりである。

- (1) ビッカース硬さ測定：微小硬度計，松沢精機（株） MHT-1：測定荷重は25gf
- (2) 金属組織成分分析：電子線マイクロアナライザー（EPMA）（株）島津製作所 EPMA-1600
- (3) 結晶解析：X線回折装置
マックスサイエンス（株） MXP-3A
- (4) 耐食性：塩水噴霧試験機
スガ試験機（株） STP-120

3. 結果及び考察

3.1 溶接金属の健全性

これら軽合金素材に各種の溶加棒を使用して溶接した場合，すべての組合せで健全な溶接金属が得られたということでは無い。表3に溶接金属の健全性を示す。Al素材+Mg溶加棒及びMg素材+Sn溶加棒の組合せでは，表に示したとおり，ブローホールの多い溶接金属となった。

3.2 EPMA面分析

溶接余盛を残したまま，試験片断面部のEPMAマッピング（面分析）を行った。その例として，素材+溶加棒：回数の組合せで，写真1にAl+Mg：1Pを，写真2にMg+Zn：1Pを示す。

写真1で，溶接金属部の上部（余盛）はMgリッチなMg-Al合金であり，底部はAlリッチなMg-Al合金である。

写真2で，溶接金属部の上部（余盛）はZnリッチなMg-Zn合金である。溶接金属部の底部は写真

表3 溶接金属の健全性

溶加棒 素材	Al	Mg	Sn	Zn
Al	△	×	○	○
Mg	△	△	×	△

○ ブローホールなどの溶接欠陥がほとんど無い

△ ブローホールなどの溶接欠陥が少しある

× ブローホールなどの溶接欠陥が多い

1とは異なり、境界に沿って層状に凝固した相があり，この部分は形態的には金属間化合物と思われる。

これらの写真は元素濃度勾配が顕著に現れたものであり，濃度勾配に明瞭な差が盛られない試験片もあった。後者はツーパス溶接に多く見られた。合金状態図において，形成されるものが，共晶・共析か，固溶体か，金属間化合物かによって凝固組織は異なった性状を示す。

3.3 硬さ測定

溶接余盛を除去した試験片断面を，マイクロビ

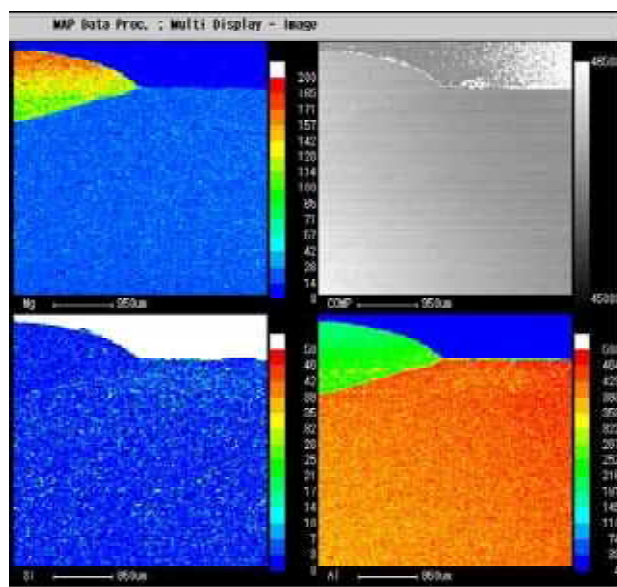


写真1 Al+Mg：1P EPMAマッピング

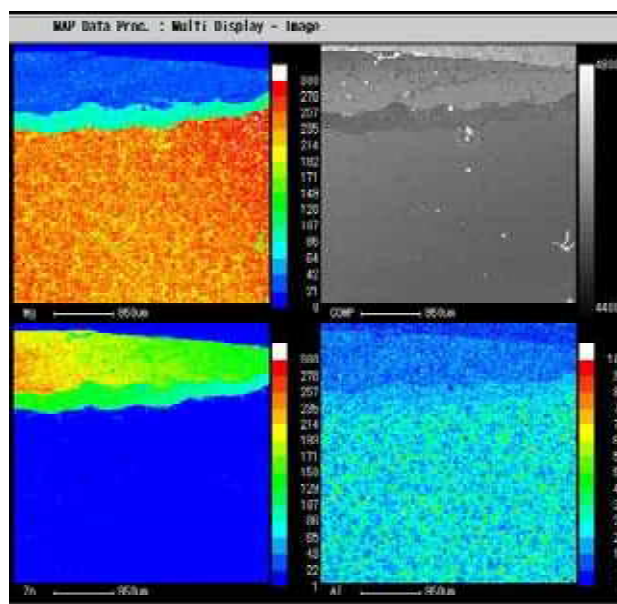


写真2 Mg+Zn：1P EPMAマッピング

ツカース硬さ測定した。Al素材の硬さ測定結果を図1に、Mg素材のそれを図2に示す。

図1において、Al合金素材部は80HV前後である。溶加棒Snの場合、溶接金属部はAl合金素材部よりかなり軟らかく、軟質金属であるSnの影響を受けていると思われる。MgやZnの場合は、素材部より溶接金属部は硬くなっている。Mgでワンパス溶接の場合、ツライチ表面に近い部分は硬くは無いが、溶接金属底部では250~270HVと硬くなった。しかし、ツーパス溶接では熱影響を受けてか、硬さの低下が認められた。

図2において、Mg合金素材部は70HV前後である。値の大小はあるが、すべての溶加棒において、溶接金属部は素材部より硬くなっている。Snの場合、最大で140HV程度の値が得られた。Alの場合、ワンパス溶接では260HV程度の硬さが得られたが、ツーパス溶接すると硬さは低下した。Mgの場合、ワンパスでもツーパスでも、250~360HVと硬くな

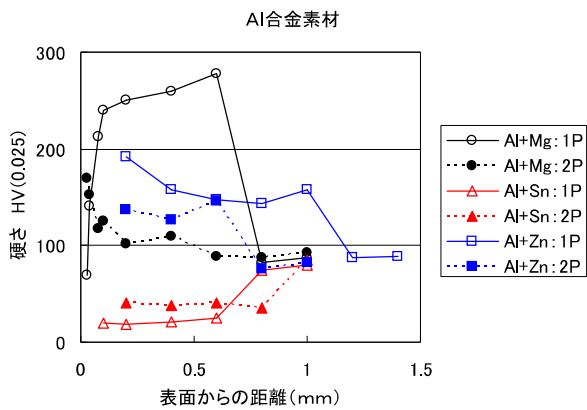


図1 Al合金素材+溶加棒試験片の断面硬さ

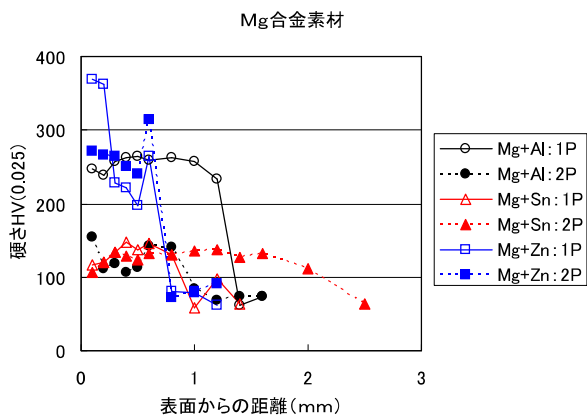


図2 Mg合金素材+溶加棒試験片の断面硬さ

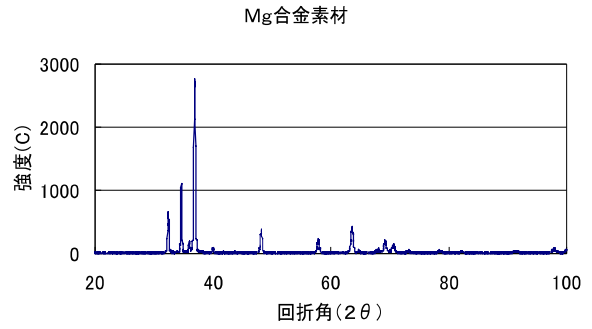


図3 X線回折図形 (Mg合金素材)

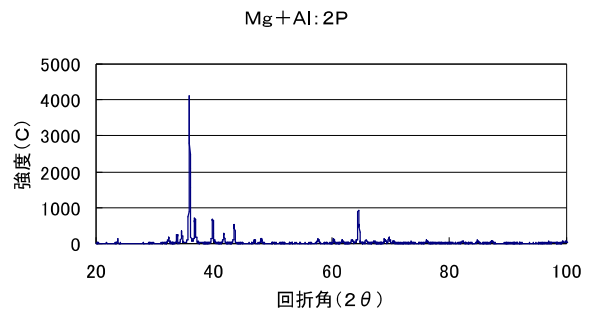


図4 X線回折図形 (Mg+Al: 2P)

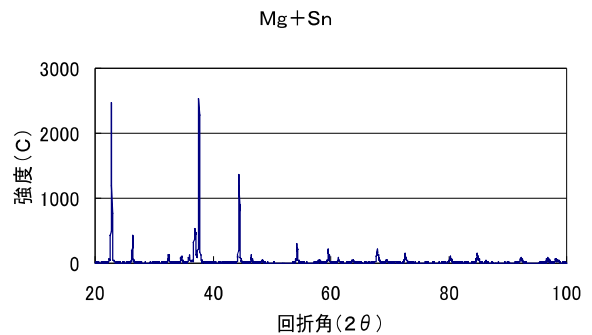


図5 X線回折図形 (Mg+Sn: 2P)

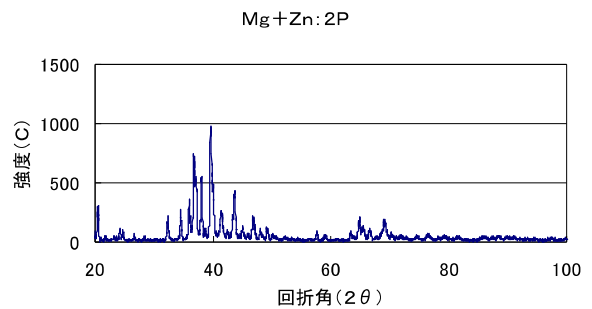


図6 X線回折図形 (Mg+Zn: 2P)

った。

本実験では、シャフト摺動部などに使われることを想定して、模式的な溶接実験を行った。シャフトなど丸棒形状では、溶接余盛があるまま対磨耗性部材として使用されることは無く、切削加工仕上げなどして用いられることになる。加工の最終仕上げ面に硬化部分が出てくるようにしなければならない。そのため、自動溶接により硬化部分の位置関係を一定にしなければならない。今回は溶接後に熱処理をしなかったが、後熱処理により、異なった金属組織があらわれる可能性もある。

また、本研究では局部的な表面硬化を想定しており、部材全体を硬化させるには不適である。

3.4 X線回折

Al合金及びMg合金素材の余盛除去した試験片について、表面側からX線回折を行った。

その例として、Mg合金素材関連の測定結果を図3～6に示す。X線回折結果については回折ピークの同定が難しく、解析しきれていない。得られた合金層が金属間化合物か固溶体かを判定するに

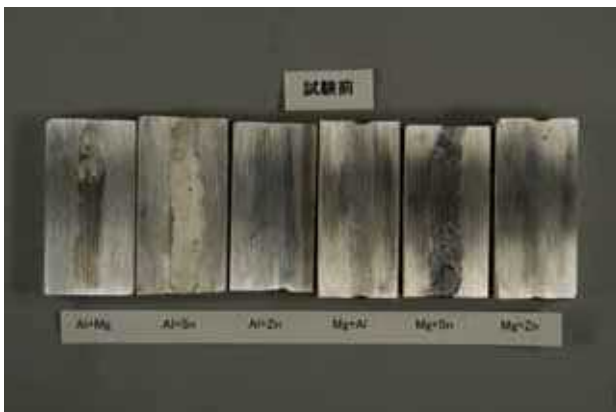


写真3 中性塩水噴霧試験（試験前）



写真4 中性塩水噴霧試験（96時間後）

は更なる解析が必要である。

3.5 中性塩水噴霧試験

余盛を除去した各試験片について、96時間の中性塩水噴霧試験を行った。写真3に試験前を、写真4に試験後を示す。Al合金とMg合金とを比べると、前者の方がさび量は少ない。また、Al合金でもMg合金でも、溶接金属と素材部を比べると前者の方が概ねさび量は少なく、溶接金属表面にはややさびが進行しにくい皮膜が形成されているように思われる。

4. まとめと今後の課題

TIG肉盛溶接法により、Al合金及びMg合金素材表面に溶接金属部を形成した。今回行った溶接条件では、得られた溶接金属部の硬さは次のとおりである。

- 1) Al合金素材(約80HV)の場合、Mg溶加棒使用では250～270HVの最高硬さとなったが、溶接金属部は溶接欠陥が多いものであった。Zn溶加棒使用では150～200HVの硬さが得られた。
- 2) Mg合金素材(約70HV)の場合、Zn溶加棒使用では360HVの最高硬さが得られた。Al溶加棒の場合は、260HVの硬さとなった。

これらの値は最表面の値ではないので、切削加工により硬い面を表面にあらわし出すことが必要となる。

今後の課題としては次の事項が挙げられる。

- 1) 本実験では、模式的な溶接実験を行った。シャフトなど丸棒形状では、切削加工仕上げなどして用いられることになり、硬化部分が表面に出てくる必要がある。そのため、自動溶接により溶接金属の硬い部分が一定位置になるようにする必要がある。
- 2) ワイヤの市場性について考えると、AlやZnワイヤが良い。また、TIG溶接法では素材の熔融温度の関係で、他の高融点金属ワイヤを使用できなかった。それは、そのワイヤがより低温の熔融池に接触して熔融しないからである。ただ、高融点金属でも他の金属との合金ワイヤにすれば融点の方が下がる傾向があるので溶加棒として使用できるようになる。

参考文献

- 1) アルミニウム合金の表面厚膜硬化技術，金属系材料研究開発センター編 日刊工業新聞社