

研究論文

오버레이 용접법에 의한 Al-Cu 합금 경화후막의 특성

朴正植* · 梁炳模** · 朴景采**

A Characteristics of Thick and Hard Al-Cu Alloy by Overlaying Welding Process

Jung-Sik Park*, Byoung-Mo Yang** and Kyeong-Chae Park**

Key Words : Aluminum Alloy (알루미늄 합금), Surface Hardening (표면경화), Overlaying (오버레이, 살붙이기) MIG Welding (불활성가스 금속아크용접), TIG Welding (불활성가스 텅스텐아크용접)

Abstract

It was attempted to improve the wear resistance of Al alloy under the load condition by making a formation of the thicker surface hardening alloy layers. The thicker surface hardening alloy layers were formed on 6061 Al alloys overlayed by MIG and TIG welding process with Cu powders feeding.

The characteristics of hardening and wear resistance have been investigated in relation to the microstructures of alloyed layers, with a selection of optimum alloying conditions for formation of overlaying layer.

The results obtained were summarized as follows ;

With increasing feeding rate of Cu powders by MIG welding, the hardness and specific wear of the overlay weld alloys were increased. It is considered that these high hardness and specific wear of overlay weld alloys were due to the formation of θ (Al_2Cu) phases.

With increasing feeding rate of Cu powders by TIG welding, the hardness and specific wear of the overlay weld alloys were increased in feeding rates 12 and 18g/min. However, the hardness and specific wear were decreased in the powder feeding rate 38g/min. It is considered that decrease of hardness and specific wear in the powder feeding rate 38g/min due to formation of γ (Al_7Cu_6) phases.

* 정회원, 대구보건전문대학 용접공학과

** 정회원, 경북대학교 금속공학과

Therefore, it is considered that optimum conditions for excellent characteristics of overlay weld alloys are formation of many θ (Al_2Cu) phases in Al alloys overlaid by welding process.

1. 서 론

Al 및 그 합금은 가볍고 비강도가 높은 특성을 이용하여 항공기, 자동차, 철도 차량, 선박 등의 수송기기 및 산업기기 분야¹⁻⁴⁾에 널리 이용되고 있으나 최근 산업구조의 복잡화, 고기능화 및 고품질화 등에 의한 부가가치가 높은 제품과 이들에 관련된 기술의 개발을 기대하고 있다. 특히 신소재 개발에 대한 표면개질에의 복잡화와 개량화 및 고강도화 또는 기능화 등이 요구되고 있다. 이를 위해 최근에 급속히 진전하고 있는 각종 플라즈마, 레이저 빔, 전자 빔 및 HIP 등 특수처리의 새로운 기술을 조합한 표면개질 기술이 발전되고 있다⁵⁻⁸⁾.

이러한 표면개질 기술중에서 오버레이는 종래부터 강에서 마모된 부분을 보수하거나, 고급 특수강 대신에 저합금강을 이용하여 미리 예측한 마모 표면에 두꺼운 경화피막을 입히는 것이다. 경화합금으로는 Co기, Ni기 그리고 Fe기 및 WC 등이 있으며, 표면경화 오버레이에 사용되는 용접법으로는 아크 용접법, 가스용접법, 용사법 등이 있으며, 특수 고급합금의 용착용으로 PTA(Plasma Transferred Arc)법 등⁹⁾이 있다. 그러나 현재 산업의 발달과 함께 재료의 경량화와 보다 높은 기능화를 Al계 소재에서 찾고자 하는 움직임이 고조되면서, 수 μm 정도에서 수 mm 정도의 후막형성이 자동차, 산업기기 및 항공기 분야에서 크게 요구되고 있다¹⁰⁻¹³⁾.

한편 TIG, MIG 용접을 이용한 알루미늄 합금의 표면개질에는 복합분말 재료를 우선 도포하는 방법, 분말 송급가스를 이용하여 용융지내로 분말을 연속적으로 공급하는 방법, 알루미늄 합금 첨가재나 복합분말을 넣은 용가재 (filler metal)를 이용하는 방법이 있으며, 이와 같은 방법은 다른 오버레이 피막형성법에 비하여 양산성(量産性)이 우수하여 향후 Al 합금의 표면개질에 폭넓게 사용될 것으로 기대된다¹⁰⁾.

따라서 본 연구에서는 이상의 여러가지 표면개질법 중에서 TIG, MIG 용접을 열원으로 하여 용융지 내에 연속적으로 Cu 분말을 공급하는 방법을 이용하여 Al 표면에 경질의 두꺼운 오버레이층을 형성시키고, 이에 대한 개질향상 및 특성을 조사 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 모재 및 사용분말

오버레이층의 기지 재료로는 전형적인 열처리형 합금인 Al 6061 판재 (10mmT×100mmW×150mmL)를, 표면경화 오버레이층을 형성시키기 위하여 송급분말은 순수한 Cu를 사용하였다. Photo. 1은 사용된 분말의 SEM 조직사진으로서 분말의 평균 입도는 약 70 μm 정도이었다.

2.2 오버레이 합금층 형성법

오버레이 합금층은 MIG 및 TIG 용접기를 이용한 아크열에 의해 용가재 혹은 모재의 일부를 용융시킨 용융지내에 분말을 연속적으로 투입하여 형성하였다. 이때 분말의 투입은 외부에 별도로 설치된 노즐을 통하여 분말을 공급하는 외부노즐법을 이용하였다.

2.3 오버레이 합금층의 형성 조건

MIG 용접조건은 전압 30V, 전류 240A, 용접속도 25cm/min이었다. 용가재는 직경 1.6mm의 Si 함량 약 10%인 4047 용접 와이어를 사용하였으며, 용접시 와이어의 공급속도는 480cm/min 이었다.

TIG 용접조건은 전압 27V, 전류 240A, 용접속도 20cm/min이었고, 전극으로는 직경 2.4mm의 순텅스텐봉을 사용하였다.

이와 같은 용접조건은 용융지내에 분말을 공급

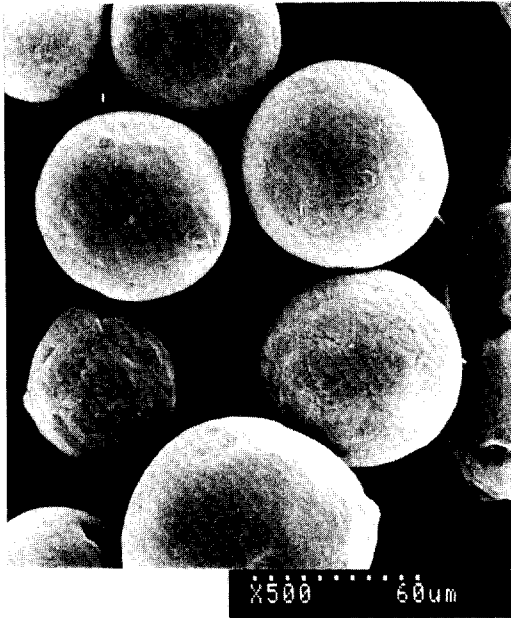


Photo 1. Shapes and size of Cu powders.

하지 않은 상태에서 비드형상이 가장 좋은 조건을 기준으로 선정하였다.

2.4 합금화층의 조직관찰 및 생성상 조사

합금화층의 단면 미세조직은 광학 및 주사전자 현미경을 이용하여 관찰하였다. 또한 미소 영역의 성분분석 및 생성상은 EDS 및 XRD에 의해 조사하였다.

2.5 경도 및 마모시험

Fig. 1은 경도 및 마모특성을 조사하기 위한 오버레이층의 시험부위를 모식적으로 나타낸 것으로, 이 그림과 같이 모재로부터 약 1mm 윗부분을 절단한 후 그 절단면에 대하여 경도 및 마모시험을 행하였다.

합금화층의 경도 특성을 검토하기 위하여 비드 단면의 경도는 마이크로비커스 경도계를 이용하여 조사하였다. 이때 측정하중은 500g으로 일정하게 하였다.

합금화층의 마모특성은 大越式摩滅試驗機를 이

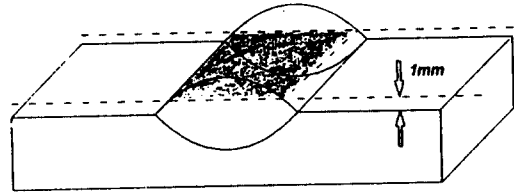


Fig. 1 Schematic diagram for hardness and specific wear test.

용하였다. 상대재로는 직경 50mm, 두께 3mm의 회전원판(SUJ2, Hv 750)을 이용하였다. 이때 하중은 30N, 마모거리는 1,000m, 마모속도는 2m/sec로 일정하게 하고 아래 식을 이용하여 비마모량을 구하였다.

$$Ws = B bo^3 / 8 r P_o L_o$$

Ws : 비마모량 (mm³/Nm)

r : 회전 원판의 반경 (mm)

B : 회전 원판의 두께 (mm)

P_o : 하중 (N)

bo : 마모흔의 폭 (mm)

L_o : 마모거리 (m)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 MIG 용접열원을 이용한 Al-Cu 합금 오버레이층 형성

Photo. 2는 4047 용접용 와이어를 이용한 MIG 용접에 의한 오버레이층의 현미경조직 사진으로, 초정 Al 및 공정 Al-Si가 형성되어 있음을 알 수 있다¹⁰⁾.

Fig. 2는 MIG 용접에 의한 오버레이 용접에서 Cu 투입량(12, 18, 38g/min)에 따른 오버레이층의 X-선 회절시험 결과이다. 투입량에 관계없이 오버레이층은 Al 및 θ상으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Photo. 3은 MIG 용접에 의한 오버레이 용접에서 Cu분말 투입에 대한 오버레이층의 조직사진을 나타낸 것이다. Cu 분말의 투입량이 증가함에 따라 그림 2와 비교 검토하면 초정상의 양이 증가하고,



Photo 2. Microstructure of Al alloys overlaid by MIG welding process.

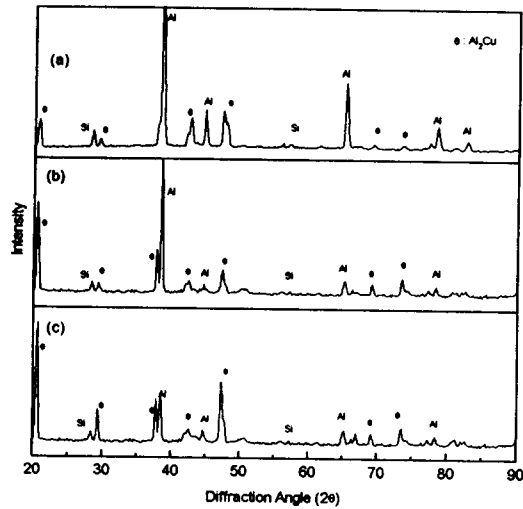


Fig. 2 XRD diffraction patterns of Al alloys overlaid by MIG welding process with Cu powder feeding.
(a) 12g/min (b) 18g/min (c) 38g/min

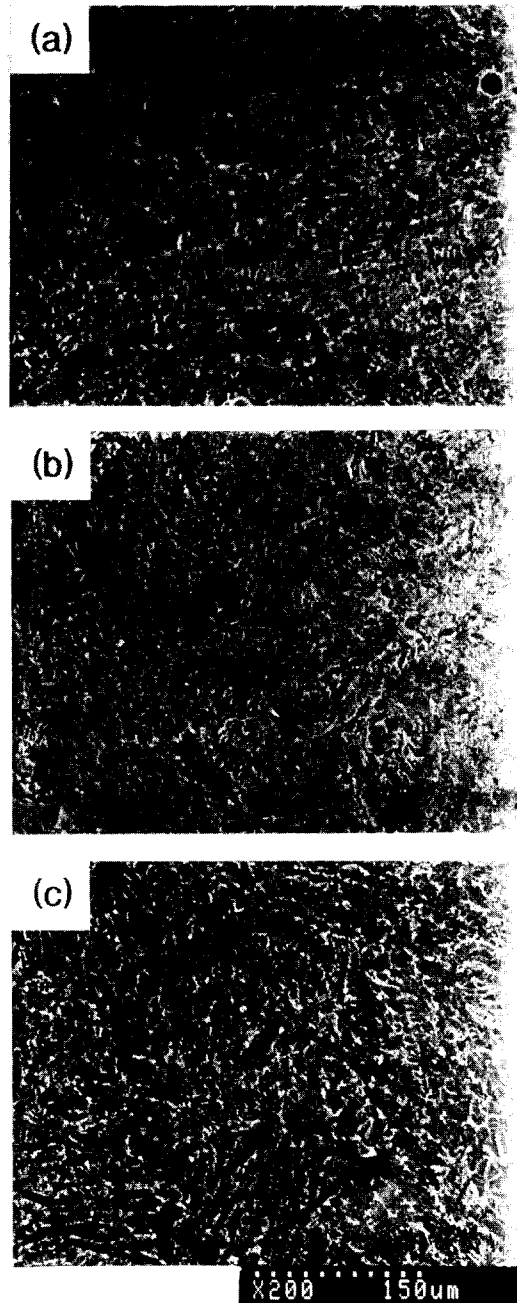


Photo 3. Microstructures of Al alloys overlaid by MIG welding process with Cu powder feeding.
(a) 12g/min (b) 18g/min (c) 38g/min

기지는 Al + θ 상의 공정조직으로 되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 사진 3에서 Cu 투입량이 12g/min의 경우 조직을 확대한 것으로 초정상 θ 와 미세한 공정기지 Al + θ 로 이루어져 있음을 알 수 있다. 여기서 화살표로 표시한 초정상에 대한 EDS 분석결과 θ (Al₂Cu)로 오버레이층은 Al-Cu의 과공정임을 알 수 있다. 한편 용가재내에 포함되어 있던 10%의 Si는 오버레이층 내에 미세하게 분산된 상태로 존재하였다.

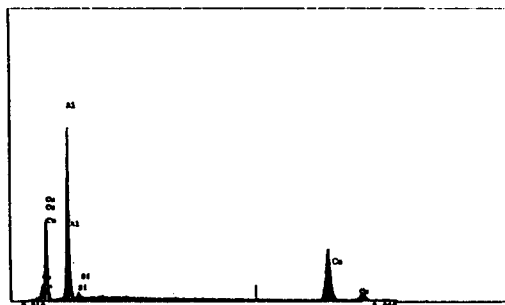


Fig. 3 EDS analysis of Al alloys overlaid by MIG welding process with Cu powder feeding rate 12g/min.

Fig. 4는 Cu 분말 투입량에 따른 경도 및 내마모성을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 분말을 투입하지 않은 경우, 그 경도값은 Hv 70 정도였으나 그

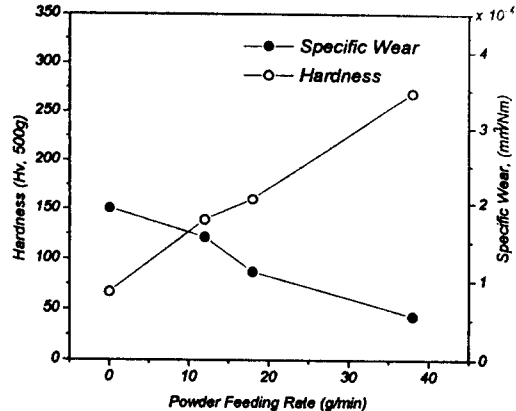


Fig. 4 Hardness and specific wear of Al alloys overlaid by MIG welding process with Cu powder feeding.

투입량이 증가함에 따라 경도는 상승하여 38g/min의 경우 약 Hv 270 까지 상승하였고, 내마모성도 투입량이 증가함에 따라 매우 향상되었음을 알 수 있다. 이는 Cu 투입량이 증가함에 따라 θ 상의 양이 증가되었기 때문으로 판단된다.

3.2 TIG 용접열원을 이용한 Al-Cu 합금 오버레이층 형성

Photo. 4는 TIG 용접열원을 이용하여 모재인 Al 6061 합금에 대하여 별도의 분말을 투입하지 않고 재용융시킨 용융비드에 대한 미세조직 사진으로 Al 기지 및 결정립계에 Mg₂Si 및 AlFeSi가 산재하는 전형적인 6061 Al 합금의 응고조직을 나타내고 있다¹⁵⁾.

Photo. 5는 TIG 용접에 의한 오버레이 용접에서 Cu 분말 투입에 따른 오버레이층의 조직사진을 나타낸 것이다. 이때 투입된 분말의 양은 MIG 오버레이 용접의 경우와 마찬가지로 각각 12, 18, 38g/min 이었다. 오버레이층의 조직은 Cu 분말의 투입량이 증가함에 따라 미세화됨을 알 수 있다.

이에 대한 구체적인 변화를 확인하기 위하여 X-선 회절시험을 하였다. Fig. 5는 TIG 오버레이용접에서 Cu 투입량에 따른 오버레이층의 X-선 회절시험 결과로 Cu의 투입량이 12 및 18g/min인 경우에는 θ 상 및 Al 상이 확인되었다. 그러나 Cu 투입

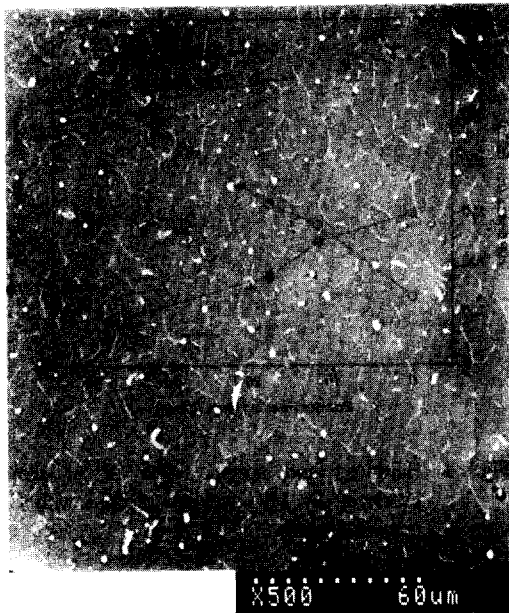


Photo 4. Microstructure of Al fusion zone by TIG welding process.

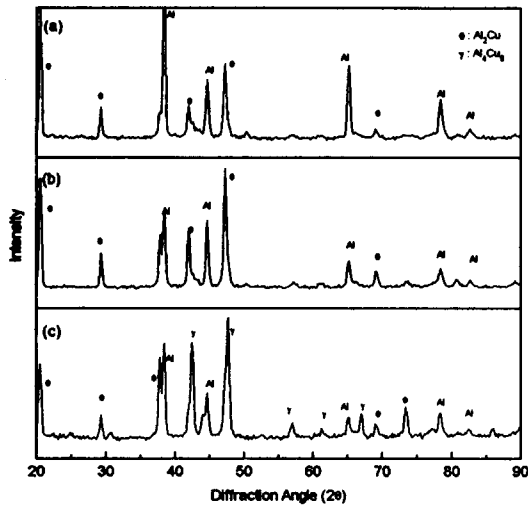
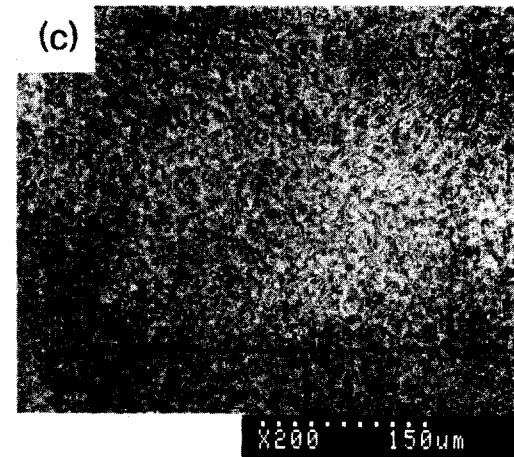
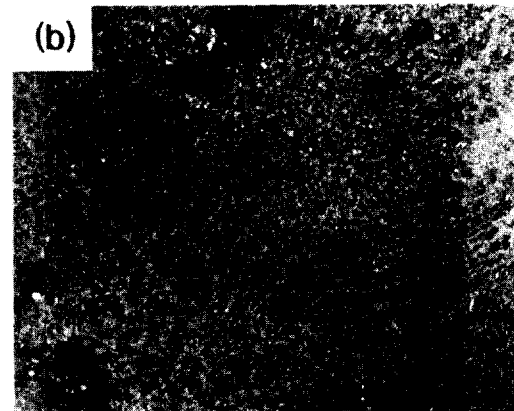
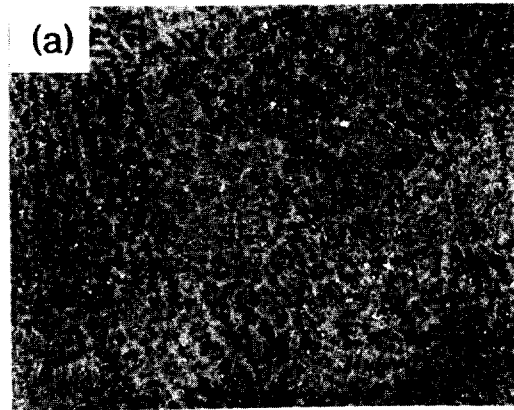


Fig. 5 XRD diffraction patterns of Al alloys overlaid by TIG welding process with Cu powder feeding.
(a) 12g/min (b) 18g/min (c) 38g/min

Photo 5. Microstructures of Al alloys overlaid by TIG welding process with Cu powder feeding.
(a) 12g/min (b) 18g/min (c) 38g/min

량이 38g/min인 경우 다량의 $\gamma(\text{Al}_2\text{Cu}_3)$ 상 및 θ 와 Al_2Cu 가 생성되었음을 알 수 있다. 즉 투입량이 증가함에 따라 오버레이층의 주된 상이 θ 에서 γ 로 바뀌었음을 알 수 있다.

Fig. 6은 Cu 분말 투입량이 12 g/min인 경우의 오버레이층이고, Fig. 7은 Cu 38 g/min인 경우의 오버레이층에 대한 EDS 분석 결과를 나타낸 것이다. 여기서 Fig 5의 XRD 분석결과와 비교 분석하면 Cu 분말의 투입량이 12g/min인 경우는 초정상으로 $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$ 가 생성되어 있으며 기지는 Al 과 θ 의 공정을 이루고 있고, 38g/min인 경우는 초정상으로 $\gamma(\text{Al}, \text{Cu})$ 가 생성되어 있으며 기지는 Al 및 θ 상으로 되어 있다.

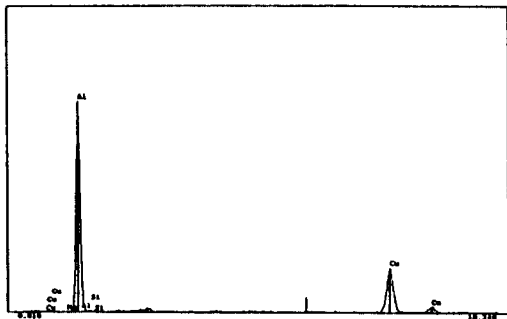
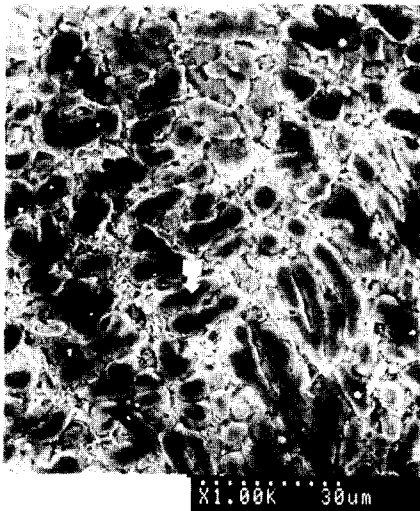


Fig. 6 EDS analysis of Al alloys overlaid by TIG welding process with Cu powder feeding rate 12g/min.

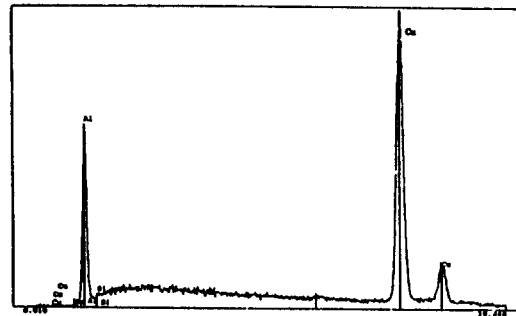
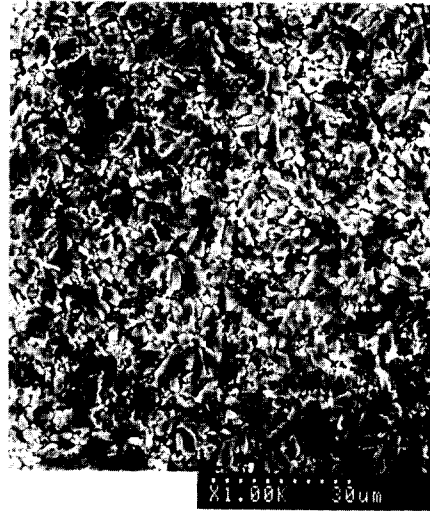


Fig. 7 EDS analysis of Al alloys overlaid by TIG welding process with Cu powder feeding rate 38g/min.

Fig. 8은 Cu 분말 투입량에 따른 경도 및 내마모성의 변화를 나타낸 것이다. Cu 분말의 투입량이 증가함에 따라 18g/min까지는 경도가 증가하나 38g/min인 경우에는 오히려 감소함을 알 수 있다. 한편 내마모성의 경우에도 경도특성과 마찬가지로 Cu의 투입량이 가장 많은 경우 오히려 나빠짐을 알 수 있다. 이것을 조직관찰 및 X-선 회절시험 결과와 비교해 보면 Cu 분말의 투입량이 증가함에 따라 초정상이 θ 에서 γ 로 바뀌에 따라 경도 및 내마모성이 오히려 나빠짐을 알 수 있다. 즉 Al 합금에 Cu를 이용한 경화 오버레이층 형성에서는 경한 θ 상이 많이 생성될 수 있도록 오버레이층의 조성을 조절할 필요가 있다.

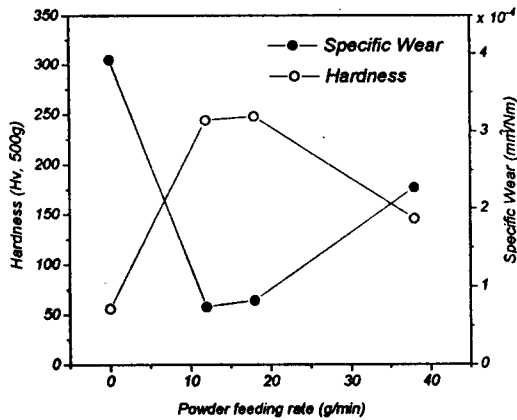


Fig. 8 Hardness and specific wear of Al alloys overlaid by TIG welding process with Cu powder feeding.

3.3 오버레이 용접 열원에 따른 생성상의 변화

Cu 분말의 투입량이 동일함에도 불구하고 오버레이 용접 열원에 따라서 오버레이층 내에 형성되는 생성상의 종류가 차이가 나는 것은 앞서 실험방법에서 밝힌 바와 같이 MIG 용접의 경우에는 용가재가 사용되었으나, TIG 용접에서는 별도의 용가재를 사용하지 않았기 때문이다. 결과적으로 나타나는 오버레이층의 높이, 즉 오버레이층의 단면이 MIG 용접의 경우가 TIG 용접의 경우보다 훨씬 크게 나타난다. 이것은 Cu 분말의 투입량이 동일한 경우 상대적으로 TIG 용접의 경우에 오버레이층 내의 Cu 농도가 높아짐을 의미한다. 실제로 각각의 오버레이층에 대한 EDS 면분석 결과 MIG 용접에서는 Cu 투입량이 12g/min인 경우 Cu 농도가 약 37wt%, 38g/min인 경우 약 50wt%로 확인된 반면, TIG 용접인 경우에는 12g/min인 경우 Cu 농도가 약 41wt%, 12g/min인 경우 약 81wt%로 확인되었다.

이와 같이 Cu 분말의 투입량이 동일할지라도 오버레이 용접 열원에 따라서 오버레이층내의 Cu 농도에는 현격한 차이가 있었다.

따라서 MIG 용접에 의한 오버레이층 형성에서도 본 연구에서 사용한 범위 이상으로 Cu를 투입한다면 TIG 용접에서와 마찬가지로 γ 상의 생성에

의해 경도 및 내마모성이 오히려 저하될 것으로 판단된다.

4. 결 론

MIG, TIG 용접열원을 이용한 오버레이 용접에서 용융지 내에 Cu 분말의 투입에 의한 경화 오버레이층의 형성에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

MIG 용접열원에 의한 오버레이층 형성에서 Cu의 투입량이 증가함에 따라 경도 및 내마모성이 향상되었으며, 이는 투입된 Cu분말이 완전히 용해된 후, 응고과정에서 $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$ 상의 형성에 의한 것으로 나타났다.

TIG 용접열원에 의한 오버레이층 형성에서 Cu 투입량 18g/min까지는 $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$ 상의 생성에 의해 경도 및 내마모성이 향상되었으나, 38g/min의 경우 $\gamma(\text{Al}_4\text{Cu}_9)$ 상이 형성되면서 오히려 경도 및 내마모성이 저하되었다.

이상의 결과를 종합하면 Cu 분말의 투입에 의한 Al합금의 경화 오버레이층 형성에서는 $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$ 상이 많이 생성될 수 있는 투입량의 설정이 경화 오버레이층의 형성에 가장 효과적인 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 1994년도 교육부 신소재분야 연구지원에 의해 연구된 결과의 일부로 관계기관에 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. 内田彰 : アルミニウム合金の溶接, 日本溶接學會誌, Vol. 38, No. 9, (1969), pp. 955~969.
2. 寺本福彦 : アルミニウム合金の溶接(鐵道車兩), 日本溶接學會誌, Vol. 53, No. 3, (1984), pp. 124~127.
3. 永井裕善 : アルミニウム合金の溶接(航空

- 機), 日本溶接學會誌, Vol. 53, No. 4, (1984), pp. 162~167.
4. 郷肥三 : 알루미늄合金의 용접(船舶), 日本溶接學會誌, Vol. 53, No. 3, (1984), pp. 120~124.
 5. 森田昭彦 : 航空엔진部品へのレーザー肉盛溶接의 適用, 溶接技術, Vol. 39, No. 8, (1991), pp. 74~78.
 6. 中田建二, 町田洋二, 牙田雅巳, 鳥居勲, 中川政宏, 森和彦 : 엔진バル브へのレーザー肉盛의 適用, 溶接技術, Vol. 39, No. 8, (1991), pp. 68~73.
 7. 丸山敏郎, 大田正雄 : 電子빔による表面改質, 溶接技術, Vol. 38, No. 8, (1990), pp. 75~81.
 8. 新成夫 : 粉體接合·加工技術의 現狀, 溶接技術, Vol. 39, No. 6, (1991), pp. 97~103.
 9. 松田福久, 中田一博, 青水茂樹, 永井建介 : プラズ마粉體肉盛溶接法によるアルミニウムの表面複合金化, 溶接技術, Vol. 38, No. 8, (1990), pp. 82~86.
 10. 松田福久 : 알루미늄合金의 表面厚膜硬化技術의 現狀, 溶接技術, Vol. 39, No. 6, (1991), pp. 72~76.
 11. 成願茂利, 佃市三 : 알루미늄合金のための表面改質, 溶接技術, Vol. 38, No. 9, (1991), pp. 77~83.
 12. 北田正弘 : 複合化による新機能材料의 創造, 日本金屬學會會報, Vol. 17, No. 12, (1978), pp. 956~958.
 13. 松田福久 : 알루미늄表面厚膜硬化技術의 現狀と可能性, 日本輕金屬, Vol. 40, No. 10, (1990), pp. 746~752.
 14. S. Das : Microstructure and Tribological Behavior of Al-Si Alloy : The 3rd International Conference on Aluminum Alloys, (1992), pp. 503~508.
 15. S. I. Hulley and G. W. Lorimer : The Effect of Dispersoids on the Recrystallisation Behavior of a Series of Aluminum-Magnesium-Silicon Alloys, The 3rd International Conference on Aluminum Alloys, (1992), pp. 361~366.