

Al 합금의 MIG 용접에서 WC-12%Co 분말 첨가에 의한 경화육성층의 특성

박정식* · 양병모** · 박경채**

* 대구보건대학 자동화기계과

** 경북대학교 금속공학과

Characteristics of the Hard-Overlayers by WC-12%Co Powder Addition in MIG Welding of Al Alloy

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

*Departments of Automatic Machine, Taegu Health College, Daegu 702-260, Korea

**Departments of Metallurgical Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Abstract

It was attempted to improve the wear resistance of Al alloy under the load condition by making a formation of the thick surface hardening alloy layers. The thick surface hardening alloy layers were formed on 6061 Al alloys overlayed by MIG welding process with WC-12%Co powder addition. Effects of the dispersion of WC-12%Co powders on hardness and wear characteristics of the alloys were investigated.

The following results were obtained. Most of WC-12%Co powders are dispersed nearly uniform as unmelted particles in the matrix alloy. A part of WC-12%Co powders are melted in the molten pool, and during solidification Al_3Co_2 appeared. With increasing addition of WC-12%Co powders, the hardness and specific wear resistance of the overlay weld alloys increased and reached Hv450 at WC-12%Co powder addition rate of 54 g/min.

It is considered that excellent wear resistance of the overlayed alloys was due to dispersed WC-12%Co powders and increased 10 times at WC-12%Co powder addition rate of 54 g/min than that of the WC-free overlaying layers .

(Received October 23, 2000)

Key Words : Aluminum alloy, Surface hardening, Overlaying, MIG welding

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 있고, 최근 산업 구조의 복잡화, 고기능화 및 고품질화 등에 의한 부가가치가 높은 제품과 이들에 관련된 기술의 개발을 기대하고 있다. 특히 신소재 개발에 대한 표면개질에의 복합화와 개량화 및 고강도화 또는 기능화 등이 요구되고 있다. 이를 위해 최근에 급속히 진전하고 있는 각종 플라즈마, 레이저 빔, 전자 빔 및 HIP 등 특수처리

의 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. 경화 합금으로는 Co 기, Ni기 그리고 Fe기 및 WC 등이 있으며, 표면경화 오버레이에 사용되는 용접법으로는 아크 용접법, 가스 용접법, 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 움직임

입이 고조되면서, 수 μm 정도에서 수 mm 정도의 후막 형성이 자동차, 산업기기 및 항공기 분야에서 크게 요구되고 있다^{10~13)}.

따라서 본 연구에서는 이상의 여러가지 표면개질법 중에서 MIG 용접을 열원으로 하여 용융지 내에 연속적으로 WC 분말을 공급하는 방법을 이용하여 Al 표면에 수 mm 두께의 경질(硬質) 오버레이층을 형성시키고, 이에 대한 개질 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 모재 및 첨가분말

오버레이층의 기지 재료로는 전형적인 열처리형 합금인 Al 6061 판재 (10mmT×100mmW×150mmL)를, 표면경화 오버레이층을 형성시키기 위하여 송급분말은 WC-12%Co(이하 WC 분말로 표기)를 사용하였다. Photo. 1은 사용된 분말의 SEM 조직사진으로서 분말의 평균 입도는 약 $70\mu\text{m}$ 이었다.

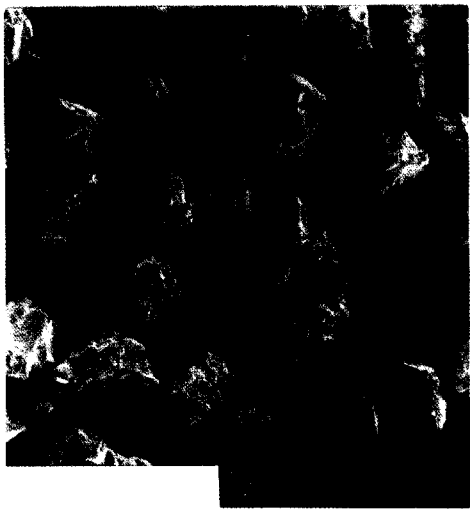


Photo. 1 Shapes of WC-12%Co powders.

2.2 오버레이 합금층 형성법

오버레이 합금층은 범용 MIG 용접기를 이용한 아크 열에 의해 용가재 및 모재의 일부를 용융시킨 용융지 내에 분말을 연속적으로 투입하여 형성하였다. 이때 첨가 분말의 투입은 외부에 별도로 설치된 노즐을 통하여 분말을 공급하는 외부노즐법을 이용하였다.

2.3 오버레이 합금층의 형성 조건

본 연구에서는 오버레이층의 형성을 위해 용가재로는 모재인 6061 Al 합금에 대해 용접성이 가장 우수

한 것으로 알려진 직경 1.6mm의 4043 (Al-5%Si) 용접용 와이어를 사용하였다. 이때 오버레이 용접조건으로는 Photo. 2 및 3과 같이 용접전압 및 속도를 달리하여 평면 및 단면을 매크로적으로 조사하여 가장 양호한 비드형상을 나타내는 것을 오버레이층 형성을 위한 기본 조건으로 사용하였으며, 본 연구에서는 용접전류 240A, 용접속도 25cm/min으로 하였다. 이와 같은 용접조건은 용융지내에 분말을 공급하지 않은 상태에서 비드형상이 가장 좋은 조건을 기준으로 선정하였다.

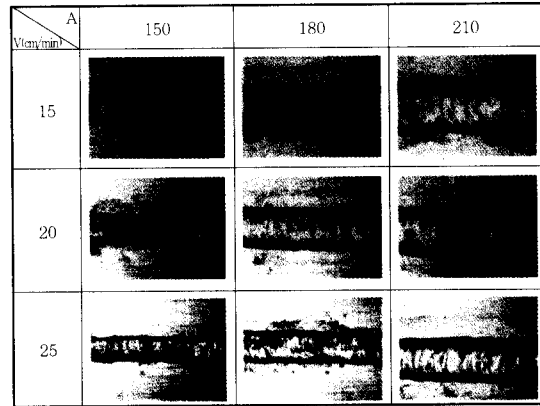


Photo. 2 General appearance of WC-12%Co powders free overlay weld alloy surfaces.

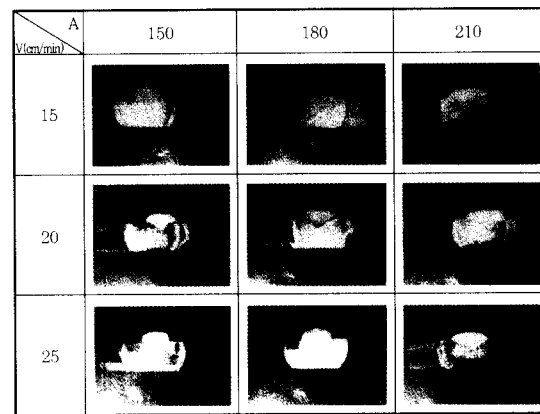


Photo. 3 General appearance of WC-12%Co powders free overlay weld alloy cross sections.

2.4 합금화층의 조직관찰 및 생성상 조사

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

2.5 경도 및 마모시험

합금화층의 경도 특성을 검토하기 위하여 비드 단면

의 경도는 마이크로비커스 경도시험기를 이용하여 조사하였다. 이때 측정하중은 1,000g으로 일정하게 하여 오버레이 비드 단면에 대하여 수직방향 및 모재 표면으로부터 1mm 상부에 대하여 수평방향으로 0.5mm 간격으로 측정하였다.

합금화층의 마모특성은 Fig. 1과 같은 大越式摩滅試驗機를 이용하여 모재 표면으로부터 약 1mm 윗부분을 절단한 후 그 절단면에 대하여 Table 1과 같은 조건으로 시험하였다. 이 때 비마모량은 아래의 식(1)을 이용하여 구하였다.

$$Ws = Bb^2 / 8rPL \tag{1}$$

Ws : 비마모량(mm^3/Nm) r : 회전 원판의 반경(mm)

B : 회전 원판의 두께(mm)

P : 하중(N)

b : 마모흔의 폭(mm)

L : 마모거리(m)

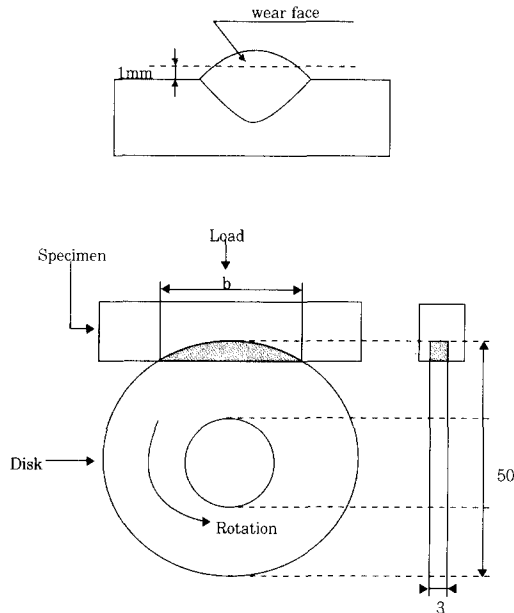


Fig. 1 Schematic diagram of wear test

Table 1 Wear conditions.

Disk	SUJ2(Hv 750)
Radius of disk	25 mm
Thickness of disk	3 mm
Load	30 N
Sliding distance	1,000 m
Sliding speed	0.5~3.5 m/s

3. 실험결과 및 고찰

3.1 오버레이층 미세조직 관찰

Fig. 2는 MIG 용접에 의한 오버레이 용접에서 WC

첨가량(18, 28, 54g/min)에 따른 오버레이층의 X-선 회절시험 결과이다. 첨가량이 18g/min인 경우 오버레이층은 Al 및 WC 상으로 이루어져 있으나, WC의 첨가량이 증가하여 54g/min인 경우 오버레이층은 Al, WC 및 Al_9Co_2 로 이루어져 있음을 알 수 있다.

이는 고융점의 WC가 오버레이층 내에 미용융 상태로 분산되고 결합재인 Co는 일부 용융하여 Al과 결합하여 Al_9Co_2 를 형성하였기 때문으로 판단된다.

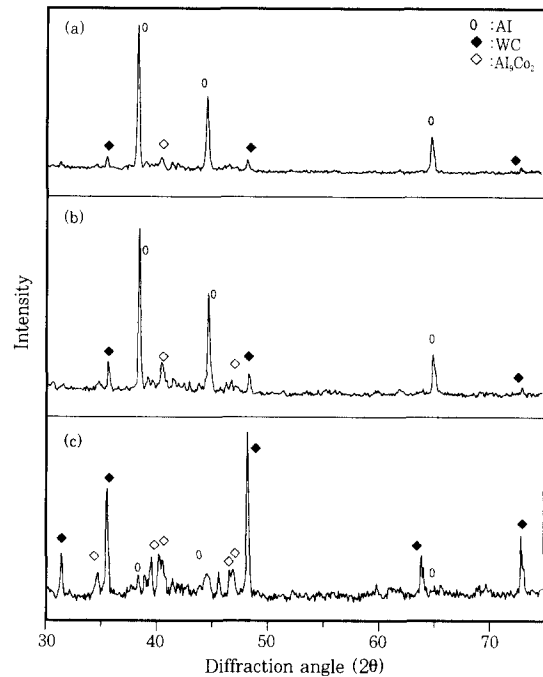


Fig. 2 XRD diffraction patterns of overlay weld alloys dispersed with WC-12%Co powders.

Photo. 4는 MIG 용접에 의한 오버레이 용접에서 WC 분말 투입에 대한 오버레이층의 조직사진을 나타낸 것이다. 여기서 각각의 사진은 오버레이층 내에서 중심부분에 해당하는 부분에 대한 조직사진이다. 사진 (a)는 WC 첨가량이 18g/min인 경우로 X-선 회절시험 결과와 비교하면 Al 기지에 분산되어 있는 괴상은 미용융 WC 입자로 판단된다. 사진 (b)와 (c)는 각각 WC의 첨가량이 28 및 54g/min인 경우의 조직으로 사진 (a)와 비교하여 미용융 WC 입자들이 상당히 많이 증가하였음을 확인할 수 있다.

Photo. 5는 Photo. 4에서 WC 투입량이 54g/min인 경우의 조직을 확대, EDS 분석한 결과로서, (a)의 괴상의 분산상은 WC, (b)의 정출상에 대한 분석결과 Al_9Co_2 로 확인되었다.

한편 본 연구에서는 WC 분말 첨가량을 54g/min 이상으로 하였을 경우 비드 표면에 적층 및 오버레이층 내에 다량의 균열이 발생하여 그 이상의 분말 첨가에 대해서는 건전한 오버레이층의 형성이 불가능 하였다.



Photo. 4 Microstructures of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloys. (a) 18g/min (b) 28g/min (c) 54g/min

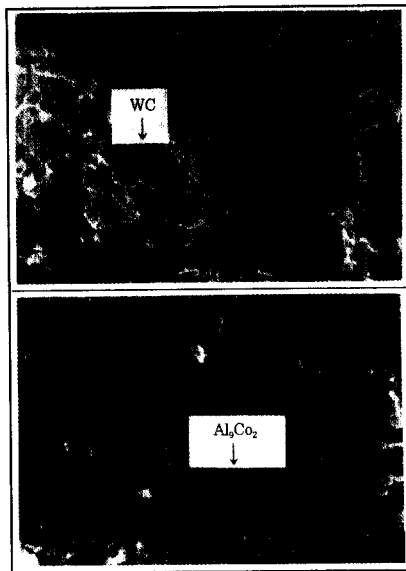


Photo. 5 EDS analysis of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloy at 54g/min.

3.2 오버레이층의 경도 특성

Fig. 3은 WC 분말 첨가량을 각각 18, 28, 54 g/min 으로 하여 형성한 경화 오버레이층의 단면에 대한 비드 표면으로부터 모재 방향으로의 경도시험 결과를 나타낸 것이다. WC 분말을 첨가하지 않고 용가 재만을 사용한 오버레이층의 경도는 약 Hv 70 정도를 나타냈다. WC 분말이 첨가 된 경우 깊이 방향으로의 경도는 오버레이비드 내에서 상당히 기복이 심한 분포를 나타냈으며, 오버레이층의 깊이는 약 6~7mm를 나타냈다. 이와 같이 경도값의 기복이 심한 것은 미용용 WC 입자의 분산에 의한 것으로 판단된다. 한편 WC 분말이 첨가됨에 따라 경도값이 증가하여 18g/min 인 경우 평균 Hv 320, 28g/min 인 경우 약 Hv 370, 54g/min 인 경우 약 Hv 450 까지 상승하였다. 이는 앞서의 미세조직 관찰에서 나타난 바와 같이 WC 분말의 첨가에 따라 미용용 WC 입자의 분산 및 Al₂O₃Co₂의 생성에 의한 것으로 판단된다.

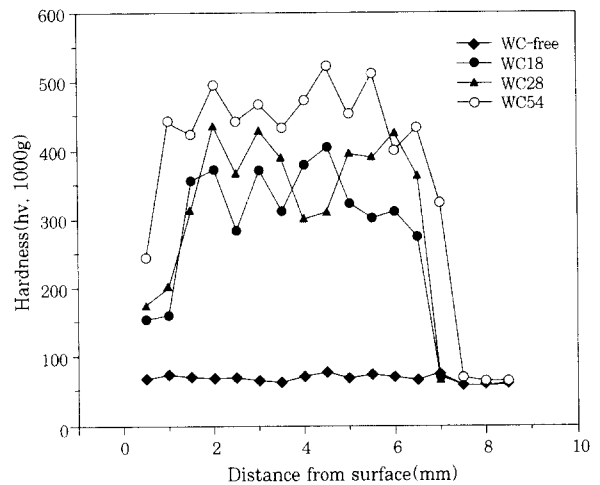


Fig. 3 Hardness distribution on vertical direction of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloys.

Fig. 4는 모재 표면으로부터 오버레이층에 대해 1 mm 상부에서 육성부의 횡방향에 대한 경도분포를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 나타낸 깊이 방향에 대한 경도 분포와 마찬가지로 상당히 기복이 심한 경도분포를 나타냈으나, 그 평균값은 종방향에 대한 경도분포와 거의 동일한 값을 나타냈다.

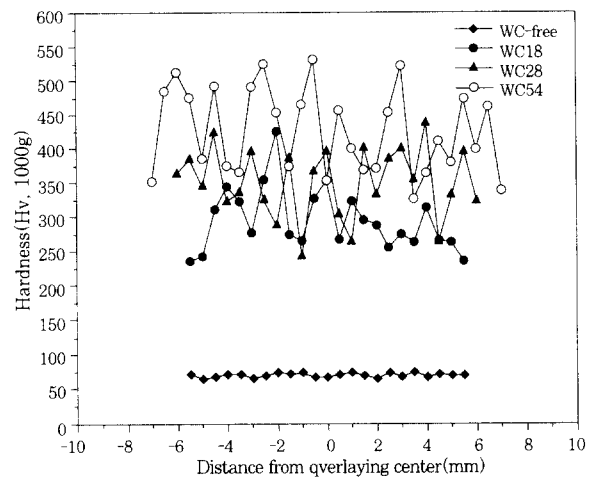


Fig. 4 Hardness distribution on longitudinal direction of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloys.

3.3 오버레이층의 마모 특성

Fig. 5는 마모하중 30N, 마모거리 1,000m, 마찰속도 0.5~3.5m/sec로 마모시험 한 경우, WC 분말 첨가량에 따른 오버레이층의 비마모량을 나타낸 것이다.

WC 분말을 첨가하지 않은 경우 비마모량은 마찰속도의 증가와 함께 현저히 증가한 후 완만해짐을 알 수 있다. 이와 같은 비마모량의 증가는 일반적으로 응착 마모¹⁴⁾에 의한 것으로 알려져 있다. 이에 반하여 WC 분말을 첨가한 경우에는 어느 경우든 WC 분말을 첨가하지 않은 경우에 비하여 1/3~1/10 수준으로 비마모량이 크게 낮아져 내마모성이 현저히 개선됨을 알 수 있다. 또한 마찰속도의 증가에도 불구하고 거의 동일한 비마모량을 나타내고 있다.

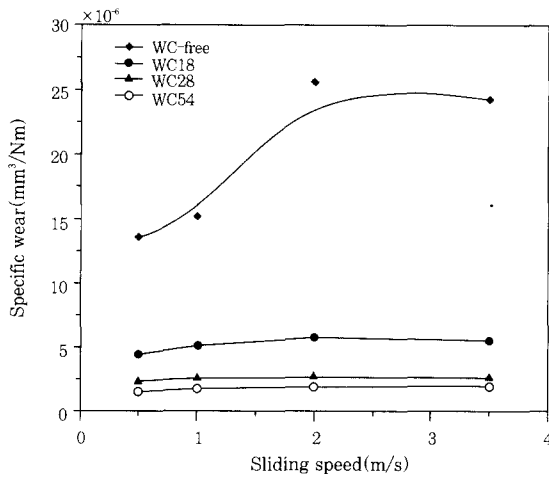


Fig. 5 Relation between specific wear and sliding speed of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloys.

Photo. 6은 각각 WC 분말을 첨가하지 않은 경우와 54g/min으로 첨가한 오버레이층에 대하여 2m/sec의 속도로 마모시험 후, 마모면에 대한 SEM 사진이다.

WC가 투입되지 않은 경우 마모면은 거의 평활한 면을 이루었으며 마모시험 방향으로 길다란 형태의 마모흔이 전면에 걸쳐서 나타났다. 그러나 WC를 투입한 경우에는 마모면을 EDS 분석 결과 표면에 WC 입자가 노출되어 있음을 알 수 있다. 또 WC 입자 위에는 마모흔이 거의 관찰되지 않았다. 따라서 WC 분말을 투입한 경우 내마모성의 향상은 경질입자인 WC 입자의 기지내 분산에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 6은 오버레이층의 WC 함유량에 따른 경도 및 내마모성의 변화를 나타낸 것이다. WC의 함유량이 증가함에 따라 경도값은 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타내는 반면, 비마모량은 18g/min에서 급격히 감소한 후 그 이상 함유량이 증가함에 따라서는 비마모량의 감소율이 급격히 완만해짐을 알 수 있다.

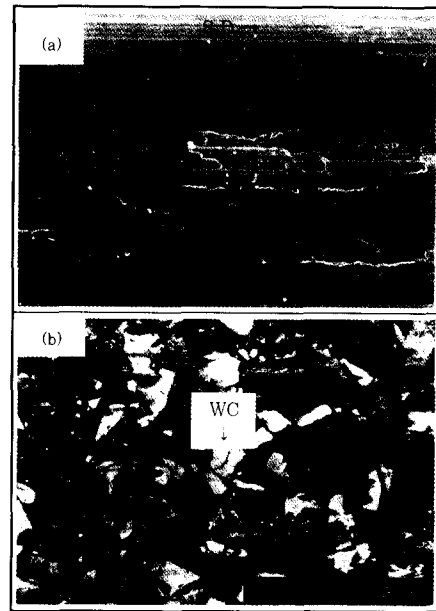


Photo. 6 Morphologies of wear surface obtained from overlay weld alloys. (a)WC-12%Co powder free (b) WC-12%Co powder dispersed at 54g/min

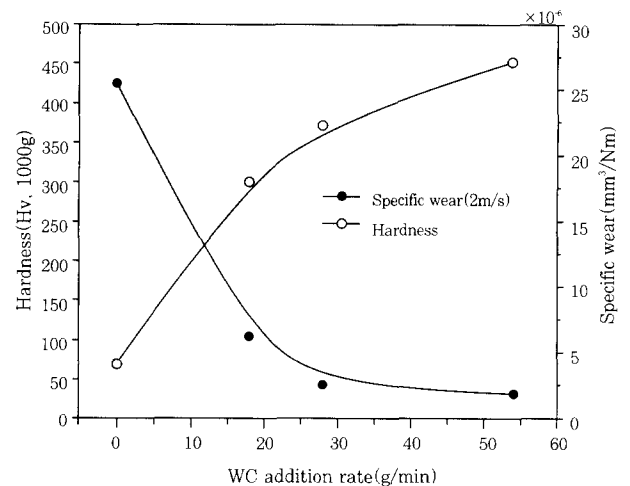


Fig. 6 Relation of hardness and specific wear on powder addition rates of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloys.

Fig. 7은 각 경화육성층의 경도와 비마모량과의 관계를 나타낸 것이다. 경화층의 경도가 증가함에 따라 비마모량이 감소하지만, Hv 300 이상에서부터 경도의 증가에 따른 비마모량의 감소율이 급격히 완만해짐을 알 수 있다. 이는 Photo. 5의 마모면 관찰에서도 알 수 있듯이 내마모성이 우수한 WC 입자가 마모면에 노출되면서 마모량을 제어하는 주된 것이 WC 입자이기 때문으로 판단된다. 따라서 일정량 이상의 WC 입자만 분산되면 충분히 우수한 내마모성을 나타내며 그 이상으로 분산될 경우 약간의 내마모성 향상은 나타날 지라도 그 효과는 미약할 것으로 판단된다.

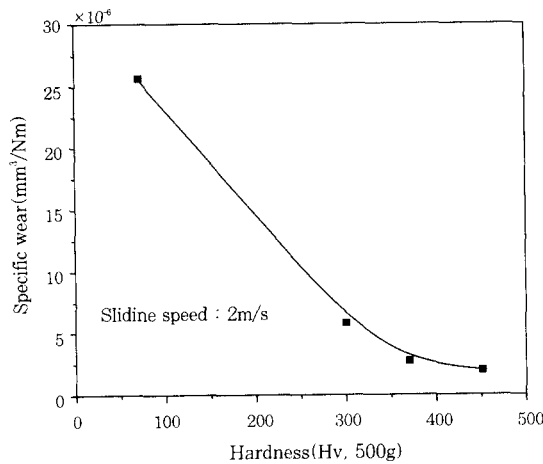


Fig. 7 Relation between specific wear and hardness of WC-12%Co powder dispersed overlay weld alloys.

4. 결 론

MIG 용접열원을 이용한 육성용접에서 용융지 내에 WC 분말의 첨가에 의한 경화 육성층을 형성하고, 이에 대한 조직관찰, 경도 및 마모특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) WC 분말은 오버레이층 내에 미용융 상태로 분산되었으며, 결합재로 사용된 Co 일부는 용융하여 기지 금속인 Al과 결합하여 Al_3Co_2 를 형성하였다.

(2) WC 분말이 첨가됨에 따라 경도값이 증가하여 18g/min에서 약 Hv 300, 28g/min 인 경우 약 Hv 370, 54g/min 인 경우 약 Hv 450 까지 상승하였다.

(3) WC 분말의 첨가량이 증가함에 따라 비마모량은 크게 감소되어 WC 첨가량이 54g/min 인 경우 첨가하지 않은 경우에 비해 약 1/10 정도로 감소되었다.

이는 경한 WC 입자의 기지내 분산에 의한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 内田彰 : 알루미늄合金의溶接, 日本溶接學會誌, 38-9(1969), 955~969.
2. 寺本福彦 : 알루미늄合金의溶接(鐵道車兩), 日本溶接學會誌, 53-3(1984), 124~127.
3. 永井裕善 : 알루미늄合金의溶接(航空機), 日本溶接學會誌, 53-4(1984), 162~167.
4. 郷肥三 : 알루미늄合金의溶接(船舶), 日本溶接學會誌, 53-3(1984), 120~124.
5. 森田昭彦 : 航空エンジン部品へのレーザー肉盛溶接の適用, 溶接技術, 39-8(1991), 74~78.
6. 中田建二, 町田洋二, 牙田雅巳, 鳥居勳, 中川政宏, 森和彦 : エンジンバルブへのレーザー肉盛の適用, 溶接技術, 39-8(1991), 68~73.
7. 丸山敏郎, 大田正雄 : 電子ビームによる表面改質, 溶接技術, 38-8(1990), 75~81.
8. 新成夫 : 粉體接合・加工技術の現状, 溶接技術, 39-6(1991), 97~103.
9. 松田福久, 中田一博, 青水茂樹, 永井建介 : プラズマ粉體肉盛溶接法によるアルミニウムの表面複合合金化, 溶接技術, 38-8(1990), 82~86.
10. 松田福久 : アルミニウム合金の表面厚膜硬化技術の現状, 溶接技術, 39-6(1991), 72~76.
11. 成願茂利, 佃市三 : アルミニウム合金のための表面改質, 溶接技術, 38-9(1991), 77~83.
12. 北田正弘 : 複合化による新機能材料の創造, 日本金屬學會會報, 17-12(1978), 956~958.
13. 松田福久 : アルミニウム表面厚膜硬化技術の現状と可能性, 日本輕金屬, 40-10(1990), 746~752.
14. 富田友樹, 高谷泰之, 橋詰源藏, 原田良夫 : NbC粒子分散Ni-Cr-Fe肉盛合金のすべり摩耗特性, 54-6(1990), 664~670