금속-세라믹스입자 복합첨가에 의한 알루미늄의 내마모성 개선

Improvement of Wear Resistance of Aluminum by Metal-Ceramics Particle Composite Layer

이규천*, 허성중*, 박성두**, 이영호***

* 두원공업전문대학, 경기도 안성군

** 천안공업전문대학, 충청남도 천안시

*** 충남대학교, 대전광역시 유성구

1. 서 론

경량구조 재료로서 비강도가 높은 알루미늄(Al) 및 그 합금이 수송 분야 및 산업기계 분야[1-2]에 널리 이용되고 있지만, 철강재료에 비하여 내마모성이 현저하게 떨어진다는 결점이 있다. 더욱이 내마모성의 개선을 위하여 Al 재료에 행하여지고 있는 기존의 표면처리 기술[3,4]에 의한 표면 경화층은 그 경화층의 두께가 박막이며, 특히 Al 재료가 연하기 때문에 면압 하중을 받는 상태에서는 충분한 기능을 발휘하지 못하고 있다. 따라서 저자 등은 이미 플라즈마 분체육성법(PTA법 : Plasma transferred arc)[5,6]을 이용하여 여러 가지 금속분말에 의한 합금화층 및 세라믹스 분말에 의한 입자분산층의 형성에 대하여 검토하여 왔다.

본 연구에서는 Al표면에 금속 및 세라믹스입자를 복합첨가시킨 복합합금화층의 제작을 꾀하여 그 복합합금화층의 형성과 경화 특성 및 내마모성에 대하여 검토하였다.

2. 실험 방법

모재는 공업용 순 Al판(A1060:300×100×20mmt)을 사용하였으며 그 표면에 우선 Al-Cu합금봉을 이용하여 TIG법에 의해 Cu합금화층을 형성하였다. 이 경우 Al-Cu합금봉의 Cu량은 25,33,40 및 48mass% Cu이며 다수 비드를 중첩시켜 2층 육성을 하였다. 그리고 Cu합금화층에 대하여서는 PTA법에 의해 탄화물계 세라믹스인 TiC입자(순도 99.9%, 입도 45~106㎛)를 첨가하여 Cu합금화층내로 분산시킨 금속-세라믹스입자 복합합금화층을 형성하였다. 더욱이 복합화층내의 TiC입자 밀도를 변화시키기 위하여 동일 조건에서 1~4층의 다층육성을 하였다. Table 1,2 는 TIG법 및 PTA법에 의한 그 조건을 나타낸다.

한편 조직 관찰 및 형성상의 동정을 위하여 광학 및 주사형전자현미경(SEM)관찰, EPMA와 X-선 회절법을 이용하였으며, 복합화층내의 TiC입자 체적율은 화상처리에 의해 측정하였다. 경화 특성을 검토하기 위하여서는 단면조직에 대하여 실온 및 고온(100~400℃)에서 미소경도를 측정하였고, 내마모성은 대월식신속마모시험기를 이용하여 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 비드외관 및 단면형상

TIG법에 의해 제작한 Cu합금화층은 어느 경우의 합금봉에 의해서도 양호한 합금화층이 얻어졌으며 모재와의 밀착성도 양호하였다. 이것은 합금봉의 Cu함유량의 범위가 Al과 저융점의 공정 반

응(공정조성:33%Cu, 공정온도:548℃)을 나타내며, 더욱이 과공정역에서도 액상선 온도는 591℃로 비교적 낮아 쉽게 Al 모재와 용융 합금화층을 형성하기 때문으로 생각된다. 그러나 내부 조직에서는 다수 비드에 의한 재열 사이클의 영향으로 심한 조직의 불균일 분포가 나타났다.

이와 같이 제작한 Cu합금화층에 대하여 PTA법에 의해 TiC입자를 Cu합금화층 내부로 균일하게 분산시킨 복합화층을 형성하였다. 층수의 증가에 의한 복합화층 내부의 TiC입자의 밀도 증가에도 불구하고, 그 마크로 단면 조직에서는 TiC입자의 불균일 분포 및 복합화층 상부쪽에서의 TiC입자의 퇴적층은 형성되지 않고 양호한 복합화층이 얻어졌다. 이것은 적정복합화 조건과 함께 복합화 물질인 TiC입자와 모재 성분인 Al과의 탄화물 복합화에 필요한 적절한 비중차 및 양호한 젖음성에 의한 것으로 생각된다.

3.2 복합합금화층의 조직

25Cu합금화층은 아공정조직을, 33Cu합금화층에서는 다수 비드에 의한 재용융 및 열류 이동에 의한 온도 구배에 따라서 입상 및 침상의 공정 조직을 나타낸다. 한편 40Cu합금화층에서는 등축의 공정 및 θ상($CuAl_2$)이 수지상정으로 성장한 과공정조직, 더욱 Cu량이 증가한 48Cu합금화층에서는 거의 θ상이 각형, 수지 상정 및 침상정으로 정출하는 과공정조직을 나타낸다. 이상의 25, 33, 40 및 48Cu합금화층에서의 실제 Cu량은 모재인 Al의 영향으로 각각 23.5, 30.8, 38.7 및 44.7 mass% Cu 이었다.

TiC입자는 각 Cu합금화층의 전체에 걸쳐서 층수의 증가에 따라서 더욱 균일하고 입자의 분산 밀도도 증가하였다. 48Cu합금화층에서 TiC입자는 초정 θ상(백색 봉상의 금속간 화합물) 및 αAl과 θ상의 공정 조직으로 둘러 싸여 있으며, TiC(융점:3150℃)입자는 이들 매트릭스 조직과는 거의 상호 반응을 하지 않고 독립적으로 분산되어 있는 것이 EPMA 분석 및 X-선 회절에 의해서 확인되었다.

3.3 복합합금화층의 경화특성

Fig.1은 TiC분말을 1~4층 복합화한 경우의 평균 경도를 Cu합금화층과 비교하여 나타내고 있다. Cu합금화층의 경도는 Cu량의 증가와 함께 약 Hv140(25Cu합금화층)으로 부터 약 Hv300(48Cu합금화층)정도까지 증가하였다. 이들 매트릭스에 대하여 TiC입자를 복합화하는 것으로 경도값은 TiC입자 분산 밀도가 증가한 3,4층에서는 각각 약 Hv140~150, Hv170~260 정도까지 증가하여, 특히 48Cu합금화층의 복합화에서 각각의 평균 경도는 약 Hv450, Hv560을 나타냈다.

Fig.2는 48Cu합금화층에 TiC분말을 1~4층 복합화한 경우의 비마모량을 순 Al, 48Cu합금화층 및 (Al+TiC(3층))와 비교하여 나타내고 있다. 한편 철강재료(SS400, SUS304)의 비마모량도 나타내고 있다. 48Cu합금화층과 (Al+TiC)층에서는 비마모량을 모재인 순 Al의 약 1/10까지 감소시켜 내마모성을 거의 철강재료 수준으로까지 개선시키고 있다. 더욱이 경한 θ상 조직인 48Cu합금화층에 경질 입자인 TiC분말을 4층 복합화하는 것으로 48Cu합금화층, Al+TiC 및 철강 재료와 비교하여 비마모량은 1/15 이상까지 감소되어 내마모성이 현저하게 개선되었다.

4. 결 론

Al 재료에 금속-세라믹스분말에 의한 경화특성을 갖게 하기 위해서는 매트릭스 조직은 과공정 조직으로서 등축의 라멜라 공정과 입상·수지상정의 θ상의 성장 조직, 침상과 각형의 θ상이 등축정의 공정립에 둘러싸인 조직에 대하여 경질입자의 적절한 고밀도화가 필연적이라고 생각된다.

참고 문헌

1. 今泉重威, アルミニウム合金の溶接(輸送機關), 日本溶接學會誌, vol.53 No.3, 1984, pp.9-142
2. 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
3. (財)金屬系材料研究開發センタ-(JRCM), アルミニウム表面シリオ-ダ-硬化技術調査報告書, 1989.3
4. 松田福久, アルミニウム表面厚膜硬化技術の現狀と可能性, 日本輕金屬, vol.40, No.10, 1990, pp.746-752
5. 李發千, 李暎浩, 松田福久, 中田一博, プラズマ粉體肉盛法によるアルミニウム合金の硬化厚膜合金化層の形成 (第1報), 日本高溫學會誌, vol.17, No.4, 1991, pp.177-190
6. 李發千, 李暎浩, 松田福久, 中田一博, プラズマ粉體肉盛法によるアルミニウム合金の硬化厚膜合金化層の形成 (第2報), 日本高溫學會誌, vol.17, No.4, 1991, pp.191-198

Table 1 Overlay condition of Al-Cu alloyed layer by TIG process.

Arc current (A)	250
Travel speed (mm/min)	100
Al-Cu alloyed electrode feeding rate (mm/min)	300
Dia. of Al-Cu alloyed electrode (mm)	4
Cu content of Al-Cu alloyed electrode (mass%)	25,33,40,48

Table 2 Composite condition of TiC powder on pure Al and Al-Cu alloyed overlayer by PTA process.

Plasma arc current (A)	200
Travel speed (mm/min)	500
Powder feeding rate (g/min)	15
Polarity	DCEN-He
Number of pass	1 - 4

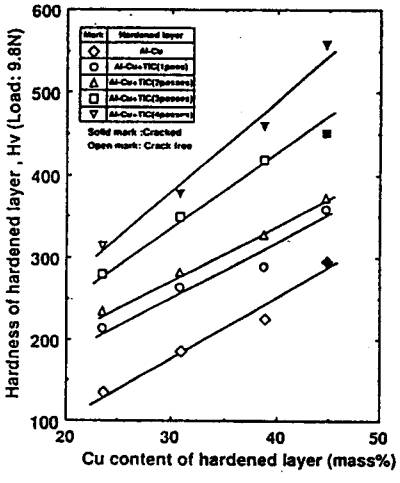

Fig.1 Relation between Cu content and hardness of TiC composite layer.

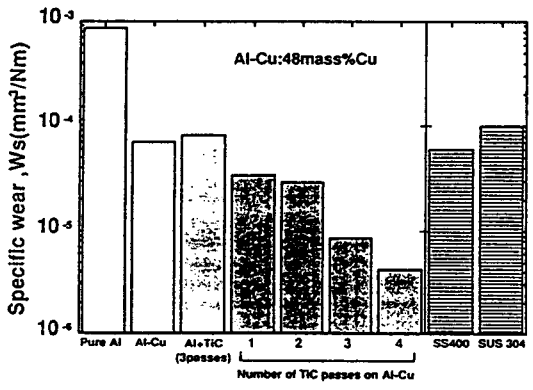

Fig.2 Combined effect of Cu and TiC additions on specific wear.