

研究論文

알루미늄합금의 표면경화에 관한 연구

- Al 5083에 대한 TIG overlay 경화 -

李暎浩* · 姜元錫** · 李揆千***

A Study on the Surface Hardening of Aluminum Alloy

- TIG Overlay Hardening of Al 5083 -

Young-Ho, Lee*, Won-Seok Kang** and Kyu-Cheoun Lee***

Key Words : Aluminum Alloy(알루미늄합금), Surface Hardening(표면경화), Overlaying(오버레이, 살붙이기), TIG Welding(불활성가스텅스텐아크용접), Wear Resistance(내마멸특성), Hardening Characteristics(경화특성)

Abstract

It was attempted to improve wear resistance and durability under the load surface pressure that make a formation of the thick (mm-order) hard-surfacing layer for aluminum alloy of 5083.

The thick hard layers were formed on the surface of 5083 by TIG overlay method. Al-(25.4, 33.6, 45.7 mass%) Cu filler metals which were newly developed were overlaid on two base metals forming the one bead, one layer and two layers.

The investigation was made on the characteristics of hardening and wear resistance in relation to the microstructure of overlaid layers with selection of optimum overlaying condition.

1. 서 론

재료의 표면에 내마멸성을 부여하는 기술에 관

한 연구는 지금까지 거의 철강소재에 대한 연구^{1-3), 4,5)}가 대부분이었고 Al 합금에 대한 연구^{6,7)}도 일부 있으나 표면경화층의 두께가 200 μ m 이하에 불과하여 실제 응용을 고려할 때 작용하중에 견디지

* 정회원, 충남대학교 기계공학부

** 정회원, 국방과학연구소

*** 정회원, 두원공업전문대학

못하는 제약이 뒤따르고 있다. 그러므로 대하중이 작용하는 부재에 내마멸성과 함께 충분한 耐荷重을 갖도록 적절한 두께를 형성시킬 수 있는 후막 표면경화법의 필요성이 대두하게 되었다.

Al 합금의 표면에 후막의 경화층을 형성하는 방법은 크게 세가지로서 표면 합금화층의 형성, 입자의 분산, 표면에 대한 피복(overlay)으로 구분할 수 있다⁸⁾.

표면 합금화층에 대해서는 plasma 아크분체 overlay용접(plasma transferred arc welding, 이하 PTA법 이라함)에 의한 방법^{1,9,10)}과, TIG(tungsten inert gas welding)나 MIG(metal inert gas welding)용접의 아크 열원을 이용하는 방법¹¹⁾이 있다. PTA법에 의한 방법은 표면에 금속분말을 공급하여 용융시킴으로써 모재와 합금화층을 형성시켜 단단하고 두꺼운 overlay층을 얻는 것으로, 최근의 활발한 연구^{12~21)}에 힘입어 상용화 단계를 앞두고 있다. 그러나 이 방법은 별도의 전용기를 제작해야 하고 각종의 값 비싼 금속 분말을 취급해야 한다는 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위해 종래부터 사용해 오던 범용의 용접 프로세스를 이용할 수 있도록 TIG 또는 MIG 용접에 의한 표면 overlay 경화층을 형성시키고자 하는 연구^{22~24)}가 수행되어 그 가능성을 제시하고 있다.

그러나 범용 용접 프로세스를 이용해 지금까지 수행된 연구는 공업용 순 Al에 국한되었을 뿐만 아니라 overlay의 형태도 단일 비드의 경우만을 취급했기 때문에 제품화에 활용할 수 있는 단계까지는 접근하지 못한 상태이고, 실제 산업계에서 사용하고 있는 각종 Al 합금에 대한 적용과 실질적인 경화층의 형성에 관한 연구는 아직도 미흡한 실정이다. 특히 대하중이 작용하는 요소의 재료로 사용되는 고력 Al 합금에 대한 적용성 분석과 연속 overlay에 의한 증침 및 적층 등의 실질적 기술과제에 대한 연구는 매우 미미한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 현장에서 직접 활용할 수 있는 TIG 수동용접으로 Al-Cu 합금봉을 이용해 Al 합금 표면에 overlay층을 형성시키고 적용모재와 Cu 합금량의 변화에 따른 표면경화의 양상을 검토하는 한편 향후 대규모 경화층의 이용이 가능하도록 다층 overlay 경화부에 대한 기초적 검토를 실시하고자 하였다.

또한, 표면경화 overlay층에 대한 적정 조건과 형성될 조직에 대하여 금속학적인 제반검토를 실시하고 기계적 성질과 관련시켜 경화 특성 및 내마멸성을 평가함으로써 우수한 성질을 갖는 mm 단위 두께의 후막 표면 overlay경화층의 형성을 위하여 세부적인 검토를 수행하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

2.1.1 모재

표면 overlay 경화층을 형성하기 위해 사용한 모재는 Al합금 5083이며 규격은 L150×W100×T10mm였다.

본 실험에서 사용한 Al 5083의 조질처리 상태와 기계적 성질 및 화학 성분은 Table1과 같으며, 모재로 사용한 Al 5083의 미세조직을 Photo. 1에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties and chemical compositions of base metal, Al 5083

a) Mechanical properties

Material	T. S (kg/mm ²)	Y. S (kg/mm ²)	EL (%)
5083 H312	35	27	15

(T. S : Tensile strength, Y. S : Yield strength, EL : Elongation)

b) Chemical compositions

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.35	0.27	0.07	0.02	4.55	0.13	0.66	0.01	Bal.

2.1.2 Overlay용 용가재

표면 overlay 경화층을 얻기 위해 사용한 용가재(filler metal)는 OCC(Ohno Continuous Casting) 프로세스에 의해 연속주조로 최근 개발한 Al-Cu 합금봉으로서 Cu 함유량이 서로 다른 3가지 종류를

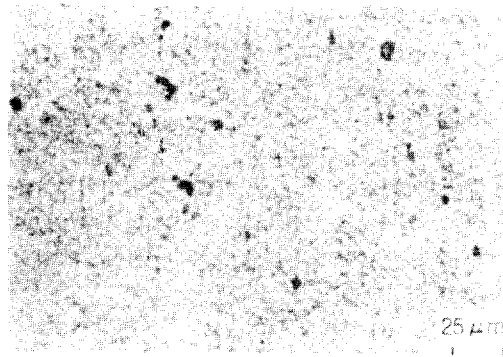


Photo. 1 Microstructure of base metal, Al 5083

이용하였으며 직경 4mm, 길이는 1m이다. 합금봉의 Cu 함유량은 각각 25.4, 33.6, 45.6mass%이며, Cu 함량에 따른 합금봉의 경도를 Table 2에 나타내었다. 본 실험에 사용된 3종류의 합금봉이 갖는 미세조직은 Photo. 2와 같이 나타나고 있다. 본 논문에서 Cu의 성분 단위를 관련 분야의 각종 연구 내용에서 주로 사용하고 있는 mass%를 이용해 표기하기로 했다.

Al-Cu 2원계 평형상태도²⁸⁾에서 알 수 있는 바와 같이 25Cu (25.4mass%)는 亞共晶조직이고, 33Cu (33.6mass% Cu)는 미세한 층상의 $\alpha\text{Al}+\theta$ (CuAl_2) 상 共晶조직(이하 E상 이라함)이며 46Cu (45.7mass% Cu)는 길이 방향으로 길쭉하게 늘어난 CuAl_2 상(이하 θ 라고 함)이 전체면적의 대부분을 차지하는 過共晶 조직이다.

용가재는 표면에 흡착된 수분이나 기타 오염물질을 아세톤으로 세척하고 50℃의 열풍으로 건조시킨 후 밀봉해 보관하였다. 모재와 Overlay 비드에 대해서 동일한 방법으로 오염물질을 세척하고 산화피막은 스테인레스 와이어 브러쉬로 제거하였다.

Table 2. Cu content and hardness of Al-Cu filler metals

Item	Cu content (mass %)	Hardness, Hv (Load : 9.8N)
25Cu	25.4	185
34Cu	33.6	255
46Cu	45.7	300

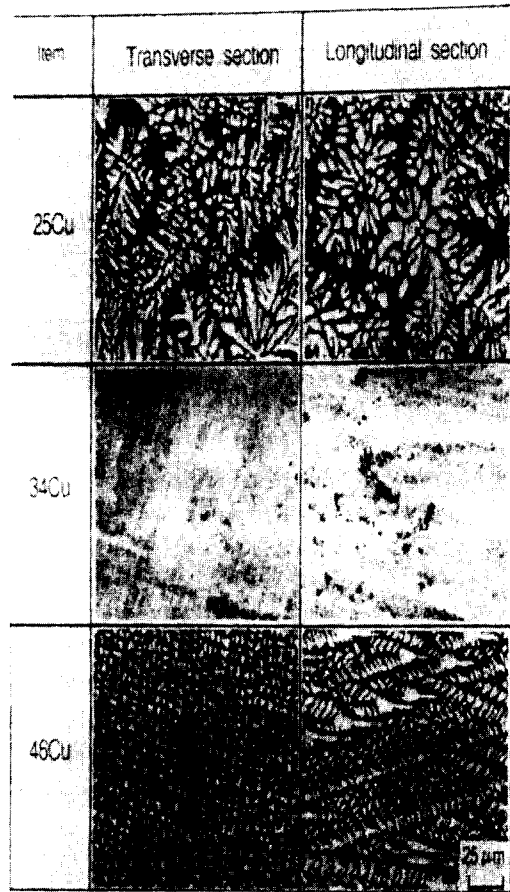


Photo. 2 Microstructure of Al-Cu filler metals

2.2 실험방법

2.2.1 TIG overlay의 적정용접조건

본 연구에서 적용한 TIG 용접조건은 Table 3과 같다. 모재 표면과 직접 접촉하여 용입이 이루어지는 제1층에서는 희석률이 낮게 유지되도록 전류치를 175A로 유지하였다. 제2층 overlay에서는 불균일한 초층비드 면에 양호한 용착이 형성될 수 있도록 용입량을 증가시키고자 전류치를 200A로 유지하였다. 이때 보호가스는 100% Ar을 20 l/min로 공급하였다.

2.2.2 Overlay 경화층의 조직과 생성상 분석

Table 3. Welding condition for TIG overlay

Type		AC
Current	1st layer	175A
	2nd layer	200A
Voltage		20-22V
Shielding gas		100% Ar, 20 l/min
Welding speed		200 mm/min

(1) 조직관찰

Overlay로 얻은 경화층에 대하여 그 표면 외관 및 비드 단면 형상을 관찰하였다. 비드의 중간부에서 채취한 단면시험편을 emery paper #1200까지 연마한 후 크기 $0.3\mu\text{m}$ 및 $0.05\mu\text{m}$ 의 Al_2O_3 입자를 이용해 버프연마 하였다. 연마된 면은 부식시킨 후 광학현미경 및 SEM으로 미세조직을 관찰하였다. SEM 관찰 시에는 시험편을 초음파 세척기를 사용해 아세톤에서 30분 이상 세척한 후, 관찰면의 산화를 방지하기 위해 증착기(evaporator)에서 Au 코팅을 실시하였다. 이 때 증착기의 진공도는 $10^{-3} - 10^{-4}\text{Torr.}$ 로 유지하였다.

(2) X-ray 회절

Overlay로 형성시킨 경화층 단면에 X-ray(CuK α)를 측정각 $20-80^\circ$ 의 범위로 주사하였다. X-ray 회절 분석조건은 관전압40KV, 관전류 30mA, goniometer의 주사속도는 $3^\circ/\text{min}$ 로 하였고 range 설정은 2000CPS(Count per Second)로 하였다.

2.2.3 Overlay 경화층의 기계적 성질

(1) 경도시험

Overlay 경화층의 경도 변화를 조사하기 위해 Micro Vickers 경도계로 비드 단면의 경도를 측정하였다. 비드의 상부인 표면으로부터 아래의 모재부 방향으로 비드의 중심선에 맞추어 0.5mm 간격으로 측정했으며 이때 측정하중은 9.8N, 하중의 유지 시간은 15초였다. 비드의 횡방향으로는 1mm 간격으로 측정하였다.

(2) 마멸시험

Overlay 경화층의 내마멸성(wear resistance)을 평가하기 위해 미끄럼형식(sliding type)의 大越式 마멸시험기를 이용하였다. 회전원판의 소재는 STD 11이며 직경은 40mm , 두께가 3mm 이었다. 비마멸량은 아래식으로 구했으며 여기서 하중은 98N, 마멸거리는 100m , 마멸속도는 4m/sec 로 일정하게 하였다.

$$W_s = (B b_o^3)/(8r P_o l_o)$$

W_s : 비마멸량(mm^3/Nm)

r : 회전원판 반경(mm)

B : 회전원판 두께(mm)

P_o : 하중(N)

b_o : 마멸흔 폭(mm)

l_o : 마멸거리(m)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Overlay층의 비드 외관 및 단면 형상

Table 3의 조건으로 overlay를 실시한 비드의 외관을 Photo. 3에 정리하였다. 단일 비드를 형성시켰을 때와 같이 1층 overlay와 2층 overlay 모두 양호한 외관을 나타내고 있다.

이 overlay층에 대한 단면을 Photo. 4, Photo. 5, Photo. 6에 나타내었다. 대부분의 경우 회석률은 20% 이내를 유지하였으나 일부 비드는 상대적으로 깊은 용입을 나타내어 Al 5083에 용가재 33Cu로 overlay했을 경우는 회석률이 약 40% 가량을 나타내었다. 이것은 overlay 작업이 수동으로 이루어져 용입 조정의 정확성이 상대적으로 떨어지기 때문이다.

1층 overlay에서는 전류치가 175A로서 회석률이 20%이내로 제한되었지만 2층 overlay에서는 전류치가 200A로 증가하여 약 40% 이상의 회석률을 나타내었고 첫번째 overlay층에 충분히 용입된 상태를 보여주고 있다.

Cu 함유량이 높은 용가재 46Cu를 이용한 경우는 일부 비드의 중첩부에서 미세균열이 관찰되었다. 이것은 overlay 조건의 부적합보다는 사용한 용가

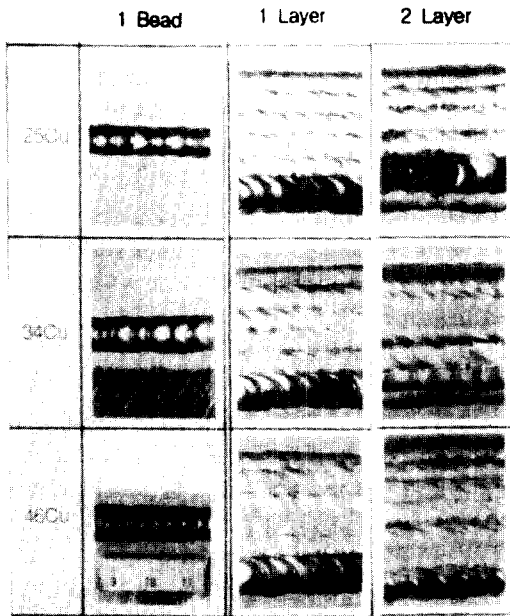


Photo. 3 Appearance of overlay bead surface

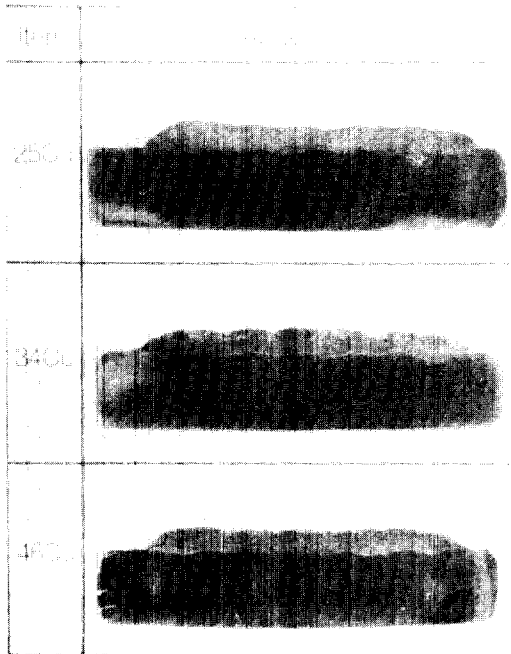


Photo. 5 Cross-section of 1 layer overlay

재의 Cu 함유량에 관련된 것으로 생각된다.

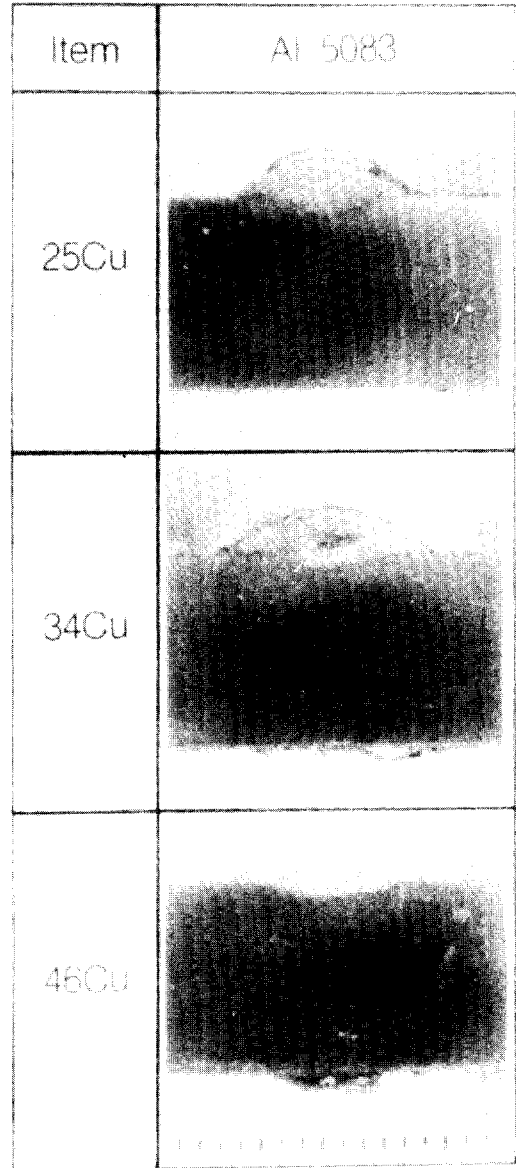


Photo. 4 Cross-section of 1 bead overlay

3.2 Overlay 경화층의 조직과 생성상

3.2.1 단일 비드 경화층

Cu 함유량이 각기 다른 용가재 25Cu, 34Cu, 46Cu로 Al 5083 표면에 초층의 경화층을 overlay한

후 단면의 상부, 중앙부 및 하부에서 관찰한 대표적인 조직을 Photo. 7에 나타내었다.

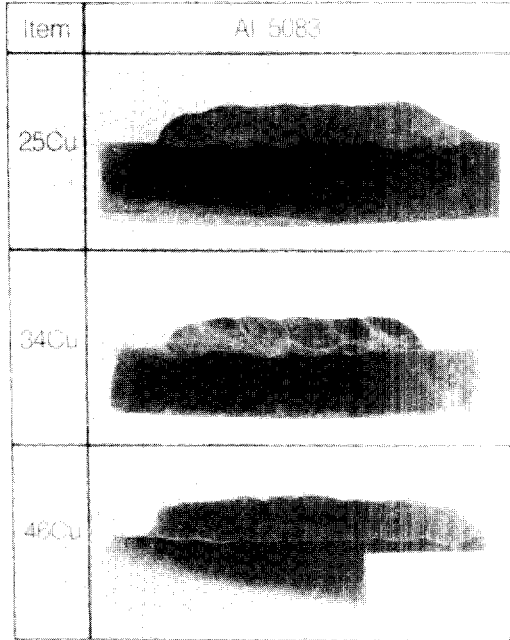


Photo. 6 Cross-section of 2 layer overlay

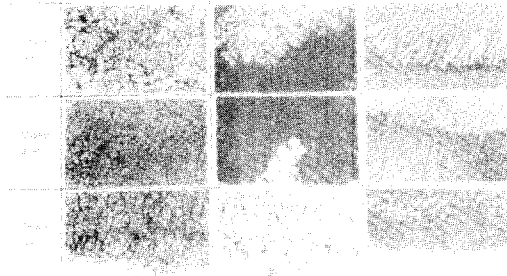


Photo. 7 Microstructure of 1 bead layer on Al 5083

Cu 함유량이 25.4%인 용가재로 overlay를 실시한 경우는 비드 단면 전체에 백색으로 관찰되고 있는 초정 α Al이 수지상으로 성장한 전형적인 아공정 조직을 형성하였다. 33.6%인 경우는 비드 상부와 중앙부에 검정색으로 나타나고 있는 공정조직

(α Al+CuAl₂)과 초정 α Al이 혼재되어 나타나고 있다. 45.7%에서는 백색으로 관찰되고 있는 초정의 θ 상(CuAl₂)이 수지상으로 성장하는 한편 그 끝에서 θ 상의 가지들이 분리되어 미세하게 분포되어 있는 과공정조직을 나타냈다.

그리고, 모재와의 용융 경계부에서는 어느 경우에서나 주조조직에서 볼 수 있는 주상조직이 모재로부터 형성되었으며 그 상단에서 용착금속의 중앙으로 수지상의 성장이 이루어지고 있다.

3.2.2 초층 경화층

3종의 용가재로 연속 중첩에 의한 초층의 경화층을 overlay한 후 비드 중첩부를 중심으로 조직을 관찰하였다. Photo. 8에 대표적인 조직을 나타내었다.

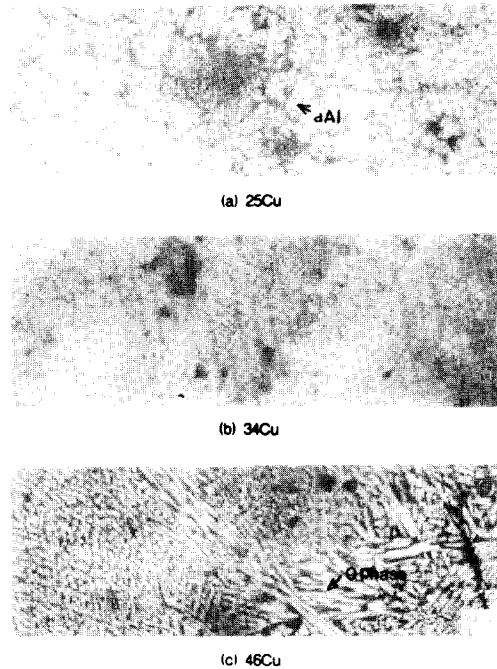


Photo. 8 Microstructure of remelting zone of 1 layer overlay on Al 5083

25Cu의 경우는 비드가 중첩되는 재용융부에서 단일 비드의 조직과 비교하여 초정 α Al이 크게 성

장하여 백색으로 관찰되고 있다.

34Cu에서는 공정조직 중에 수지상으로 혼재되어 있는 초정 α Al이 재용용에 의해 분리되어 중첩부에 미세하게 분산되어 있다. 이 원인은 재용용부의 용용지가 기존의 비드와 접촉하는 상태에서 그 접촉 선단은 비드의 중앙부에 비해 열전달이 높아 상대적으로 급속한 냉각이 이루어지고, 이로 인해 초정 α Al이 공정조직보다 먼저 응고하여 조직 내에 분포되기 때문으로 생각된다.

46Cu에서는 본래의 조직이 재용용에 의해 성장하여 침상형의 수지상을 나타내고 분리되어 있던 θ 상들도 성장해 나타나고 있다.

한편 46Cu의 비드 중첩부에서 미세균열이 관찰되었다.

3.2.3 2층 경화층

경화층의 두께를 크게 얻기 위하여 3종의 용가재로 2층의 overlay를 실시하고, 그 단면의 미세조직을 비드 상부로부터 모재 방향으로 관찰하여 그 대표적인 조직을 Photo. 9~11에 나타내었다.

25Cu의 경우에 2번째 층인 2층의 상부에서 본래의 조직을 나타내고, 비드의 적층으로 열영향을 받은 곳에서는 초정 α Al의 형상이 다소 작아졌다. 특히 재용용부에서는 초정 α Al이 크게 성장하였으며, 이것은 1층 overlay에서와 유사한 현상이다.

34Cu의 경우 2층의 상부에서 전형적인 공정조직을 나타내고 있으며, 비드 중첩부에서는 초정 α Al이 1층 overlay에서와 같이 재용용으로 晶出되고 있다.

46Cu의 경우 재용용부에서는 침상형의 θ 상이 성장하고 이외 부분에서는 각형(角形)의 θ 상이 치밀하게 분포되어 있다. 특히 재용용부에서 미세균열이 관찰되었는데, 이 균열은 재용용부로부터 변형된 θ 상 쪽으로 전파하였다. 이와 같이 46Cu의 경우에 균열이 발생하는 것은 단단하고 취약한 θ 상의 정출과 함께 재열사이클의 영향으로 조직 가운데 내부응력이 존재하기 때문이라고 생각된다. 더욱이 Al 및 θ 상의 열팽창계수는 각각 $27.7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (293-773K)와 $15.9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (300-400K) 으로서 응고시의 수축은 각각 6.4% (순도 99.6% Al)와 3%이며 이렇게 약 2배에 달하는 수축률의 차이로 인해 응고균열이 유발된 것으로 생각된다.

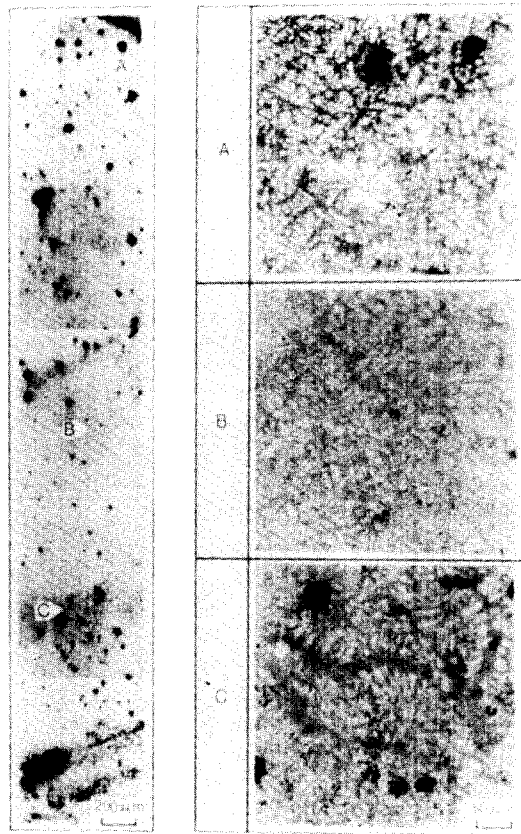


Photo. 9 Microstructure of 2 layer overlay on Al 5083 with 25Cu filler metal

균열의 발생위치와 그 전파 형태를 살펴보면 재용용부의 수지상점 및 그 성장이 억제된 가지가 분리된 조직에서 열흐름의 방향(응고 진행 방향)으로 균열이 발생하였다.

따라서 균열의 발생 원인은 Cu량의 증대로 θ 상이 증가함에 따라 Al과 θ 간의 응고 수축량의 차이가 커지는 점과 반복 overlay에 의한 급열냉의 반복으로 고온 균열에 민감해지는 두가지 요인이 복합적으로 작용하기 때문인 것으로 생각된다.

한편, overlay층에 발생된 기공은 최대 크기가 $100 \mu\text{m}$ 미만으로서 그 분포도 매우 적었으며 용접결합 검사인 방사선 검사에 검출되지 않았다. 따라서 Al 합금표면의 overlay 경화시에 관심의 대상이 되었던 기공은 크게 문제되지 않았다.

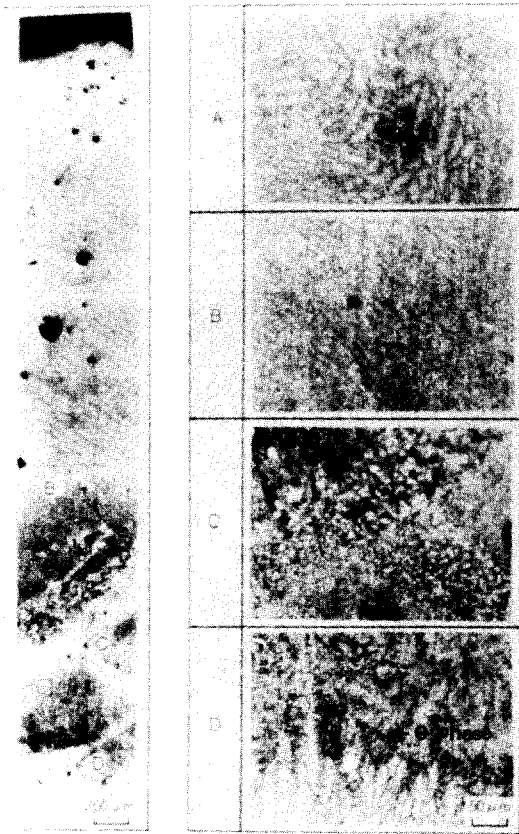


Photo. 10 Microstructure of 2 layer overlay on Al 5083 with 34Cu filler metal

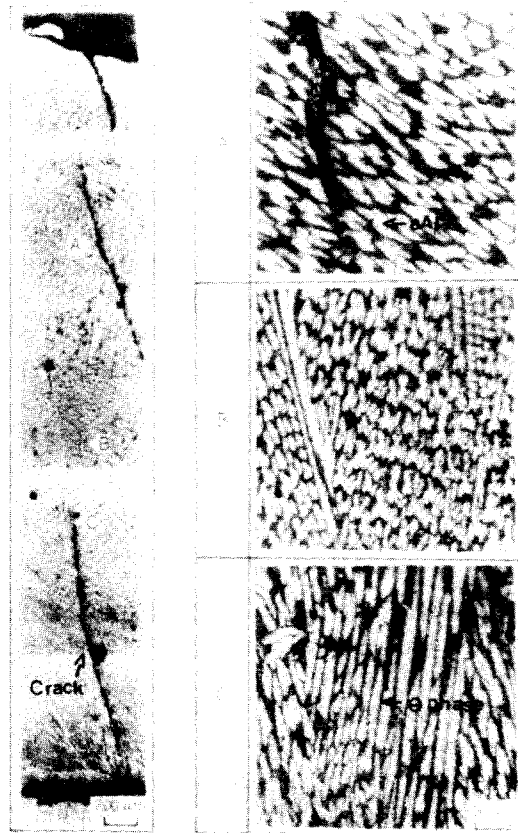


Photo. 11 Microstructure of 2 layer overlay on Al 5083 with 46Cu filler metal

3. 2. 4 SEM 및 X-ray 회절 분석

Al 5083의 표면에 형성시킨 overlay 경화층에 나타난 조직을 좀 더 자세히 분석하기 위하여 SEM 및 X-ray 회절 분석을 실시하고 그 결과를 Photo. 12, Photo. 13과 Fig. 1에 나타내었다. Photo. 12에서 볼 때 초층 overlay의 경우 25Cu에서는 초정으로 α Al이 정출하고 있는 아공정조직을 보이며 사진의 A가 이 초정 α Al이고 B는 공정조직을 나타낸다. 34Cu에서는 공정조직이 급격히 증가하고 초정 α Al은 상대적으로 감소한 조직을 보이고 있다. 46Cu에서는 작고 둥근 입상의 θ 상이 치밀하게 분포하고 있고 θ 상의 주위로 공정조직이 미세하게 둘러싸고 있는 과공정조직을 나타냈다.

Photo. 13은 2층 overlay시 각 용착부에 대한

SEM 분석으로서 25Cu에서는 단일 비드에서와 같이 아공정조직을 나타내며 공정조직을 이룬 모양이 단일비드의 경우 보다 잘 관찰되었다. 34Cu에서도 이와 같이 공정조직의 모양이 단일 비드에서 보다 잘 관찰되고 있다. 이 조직에서는 재용융에 의해 분리된 기존의 공정조직으로부터 수직상으로 성장한 공정조직을 볼 수 있고 그 가지 사이에 초정 α Al이 혼재되어 있다.

46Cu에서는 재용융에 의해 침상형으로 길고 끝이 둥근 형태의 θ 상과 그 사이에 존재하고 있는 공정조직을 나타내고 있다.

상기의 조직관찰과 SEM분석을 확인하기 위하여 X-ray 회절분석을 실시하였다. Fig. 1은 그 결과를 나타낸다.

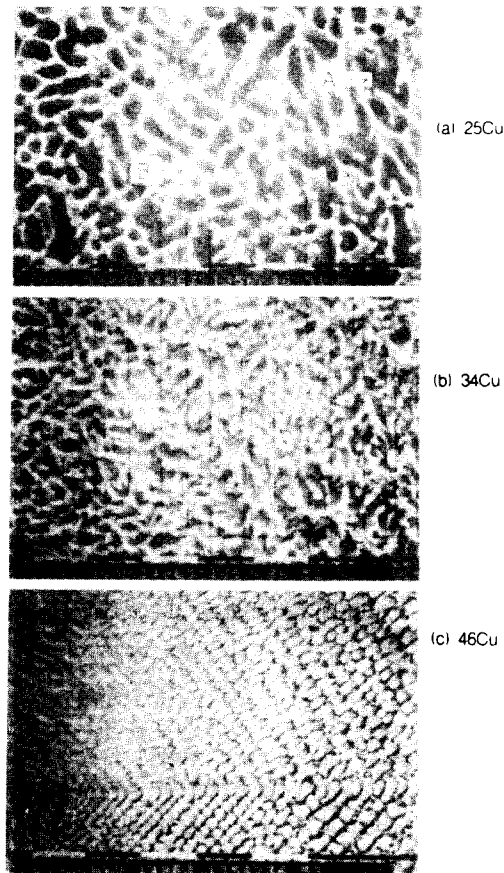


Photo. 12 SEM microstructure and phase of 1 bead overlay on Al 5083.

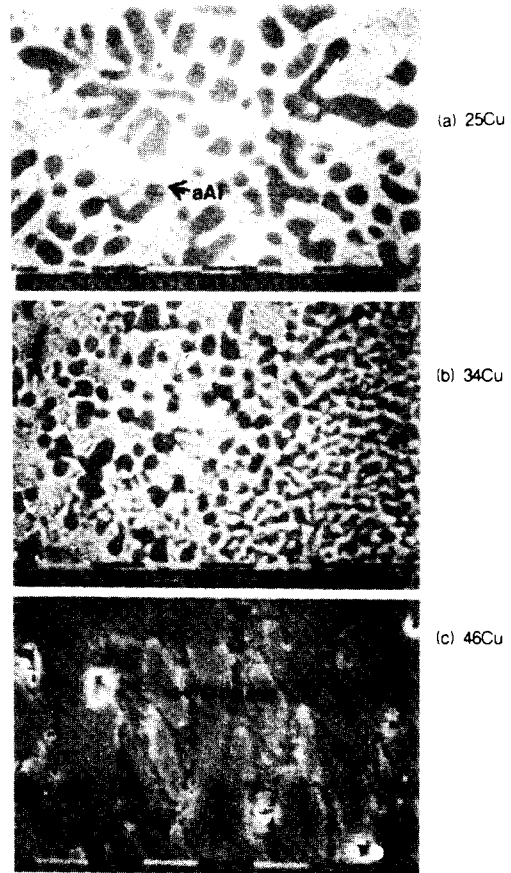


Photo. 13 SEM microstructure and phase of 2 bead overlay on Al 5083.

3.3 Overlay 경화층의 경도

3.3.1 Overlay형태와 경도 분포

Overlay 경화층의 경도 향상 특성을 조사하기 위해 경화층의 단면에 대하여 비드상부로부터 모재 방향으로 측정된 경도의 분포를 Fig. 2에 나타내었다.

Cu 함유량이 높은 용가재를 사용할수록 경도값은 커졌고 비드 상부로부터 2mm까지의 평균 경도는 Fig. 3과 같다. 즉, 단일 비드의 경우 25Cu 사용시 Hv 185, 34Cu는 Hv 235, 46Cu는 Hv 288이었고 초층 overlay의 경우 25Cu 사용시 Hv 180, 34Cu는 Hv 181, 46Cu는 Hv 260을 나타내었으며

2층 overlay에서는 25Cu에서 Hv 182, 34Cu에서 Hv 200, 46Cu에서 Hv 253을 나타내었다. 단일 비드의 경도는 용가재 경도의 96% 수준을 나타냈으나 초층, 2층 overlay에서는 각 용가재에 따라 얻어진 경도의 평균값이 88% 수준을 나타냈다.

초층 overlay에서 34Cu로 얻은 경도값이 25Cu에서의 경도 값과 유사하게 나타난 것은 측정 대상 비드와 직접 연결된 인접 비드의 용입이 매우 커서 모재와의 회석량이 증가하여 Cu량이 상대적으로 감소하므로써 그 경도 값이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 이 경우 비드의 회석률은 약 40%였다.

또한, 1층 및 2층 overlay에서 단일 비드와 비교하여 낮은 경도 분포를 나타내는 것은 비드의 중첩에 따른 재열사이클의 영향에 기인한 것으로 생각

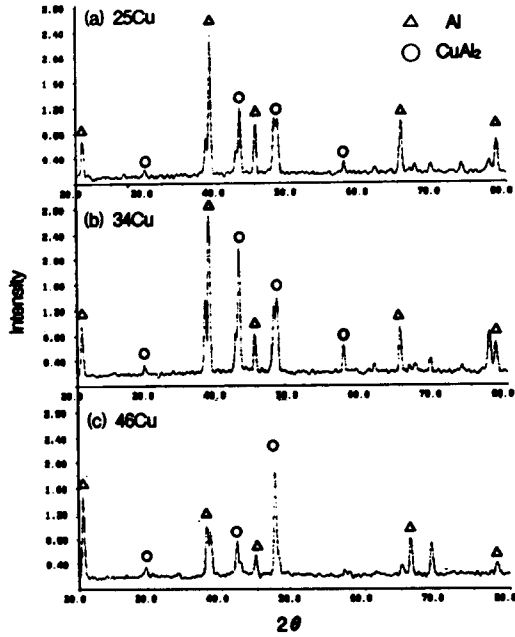


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of layers on Al 5083

된다.

Fig. 4는 1층 overlay 단면 중앙부에서 횡방향으로 측정된 경도분포를 나타낸다. 2mm 두께의 평균

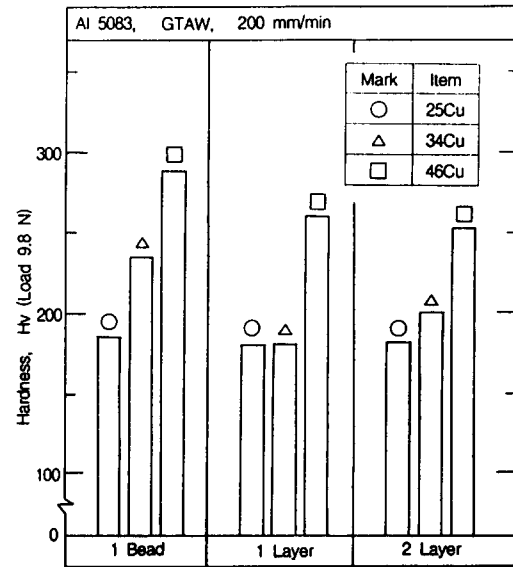


Fig. 3 Comparison of hardness of overlaid layers Al 5083

경도 값과 유사하게 나타나고 있으나 비드가 중첩되는 곳에서는 경도의 저하 현상이 나타나고 있다. 이러한 원인은 재용융부에서 25Cu의 경우는 초정 αAl의 미세한 분포로, 46Cu에서는 θ상이 치

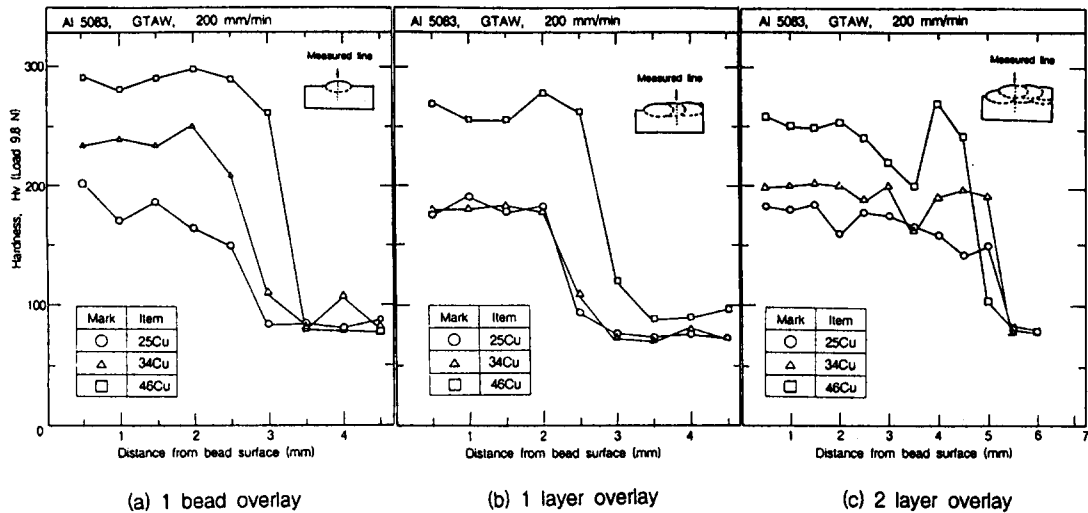


Fig. 2 Hardness distribution in cross-section of overlaid layers on Al 5083

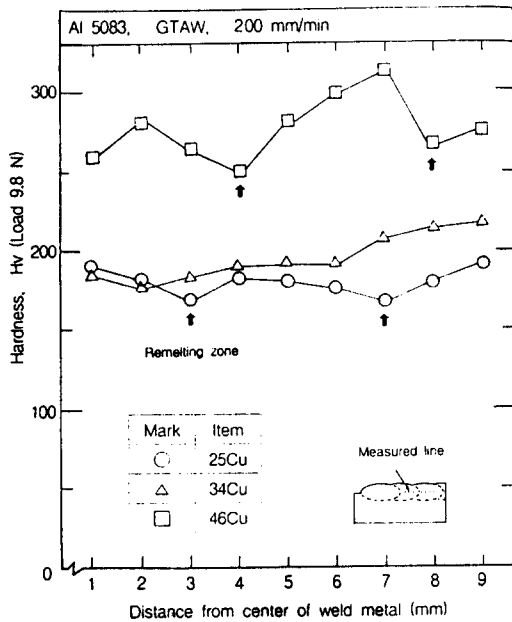


Fig. 4 Hardness distribution of transverse direction of 1 layers cross-section on Al 5083

밀한 각형에서 수직상으로 바뀐 조직 변화의 영향이라고 생각된다.

한편 1층 overlay에서 낮은 경도 값을 나타낸 34Cu의 경우 인접해 있는 용입이 큰 비드의 반대 방향으로 경도를 측정했을 때 점차 그 값이 증가하는 것을 보면 본 경우에서 경도 저하의 원인은 회석에 따른 Cu 함유량의 감소에 있었음을 확인할 수 있다. 原田 등²⁹⁾도 비드상에서 회석률의 증가로 Cu 함유량이 감소하고 이에 따라 경도가 저하하는 현상을 확인한 바 있다.

3.3.2 Cu함량과 경도의 관계

Fig. 5는 overlay층의 Cu 함유량과 경도의 관계를 Al-Cu 이원계 평형상태도²⁸⁾와 비교하여 정리한 것이다.

사용한 용가재의 Cu 함유량에 비하여 overlay층의 Cu 함유량이 낮게 나타나고 있으며 이와 함께 경도도 용가재보다 낮게 나타난다. Cu량의 감소는 (1) 모재와의 회석에 의한 감소, (2) TIG 아크로 인한 Cu 원소의 소실 등에 의한 것으로 생각된다.

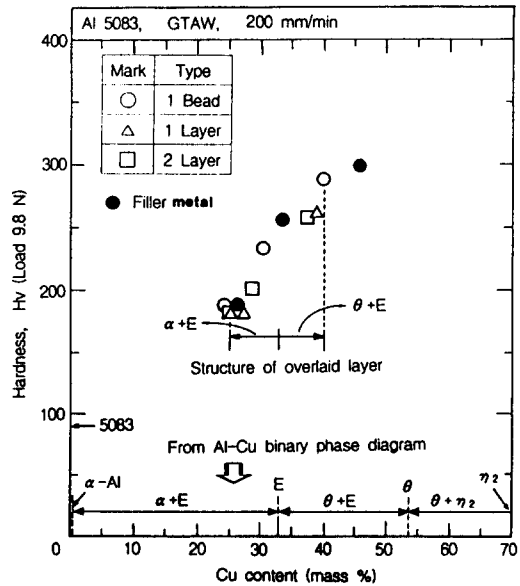


Fig. 5 Relation between Cu content and hardness in overlaid layers on Al 5083

Overlay층의 Cu 함유량을 Al-Cu 이원계 평형상태도와 비교할 때 그 조직은 아공정조직(α Al+E)으로부터 과공정조직(θ +E)에 걸쳐 나타남을 볼 수 있다.

조직의 관점에서 경도의 증가를 살펴본다면 공정점 이하에서는 공정조직의 증가로, 공정점 이상에서는 θ 상의 증가로 경도가 증가함을 알 수 있다. 본 연구에서 얻은 경화층의 Cu량과 경도의 관계를 살펴보면 본 연구에서 얻은 경화층의 Cu 함유량 범위인 25-40mass%에서 직선적으로 나타났다.

Overlay층의 Cu량과 경도를 용가재의 값과 비교해 저하된 결과를 보면, 단일 비드의 경우보다 초층, 2층 overlay일 때와 용가재의 Cu 함유량이 많아질수록 그 저하율이 커지고 있음을 볼 수 있다. 이 저하 현상은 3.3.1에서 전술한 바와 같이 Cu량의 감소와 재열사이클에 의한 연화로 설명될 수 있으며, Cu량의 감소는 모재와의 회석과 TIG 아크에 의한 Cu 원소의 연속적 손실이 복합적으로 작용했기 때문으로 생각된다.

따라서 단일 비드의 경도를 기준으로 초층, 2층의 경도를 직접 예측하는 데는 문제가 있으나 초층 overlay의 경도는 2층의 경우와 그 차이가 5% 이내

로 나타나고 있어 초층 overlay 정도값은 실 응용면에서 매우 유용하게 활용할 수 있다고 판단한다. Si의 표면경화를 위해 MIG/TIG 프로세스를 이용한 기존의 연구^{22, 25, 27, 28)}들이 단일 비드의 형성에 국한되어 왔음을 고려할 때 이러한 결과의 유용성은 더욱 크다고 볼 수 있다.

한편 3종의 용가재로 얻어지는 경화층의 경도를 비교할 때 Cu 함유량이 많을수록 그 저하율이 상대적으로 커지는 현상을 나타내고 있다. 이것은 Cu 원소의 비중이 Si 원소에 비해 커서 용융지에서 상부보다는 중앙부나 그 하부쪽으로 보다 농후하게 분포하기 때문에 상부인 비드 표면쪽의 단면에서 경도가 떨어지는 것으로 생각된다. 코아형 복합 와이어를 이용해 경화층을 조사했던 原田 등²⁹⁾도 Cu의 비중이 높아 충분한 교반작용이 없는 용융지에서 아래쪽으로 집중되어 비드 단면의 하부에 Cu 편석을 일으켰다고 보고한 바 있다.

3.4 Overlay 경화층의 내마멸성

Fig. 6에서는 마멸하중을 98N, 마멸거리를 100m, 마멸속도를 4m/sec로 하였을 때, overlay층

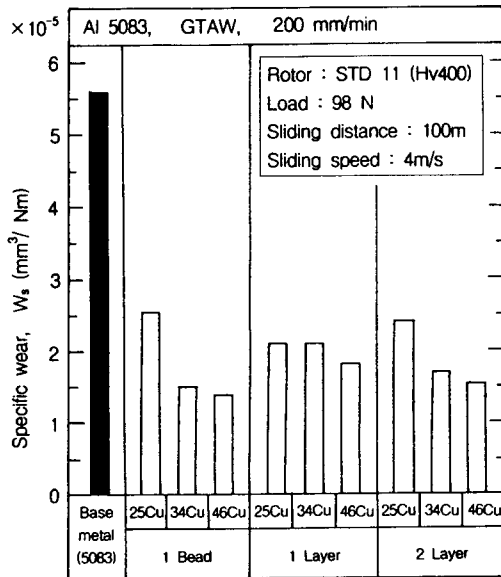


Fig. 6 Comparison of specific wear base metal and overlaid layers on Al 5083

의 비마멸량 (specific wear, W_s)을 구하고 모재 Al 5083과 비교하였다. Overlay층의 W_s 는 모재에 비해 1/2-1/4 수준으로 낮아져 내마멸성이 현저하게 개선되었다.

경도와 비마멸량의 관계는 Fig. 7과 같이 나타나고 있다. Hv 200까지는 급격히 비마멸량이 감소하고 그 이후는 약간 완만해지고 있음을 볼 수 있다. 효과적인 내마멸성의 개선을 위해서는 overlay층의 경도를 Hv 200 이상으로 유지하는 것이 중요함을 알 수 있다.

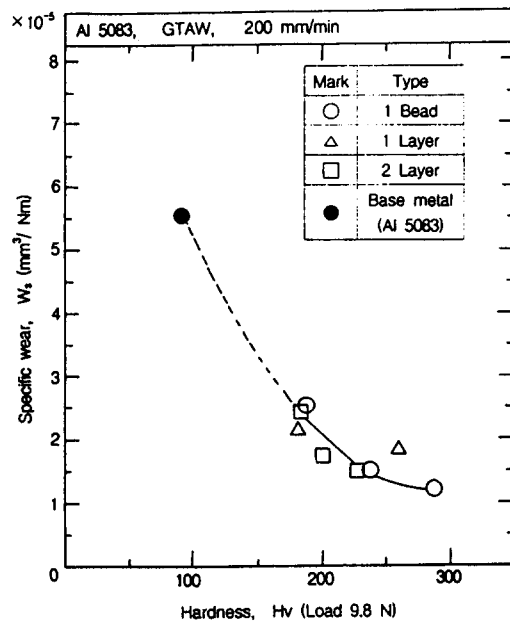


Fig. 7 Relation between hardness and specific wear of overlaid layers on Al 5083

4. 결 론

본 연구에서는 Al계 재료 표면에 대하여 면압하중을 받는 상태에서의 내마멸성 및 내구성 향상을 위한 후막의 표면경화층을 형성코자 하였다. 이를 위해 Si 합금 5083을 모재로 하고 TIG 용접법을 이용하여 Cu 함유량이 각기 다른 3종의 Al-Cu 합금 봉을 용가재로 표면 경화층을 overlay 하였다. 그리고 overlay를 위한 적정조건 선정과 함께 각 경

화층에 형성된 조직, 결합, 경도 특성 및 내마멸 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) TIG overlay을 이용해 Al-Cu 합금봉을 용가재로 Al 합금 5083의 표면에 후막의 경화층을 충분히 형성시킬 수 있음을 확인하였다.

(2) Cu 함유량이 각각 25.4, 33.6, 45.7mass% 인 용가재를 사용해 Al 5083에서는 Hv 180-288의 경도를 얻었다. 경도는 경화층의 Cu 함유량과 직선적으로 비례하였다. 경도의 증가는 공정점 이하에서는 공정조직에 의해 공정점 이상에서는 θ 의 증가에 의존하였다.

(3) 단일 비드에 비해 초층, 2층 overlay의 경도 값이 낮게 나타났다. 그 원인은 1, 2층 overlay 경우, 작용하는 재열사이클에 의한 연화와 아크에 의한 Cu량의 손실에 기인한 것으로 생각된다. 한편 비드 중첩부에서는 재용융에 의해 조직의 형태가 변화하며 경도가 저하하였다.

(4) 용가재의 Cu 함량이 많을수록 overlay 표면층의 경도 저하율이 증가하였고 그 원인은 용융지내 Al과 Cu 비중의 차이로 인한 표면부의 Cu 분포가 상대적으로 작아졌기 때문으로 생각된다.

(5) Overlay 경화층에 발생한 균열은 용가재의 Cu 함유량이 45.7mass%일 때만 발생하였고 주로 조직내 비드 중첩부에서 관찰되었다. 균열의 원인은 α Al과 θ 상의 응고수축률 차이에 기인한 것으로 생각된다.

(6) 경화층의 비마멸량은 모재의 1/2-1/4까지 감소하였으며 Cu량이 증가할수록 감소율이 커졌다. 비마멸량과 경도의 관계를 고려할 때 내마멸성의 효과적인 개선을 위해서는 본 연구의 조건에서는 Hv 200 이상의 경도가 필요하다.

후 기

“이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모 과제 연구비에 의하여 연구되었음”

참 고 문 헌

1. 小林盛家,バルブの耐熱硬化肉盛溶接,日本

溶接學會誌, Vol.41, No.10, 1971, pp. 988~994

2. 淺利孝一 外2人, タングステンカーバイド系材料による硬化肉盛溶接, 日本溶接技術, 1989.1, pp. 129~134

3. 中島正樹 外2人, 超硬質材料による表面硬化肉盛, 日本溶接學會誌, Vol.51, No.2, 1982, pp. 129~134

4. 五代友 外1人, 表面硬化肉盛溶接技術, 日本溶接學會誌, Vol.41, No.10, 1971, pp. 958~972

5. 三尺昌之, 最近の自動表面硬化肉盛溶接, 日本溶接學會誌, Vol.41, No.10, 1971, pp. 978~988

6. (財)金屬系材料研究開發センター(JRCM), アルミニウム表面シリオーダ-硬化技術調査報告書, 1989. 3

7. 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, Vol.40, No.107, 1990, pp. 746~752

8. 山永三 外1人, アルミニウムの表面處理, 日本輕金屬, Vol.40, No.6, 1990, pp. 460~483

9. R. S. Zuchowski et al., New developments in plasma arc weld surfacing, Welding Journal, 1964. 1, pp. 13~26

10. 林文雄, パラズマ-クによる金屬の溶解, 日本溶接技術, 1974. 10, pp. 75~78

11. 李揆千, 李暎浩, 松田福久, 中田一博, アルミニウム表面へのCr添加における硬化性とその特性, 日本溶接學會全國大會講演概要(第47集), 1990, pp. 238-239

12. 北田正弘, 複合化による新機能材料の創造, 日本金屬學會報, vol.17, No.12, 1987, pp. 956~958

13. 森田, Al厚膜表面硬化の可能性について, JRCM, 1988. 11

14. 清水茂樹 外4人, Al基板に對する炭化物被覆加工に關する検討, JRCM, 1988. 8

15. 清水茂樹 外4人, プラズマ粉體肉盛溶接によるAl表面への炭化物及びNiCu金屬による複合化に關する研究, JRCM資料, 1989. 12

16. 松田福久 外1人, A-クによるAl1表面硬化技

- 術の検討, JRCM, 1990. 4
17. 松田福久 外1人, レザ合金化法によるAl表面硬化技術の検討, JRCM, 1990. 12
 18. 李揆千, 李暎浩, 松田福久, 中田一博, PTA粉體肉盛에 의한 Al合金의 硬化厚膜合金の形成, 大韓溶接學會春季學術發表概要集, 1991, pp. 88~90
 19. 李揆千, 李暎浩, 松田福久, 中田一博, プラズマ粉體肉盛によるアルミニウム合金の硬化厚膜合金化の形成(第1報), 日本高温學會誌, Vol. 17, No. 4, 1991.
 20. 李揆千, 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の形成(第2報), 日本高温學會誌 Vol. 17, No. 4, 1991.
 21. 廣瀬健二, アルミニウム合金のTIGアーク溶接法による合金化に関する研究, 近畿學工學部, 1990
 22. 迎靜雄 外3人, Al-Cu合金のティグ溶接部の共晶の形成と硬さの變化, 輕金屬溶接, Vol. 27, No. 12, 1989.
 23. Y Kanbe et al, Gas metal arc welding for surfaci aluminum alloys with Al-Cuored wirem 1st Report : Seufacing aluminum alloy, welding Int., Vol. 7(6), 1993, pp. 449~455
 24. 松田福久, 表面改質技術の展望と課題, 日本溶接技術, 1988. 7. pp. 58~65
 25. 松田福久, 「既存材料の新素材化シリーズ」を始めるにあたって, 日本溶接學會誌, Vol. 56, No. 3, 1987, pp. 6
 26. AWS, Welding Handbook (7 Edition), Vol. 4, pp. 316~386
 27. 이 영호, 윤의박, 스테인레스강 Overlay 용접부의 Disbonding에 관한 연구(1), 대한용접학회지, 1권 제2호, 1983, pp. 44~52
 28. Tsujimura and Uemura, Investigation of surface modification of aluminium by combined TIG/MIG welding process, Trans Jpn Weld Soc., Vol. 49(9), 1991
 29. Shibata et al, Overlay welding of Al-Cu alloy on aluminum by AC PTA, Trans. Tpn Weld Soc., Vol. 46(4), 1990, pp. 132~133
 30. Tomita et al, Overlay welding of Al-Cu alloy by TIG welding, Surface Modification Technology Research Committe, (10), 1990
 31. 輕金屬學會, アルミニウム組織と性質, 1991, pp. 256~272, pp. 278~294