

PTA 용사에 의해 제조된 표면개질부의 특성에 관한 연구

김광수^{1*} · 지정훈¹

A Study on Characterization of Modified Surface Manufactured by PTA Spray

Gwang-Soo Kim^{1*} and Jung-Hoon Ji¹

요약 표면 경화가 요구되는 소재에 코발트계 합금 분말을 용사 소모재로 하고 플라즈마 트랜스퍼드 아크(PTA) 용사 공정을 이용하여 표면 개질부를 제조하였다. 표면 개질부는 다른 용사 변수는 일정하게 유지한 상태에서 용사 전류를 변화하여 제조하였다. 용사 전류를 80에서 140 amp까지 20 amp씩 증가하면서 개질층을 제조하였다. 두께가 일정한 모체에 전류를 변화하여 표면 개질층을 제조하는 경우 용사후 모체에서 발생하는 냉각 효과가 다르게 되고 이는 개질층의 폭과 두께 등의 기하학적 형상과 미세 조직, 그리고 미세경도 등의 특성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 용사 전류를 120 amp로 사용한 경우 미세조직이 조밀하고 미세경도 값이 가장 높은 값을 나타내는 개질층을 얻을 수 있었다. 전류를 증가함에 따라 개질층의 폭은 증가하지만 높이는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

Abstract Plasma Transferred Arc Spray process was used to make modified surface for wear and corrosion resistant by using Co system powder type alloy. The modified surface was produced by changing only spray current and other process variables were constant. The current range was from 80 amp to 140 amp as increasing 20 amp. It was appeared that the geometrical shape, microstructures and microhardness of the modified surface were affected by the different cooling rate of base metal. The modified surface that produced by 120 amp current exhibited the fine microstructure and the highest microhardness number implying good surface characteristics. It was also found that the spray current affected the width but not the height of the bead as increasing current.

Key Words : PTA, Hardfacing, Powder

1. 서 론

산업설비의 수명단축은 대부분의 경우 기계부품의 퇴화 현상이나 재료의 갑작스런 파손 등으로 발생하며, 궁극적으로는 산업 분야에 치명적인 손실로 이어지게 된다. 기계 부품이 갖는 여러 종류의 퇴화 현상 중에서도 재료 표면에서 발생하는 퇴화 현상으로는 산화, 부식, 침식 그리고 접촉에 의한 마모 등이 있다. 이중 접촉에 의한 마모는 위에 열거된 산화, 부식, 침식[1-5] 등의 문제가 복합적으로 발생하게 되고 그에 따른 경제적 손실이 매우 크기 때문에 각별한 주의가 요구된다. 이와 같은 마모에 의한 표면 퇴화 현상이 발생하였을 경우 해당 부품을 새로운 부품으로 교체할 경우에는 비교적 많은 비용과 시간의 제약을 받게 된다. 따라서 가

급적 빠른 시간 내에 손상된 부분을 보수하고자 할 경우 용접 분야에서는 특별히 웰드 오버레이(weld overlay) 또는 하드페이싱(hardfacing)이라고 하는 전문적인 분야로 구분하여 취급하고 있다.

웰드 오버레이와 하드페이싱[6-8]은 부품 제조시 부품 자체는 경제적인 재료를 사용하고 열악한 환경에 노출되는 표면부 등은 내식, 내마모 특성이 우수한 재료를 가지고 용접관련 공정을 적용하여 표면을 개질하는 방법을 의미한다. 이중 PTA 용사는 용융입열이 적기 때문에 고온균열이 발생하지 않는 등 다른 용융 용접 공정에 비하여 매우 효율이 높은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 최근 주목받고 있는 내마모 내식을 위한 PTA 용사 공정에서 용사공정 변수중 가장 중요한 역할을 하는 전류 변화가 표면 개질부의 기하학적 형상과 미세조직상에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 조사하여 실제 부품개발 및 실장 표면 개질층 제조에 제공될 수 있는 자료를 축적하고자 하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

이 논문은 2003년도 순천대학교 교내 학술조성연구비의 지원으로 수행되었음.

¹순천대학교 신소재공학과

*교신저자: 김광수(kgwangs@sch.ac.kr)

2. 재료 및 실험방법

2.1 재료

PTA용사 실험에 사용된 재료로는 판상의 모재와 표면 개질에 사용되는 분말합금으로 구분된다. 모재는 SM45C의 탄소강재로 두께 6 mm, 가로와 세로는 80 mm의 판재 형태로 가공하여 이용하였다. 개질에 사용된 용사분말은 내식 내마모 성질을 갖는 Co 계 분말이고, 분말의 입도는 250±5 mesh 범위 안에 있었다. 표 1은 사용된 분말의 화학성분과 적절한 공정을 적용할 경우 얻어질 수 있는 분말재의 경도값을 나타내고 있다. 모재는 용사 전에 표면을 샌딩 처리하였으며, 유기 용매를 사용하여 최종 세척하였다.

2.2 PTA 용사실험

표면개질 용사실험은 용사공정 변수가 개질부 형상과 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 주요인점을 두었다. PTA 용사의 주요 공정변수로는 사용 가스의 성분, 유량, 용사전류, 용사속도, 분말의 공급량 등이 있다. 본 실험에서는 목적에 맞는 표면 개질층 높이와 폭을 결정하고 동시에 내마모에 만족하는 경도 등의 특성에 가장 많은 영향을 미치는 용사전류만 변화시키고 다른 모든 변수는 일정하게 한 조건에서 실험을 실시하였다. 용사 실험에 사용된 PTA 용사장비는 국내에서 제작된 장치로서 사용 가능 최대 전류는 250 amp이다. 그림 1(A)는 PTA 장비의 개략도와 공정도(B)를 보여준다. 표 2는 표면개질시 용사에 사용된 여러 변수를 나타냈다.

표 2에서 보는 바와 같이 모든 용사 조건은 동일한 상태에서 단지 전류만을 변화하여 표면개질을 실시하였다. 모재는 예열 없이 용사가 이루어졌고 용사 시험이 완료된 시험편은 용사직후 용사장치에서 꺼내어 상온까지 자연 서냉 하였다. 이렇게 냉각된 시험편은 개질층의 높이와 폭 등의 외부 기하학 형상을 관찰한 후 개질부를 절단하고 절단부에 대하여 모재와 개질부의 접착 상태, 미세조직, 그리고 개질부의 경도 등을 조사하였다. 절단부의 미세조직은 5% Nital 용액으로 에칭하여 관찰하였고, 개질부의 미세 경도는 개질부의 표면, 중앙, 그리고 모재와 개질부의 계면부가 되는 저면부에 대하여 각각 측정하였다.

표 1. Spray Powder의 화학성분

Chemistries	Co	Cr	W	Ni	Fe	Si	C	경도(HRC)	경도(DPH)
wt(%)	Bal.	29	8	3	3	2	1.35	40-48	390-510

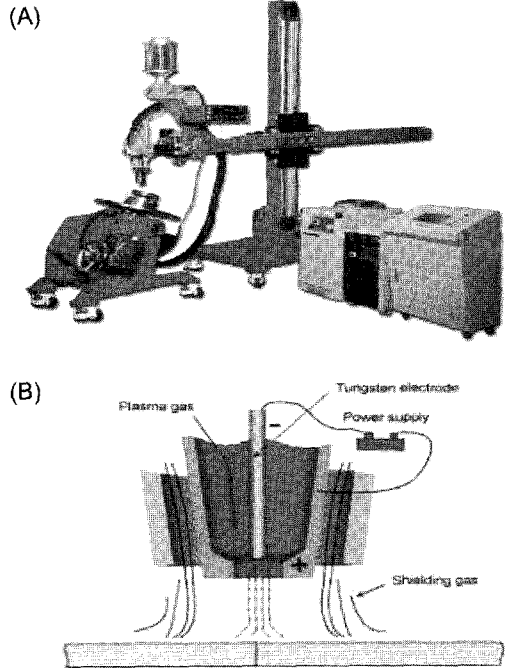


그림 1. (A) PTA 장비의 개략도. (B) PTA 공정의 모식도

표 2. PTA 용사 공정변수

plasma gas & flow rate	Ar, 1.5 liter/min
shielding gas & flow rate	Ar, 12 liter/min
arc length	8~10 mm
spray current(amp)	60, 80, 100, 120, 140
spray speed	30cm/min.
weaving width	8.8~10.2 mm
powder feeding rate	60 g/min
torch angle	vertical

3. 결과 및 고찰

3.1 표면 개질부의 건전성과 기하학적 형상

모든 용사조건을 동일하게 유지한 상태에서 용사 전류만을 변화하여 만들어진 개질부의 외관 형상을 관찰하였다. 용사시 선택된 전류 범위는 기계화 용사시 추천되는 전류를 기본으로 하여 같은 범위(±20 amp)로

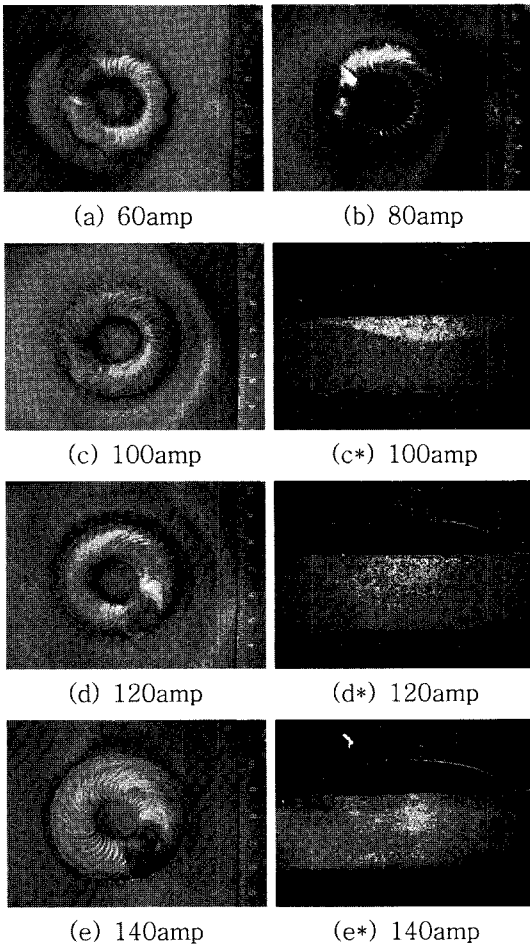


그림 2. 전류변화에 따른 표면개질층의 형상과 계면부의 단면(c*, d*, e*).

가감하여 정하였다.

그림 2는 개질부의 외관 표면 상태와 모재부와 개질층간의 계면부의 단면을 보여준다. 개질부의 외관 비드는 전류 증가에 따라 폭이 증가하였다. 전반적으로 개질부 비드형상이 100 amp 보다 작은 전류에서는 불건전하였으나 100 amp 이상으로 되면서 건전하게 되었다. 보는 바와 같이 (a) 60과 (b) 80 amp로 만들어진 시험편은 비드의 형상이 매우 불규칙하고 건전하지 못한 상태를 보여준다. 반면에 전류가 100 amp 이상으로 증가됨에 따라서 비드의 표면 상태는 많이 부드러워진 것을 확인 할 수 있다. 60, 80 amp의 전류로 만들어진 비드에서는 (a), (b)에서 예상 할 수 있듯이 모재와 개질층의 결합이 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서 그 계면층의 단면부를 따로 나타내지 않았다. 한편 100 amp의 경우에는 비드의 외관이 부드럽고 개질층

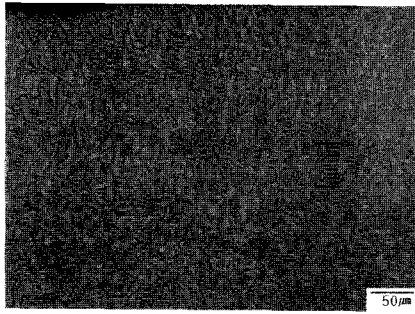
(c*)과 모재와의 결합상태도 건전한 것으로 나타났으나 실제 그 계면부를 고배율에서 관찰한 결과 모재와 개질층의 결합상태가 국부적으로 불완전한 구역을 다수 발견 할 수 있었다. 이는 용사 초기에는 모재가 가열되지 않은 상태에서 용가재가 첨가되어 모재와 용가재간의 완전한 결합이 이루어지지 않았지만 용사가 진행되는 동안 모재에 열이 축적되면서 후반부에 만들어지는 개질층은 모재와의 결합 상태가 양호한 것으로 나타났다. 이를 확인하고 개질부의 외관을 결정해주는 비드의 높이와 폭을 측정하기 위하여 개질층의 단면을 관찰하였다.

그림 2(d*)와 (e*)도 모재와 개질층의 계면부를 보여주고 있으며, 비드의 하단부에는 모재가 받은 열영향부의 영역을 나타내주고 있다. (d*)와 (e*)는 모재와 개질층의 결합 상태가 매우 양호하게 나타났다. 특히 140 amp(e*)의 경우에는 모재와 개질층간 계면이 불규칙한 것이 확인 되는데 이는 높은 용입열로 인하여 모재 표면이 국부적으로 용융되어 모재와 용사층간 견고한 결합이 이루어졌음을 확인하는 결과라 할 수 있다. 이러한 계면 형상은 모재와의 강한 결합력을 보장해 주지만 과도한 용입열이 모재에 유입되어 모재 본래의 특성에 나쁜 영향을 미칠 수도 있으므로 과도한 용입열의 부과는 피하는 것이 바람직하다. 외형과 계면의 단면을 관찰한 결과 용사 전류는 100 amp 보다는 높아야 하고 140 amp 보다는 낮아야만 모재와 개질층간의 계면 용착이 잘 되고 외관이 건전한 표면 개질부를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

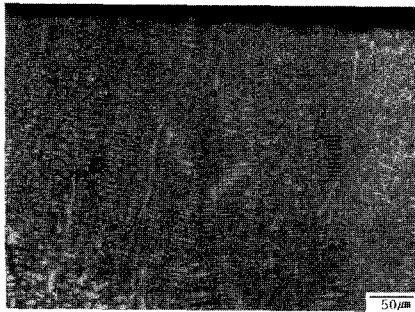
3.2 표면개질층의 미세조직 및 미세경도

표면개질층의 외부형상 관찰에 이어 내부 미세조직 관찰이 이루어졌다. 개질층의 표면부, 중앙부 그리고 모재와의 계면부에 대하여 전류별로 관찰되었다. 그림 3, 4, 5는 각 전류별 그리고 부위별에서 관찰된 미세조직을 보여준다. 동일한 전류 조건에서 각 부위별로 보면 세부분 모두 수지상 응고조직을 보여주었다. 수지상 조직은 부위별로 단순 수지상과 주상정의 수지상을 보여주고 있으며, 각 부위별로 수지상의 크기가 다르게 나타났다. 가장 미세한 수지상조직은 표면부에서 관찰되었고 중앙부는 모든 전류조건에서 가장 조대한 수지상 조직을 나타냈다. 이러한 수지상의 크기는 용사후 부위별로 용사층의 냉각효과가 달랐기 때문으로 판단된다. 용사층 제조시 상온으로 유지되고 있는 모재에 만들어진 개질층은 개질층 표면과 모재로 냉각이 주로 발생할 것이다. 따라서 미세한 수지상으로부터 기대되는 경도

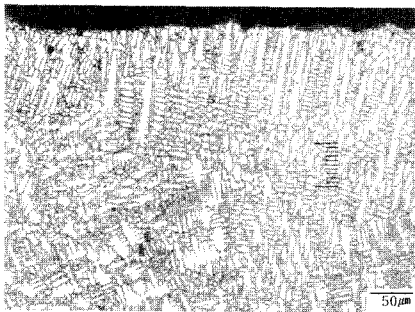
상승 효과와 개질층 전반의 균일한 경도 값을 얻기 위해서는 개질층의 표면적이 크고 모재부와의 접촉 면



(a)



(b)

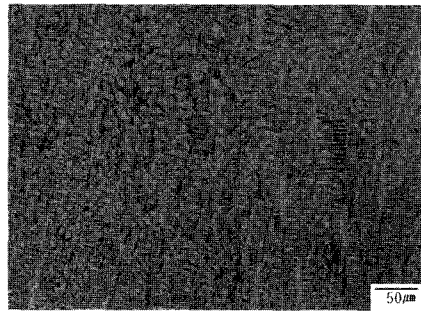


(c)

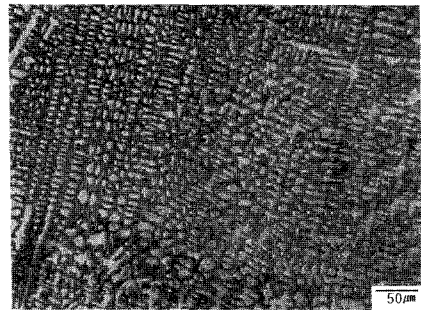
그림 3. 표면개질층의 미세조직(상층부). (a) 100 amp, (b)120 amp, (c)140 amp

적이 클 경우 효과적인 것으로 사료된다. 전류를 120 amp로 한 경우 표면층의 수지상은 100 amp 경우보다 미세하게 관찰되었다. 반면에 중앙부에서 관찰되는 수지상은 100 amp에 비하여 약간 조대하게 나타났다. 이상과 같이 개질층의 미세조직과 미세경도 결과를 개질층 비드 형상과 비교하여 검토하면 다음과 같이 설명될 수 있다.

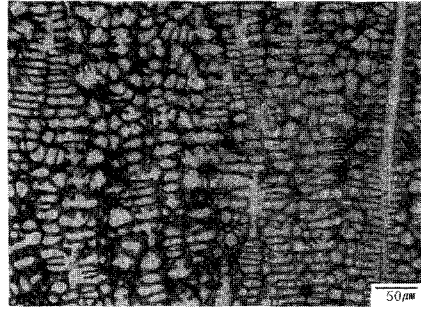
그림 6의 비드 형상 그래프에서 나타낸 바와 같이 용사 전류의 증가는 개질층 비드 높이에는 큰 변화를 주지 못하면서 폭이 확대되었다. 즉 전류 증가로 인하여 만들어지는 비드의 표면적은 증가하게 되고 모재와 개질층의 표면을 경로로 하는 냉각효과는 더 빠르게 나타



(a)



(b)

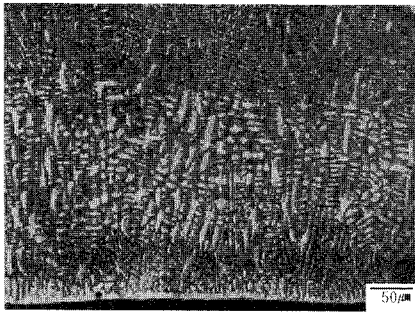


(c)

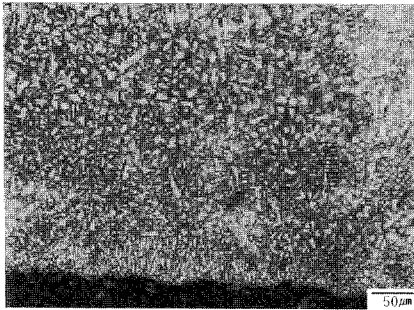
그림 4. 표면개질층의 미세조직(중앙부). (a) 100 amp, (b) 120 amp, (c) 140 amp.

난다고 할 수 있다. 반면에 내부의 중앙부는 가장 느린 냉각 효과에 의하여 낮은 경도값을 갖게 되므로 가능하면 비드는 모재를 과열시키지 않는 상태에서 넓게 하기 위하여 전류값을 증대 시키는 것이 효과적이다.

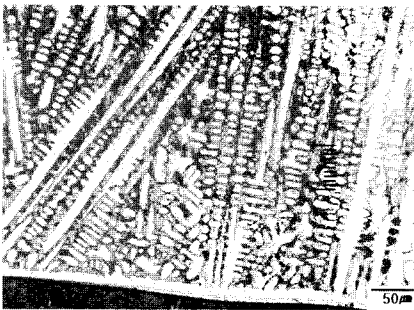
미세조직 관찰에 이어 표면개질시 가장 중요한 특성이 되는 미세경도 값을 측정하였다. 각각 용사전류별로 만들어진 용사층에 대하여 용사층 표면, 모재와의 계면부 그리고 계면과 표면층의 중앙이 되는 부분에서 경도를 각각 7회 측정하고 평균값을 구하여 그래프화 하였다. 또한 동일 용사전류 조건에서 얻어진 3부분의 경도값을 평균하여 그 평균값도 그래프에 함께 나타냈다. 그림 7은 측정된 미세경도 값들을 그래프화 한 것이다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 표면개질층의 미세조직(계면부). (a) 100 amp, (b) 120 amp, (c) 140 amp

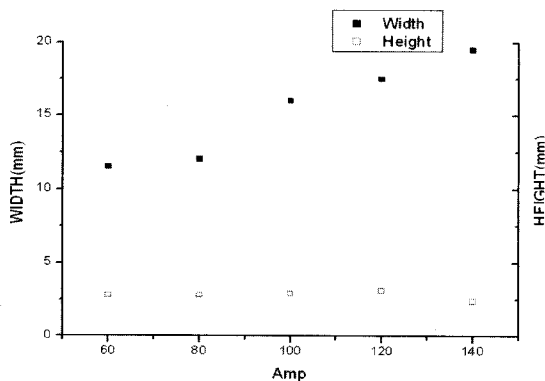


그림 6. 비드의 높이와 폭.

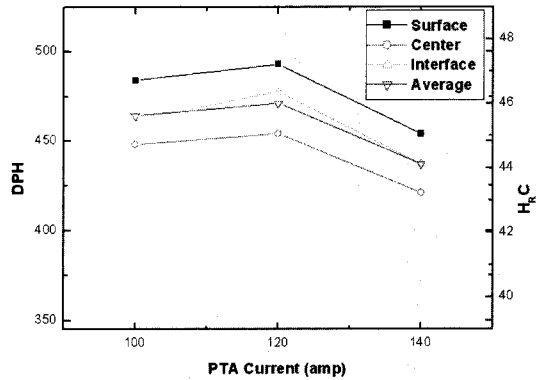


그림 7. 표면개질부의 미세경도.

동일 전류에서 만들어진 개질층에서 경도는 표면, 모재와의 계면부 그리고 중앙부 순으로 경도가 낮아지는 것으로 나타났다. 전류 변화에 따라서는 100 amp에서 120 amp로 증가함에 따라서 경도값이 증가하였지만 140 amp로 전류가 증가함에 따라서는 오히려 경도 값은 감소하였다. 동일전류에서 만들어진 용사층에서 부위별로 다른 경도 값을 갖는 것은 용사후 용사층의 냉각효과에 기인한다고 사료된다. 이미 미세조직 관찰에서 확인한 것과 같이 개질층 표면부는 가장 빠르게, 다음으로 모재쪽으로 냉각이 진행되고, 중앙부는 가장 느리게 냉각되기 때문에 경도가 부위별로 다른 값을 갖는 것으로 사료된다. 한편 전류 변화시 나타나는 경도 차이는 동일한 모재에 부과되는 용입열 차이에 의하여 발생하는 냉각효과 차이로 발생하는 것으로 사료된다. 전류 증가는 용입열의 증가로 이어지고 가장 높은 전류인 140 amp인 경우에는 과도한 열원이 모재에 유입되어 냉각 속도가 늦어지고 따라서 조대한 응고조직이 얻어졌다고 사료된다. 반면 동일한 모재에 100 amp에서 120 amp보다 적은 입열인 경우에는 빠른 냉각효과가 예상됨에도 낮은 경도값을 보인 것은 모재와 개질층사이 계면에서의 불완전한 접합이 모재 방향으로의 냉각 속도를 느리게 하여 낮은 입열에도 불구하고 냉각 효과가 적은 미세조직이 발생하지 않았나 사료된다. 각 부위별에서 얻어진 경도 값을 평균하여 보면 전류 증가순으로 458, 471 그리고 437DPH로 나타났는데 사용된 용사 분말재료의 적용시 추정 경도 값과 비교할 때 범위 안에 있었으며 가장 높은 경도값은 120 amp에서 얻어졌고 각 부위별의 차이도 가장 작은 것으로 나타났다.

4. 결 론

PTA 용사장치를 이용하여 표면 경화가 요구되는 부

위에 개질층을 제조하고자 용사 전류 조건을 변화하여 얻어지는 표면 경화부의 특성을 조사하였다.

1. 용사전류를 80 amp에서 140 amp까지 변화하여 표면개질부를 제조한 결과, 100 amp 보다 낮은 전류의 경우에는 개질층의 외관이 불균일하고 모재와의 결합이 충분히 이루어지지 않았다.

2. 전류 증가에 따라 표면 개질층의 미세조직은 조대화 되었고, 미세경도는 증가하다가 과도하게 높은 전류(140 amp)에서는 오히려 감소하였다. 이는 모재와 개질층에 의한 냉각 효과에 기인하는 것으로 사료된다.

3. 전류 변화는 비드 높이에는 영향을 주지 않고 단지 개질층의 비드 폭에만 영향을 미친다. 또한 전류 증가는 비드폭을 증가시킨다.

참고문헌

- [1] Z. M Liu and J.L. Wu, "A Study of a Abrasive wear Ristance of Flame-sprayed Coatings", Friction & Wear, 1989, 3.
- [2] J. H. Brunton, M.C. Rochester, Treatise on Materials Science and Technology, Vol. 16, Erosion 1979, 249.
- [3] Evaluation Methods and Equipment for Flame-Sprayed Coatings, Metco. Inc. Research Laboratory Report. No. 106, 1973.
- [4] R. A. Eubanks, Stress Concentration a Hemispherical pit of a Free Surface, J. App. Mech. Vol. 3, No. 1 1954, 57-62.
- [5] M. E. Vinago, F. Kasibzi, J. Vac. Sci. Technol. A3(6), No. NI, Dec, 1983, 66.
- [6] T. F. Bernecki, "Thermal Spray Coatings: Properties Process and Applications", Conference Proceedings, 1992, 257-262.
- [7] G.C. Shubert, "Welding Apparatus Method for Deposition Wear Surfacing Materials and a substarte Having a Weld Bead Thereon", U.S. Patent No. 4,689,463, 1987.
- [8] H. B. Cary, "Modern Welding Technology". Prentice Hall, 1998, 666.

김 광 수(Gwang-Soo Kim)

[정회원]



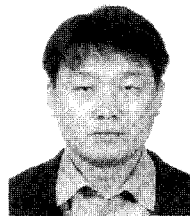
- 1981년 2월 : 인하대학교 금속공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : University of IL 재료공학과 (공학석사)
- 1990년 2월 : University of IL 재료공학과(공학박사)
- 1991년 3월~현재 : 순천향대학교 신소재공학과 교수

<관심분야>

내마모합금 설계, SMD, BGA, 의공재료

지 정 훈(Jung-Hoon Ji)

[준회원]



- 2004년 2월 : 순천향대학교 신소재공학과 (공학사)
- 2004년 3월~현재 : 순천향대학교 신소재공학과 석사과정

<관심분야>

Laser 용접, Plasam 용접, BGA