

# PTA 용사에 의해 제조된 표면개질부의 특성에 관한연구

지정훈\*, 유연곤\*, 김광수\*  
\*순천향대학교 신소재공학과  
e-mail:kgwangs@sch.ac.kr

## Chracterization of Modified Surface Manufactured by PTA(Plasma Transferred Arc) Spray

Jung-Hun Ji\*, Yeon-Gon Yoo\*, Gwang-Soo Kim\*  
\*Division of materials Engineering, Soonchunhyang University

### 요 약

플라즈마 트랜스퍼드 아크(PTA) 용사는 플라즈마 아크 용접 장치에 선형의 용접봉을 이용하는 대신 분말 형태의 용접재를 주입하여 주로 마모나 부식에 노출되는 금속의 표면에 적용하여 금속 표면의 내식 내마모 특성을 향상시키는 기술이다. 본 논문에서는 용사전류가 표면개질부에 미치는 기하학적 형상 및 미세조직에 미치는 영향에 대하여 알아 보았다. 낮은 전류에서는 접합이 이루어지지 않았고 높은 전류에서는 모재로 희석되어 들어가는 현상을 보였다.

### 1. 서론

대부분 산업설비의 수명단축은 기계부품의 퇴화 현상이나 재료의 갑작스런 파손 등으로 발생하고 궁극적으로 산업 분야에 치명적인 손실로 이어진다. 기계부품의 여러 퇴화 현상 중에서도 재료 표면에서 발생하는 퇴화 현상에는 산화, 부식, 침식 그리고 접촉에 의한 마모 등이 있다. 이중 접촉 등에 의한 마모는 위에 열거된 산화, 부식, 침식<sup>1,2)</sup> 등이 서로 복합적으로 발생하고 그 경제적 손실이 매우 크기 때문에 각별한 주의가 요구된다. 이와 같이 마모나 다른 재료의 표면 퇴화 현상이 발생하였을 때 새로운 부품으로 대체하는 경우는 비교적 많은 비용과 시간 제약을 받게 된다. 이러한 경우 빠른 시간 내에 문제를 해결하거나 또는 미연에 방지하기 위하여 용접 분야에서는 특별히 웰드 오버레이(weld overlay) 또는 하드페이싱(hardfacing)이라 하여 전문적인 분야로 취급하고 있다.

웰드 오버레이란 하드페이싱<sup>3,4)</sup>이란 부품 제조시 부품자체는 경제적인 재료를 사용하고 열악한 환경에 노출되는 표면부는 내식, 내마모 특성이 우수한 재료를 용접관련 공정으로 적용하여 표면을 개질하는

방법을 의미한다. 이중 PTA 용사는 다른 용융 용접 방법에 비하여 매우 효율이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 주목받고 있는 내마모 내식을 위한 PTA 용사 공정에서 용사공정 변수 중 가장 중요한 역할을 하는 전류 변화가 표면 개질부의 기하학적 형상과 특성에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 조사하여 실제 부품개발 및 실장 표면 개질층 제조에 제공될 수 있는 자료를 축적하고자 하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

### 2. 재료 및 실험방법

#### 2.1 재료

PTA용사 실험에 사용된 재료로는 판상의 모재와 표면 개질에 사용되는 분말합금으로 구분된다. 모재는 SM45C의 탄소강재로 두께 6mm, 가로와 세로는 80mm의 판재로 가공하여 이용하였다. 개질에 사용된 용사분말은 내식 내마모 Co 계 분말이고 그 분말의 입도는 250-53 mesh 범위 안에 있었다. Table 1은 사용된 분말의 화학성분과 적절 공정 적용시 얻어질수 있는 경도값을 나타내고 있다. 모재는 용사 전에 샌드(sand)를 사용하여 표면을 샌딩처리하였

고, 끝으로 유기 용매를 사용하여 최종 세척하였다.

Table 1. Chemical Composition of Spray Powder

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

2.2 PTA 용사실험

표면개질 용사실험은 용사공정 변수가 개질부 형상과 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 주안점을 두었다. PTA 용사의 주요 공정변수는 사용 가스의 성분, 유량, 용사전류, 용사속도, 분말의 공급량 등이 있다. 본 실험에서는 목적에 맞는 표면 개질층 두께와 폭을 결정하고 동시에 내마모에 만족하는 경도 등의 특성에 가장 영향을 많이 미치는 분말의 공급량과 개질 속도 그리고 용사전류를 변화하는 실험을 실시하였다. 용사 실험에 사용된 PTA 용사장비는 국내에서 제작된 장치로서 사용 가능 최대 전류는 250 Amp 이다. Figure 1은 사용된 용사기의 개략도를 보여 준다. Table 2는 표면개질시 용사에 사용된 여러 변수를 나타냈다.



Fig 1. PTA 장치와 개략도

Table 2. Parameters for PTA Spray Process

plasma gas & flow rate	Ar, 1.5 liter/min
shielding gas & flow rate	Ar, 12 liter/min
arc length	8-10 mm
spray current	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

Table 2에서 보는 바와 같이 모든 용사 조건은 동일한 상태에서 단지 전류만을 변화하여 표면개질을 실시하였다. 모재는 예열 없이 용사가 이루어졌고 용사 시험이 완료된 시험편은 용사직후 용사장치에

서 꺼내어 상온까지 자연 서냉하였다. 이렇게 냉각된 시험편은 개질층의 높이와 폭 등의 외부 기하학적 형상을 관찰한 후 개질부를 절단하고 절단부에 대하여 모재와 개질부의 접착상태, 미세조직, 그리고 개질부의 경도 등을 조사하였다. 절단부의 미세조직은 5% Nital 용액으로 에칭하여 관찰하였다. 개질부의 경계질부의 표면, 중앙, 그리고 모재와의 계면부가 되는 저면부에 대하여 각각 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면 개질부의 건전성과 기하학적 형상

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

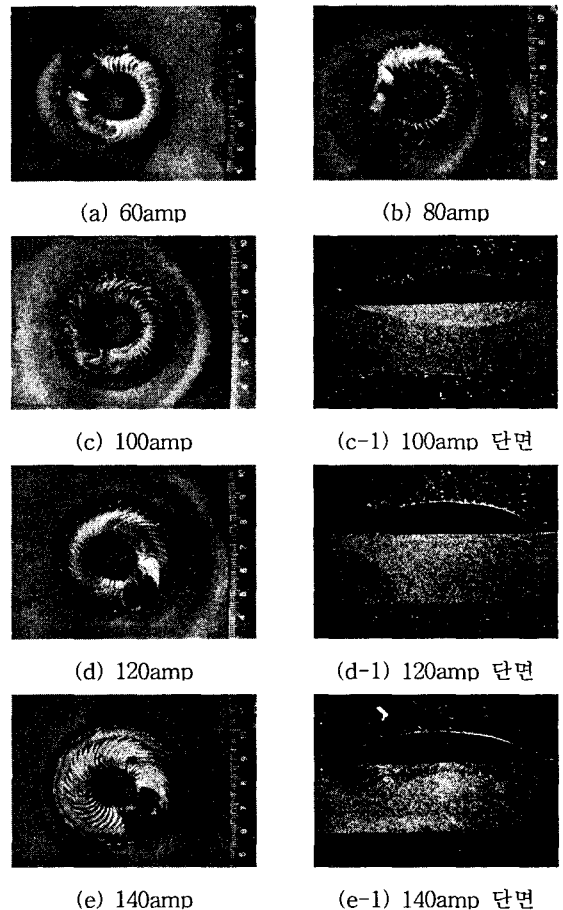


Fig. 2 Appearance of modified surface in terms of spraying current and Cross sectional view of the interface.

Fig. 2는 전류변화로 얻어진 개질부의 외관 표면 상태를 보여준다. 개질부의 외관 비드는 전류 증가에 따라 폭이 증가하였다. 전반적인 개질부 비드형상이 100amp 이전 전류에서는 불건전하였으나 100amp 이상으로 되면서 건전하게 나타났다. 한편 100amp 전류로 만들어진 비드에서 가장자리 부근이 모재와 용착이 잘 되지 않는 것으로 나타났다. 이를 확인하고 개질부의 외관을 결정해주는 비드의 높이와 폭을 측정하기 위하여 개질층의 단면을 관찰하였다. 상단에 있는 거시 조직은 용착부와 모재 계면 전부를 하단에는 용착부중 동일하게 비드의 우측부를 고배율로 관찰한 사진이다. 100amp 보다 낮은 전류로 얻어진 개질부는 표면 상태가 불량하여 여기에 나타 내지 않았다. 상단 전면의 관찰에서는 잘 나타나지 않았지만 Fig 2(c)의 고배율 관찰에서 모재와 적층된 용사층간 결합이 완전하지 않은 것이 확인된다. 반면에 Fig2(d-1), (e-1)의 경우는 모재와 용사층간 결합이 잘 이루어졌고 특히 140 amp의 경우에는 모재와 용사층간 계면이 균일하지 않은 것이 확인 되는데 이는 높은 용입열로 인하여 모재 표면이 국부적으로 용융되어 모재와 용사층간 견고한 결합이 이루어졌음을 추측할 수 있다. 이러한 계면 형상은 모재와의 강한 결합력을 보장해 주지만 과도한 용입열이 모재에 유입되어 모재 본래의 특성에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다. 외형과 계면의 단면을 관찰한 결과 용사 전류는 100amp 보다는 높아야 하고 140 amp 보다는 낮게 하는 것이 계면의 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. Fig. 3은 각 전류별 그리고 부위별에서 관찰된 미세 조직을 보여준다. 동일한 전류 조건에서 각 부위별로 보면 세부분 모두 수지상 응고조직을 보여주었다. 수지상 조직은 부위별로 단순 수지상과 주상정의 수지상을 보여주고 있으나 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 생각된다. 용사중 제주시 상온으로

유지되고 있는 모재에 적용된 개질층은 표면과 모재로 냉각이 주요 할 것이다. 즉 미세한 수지상으로부터

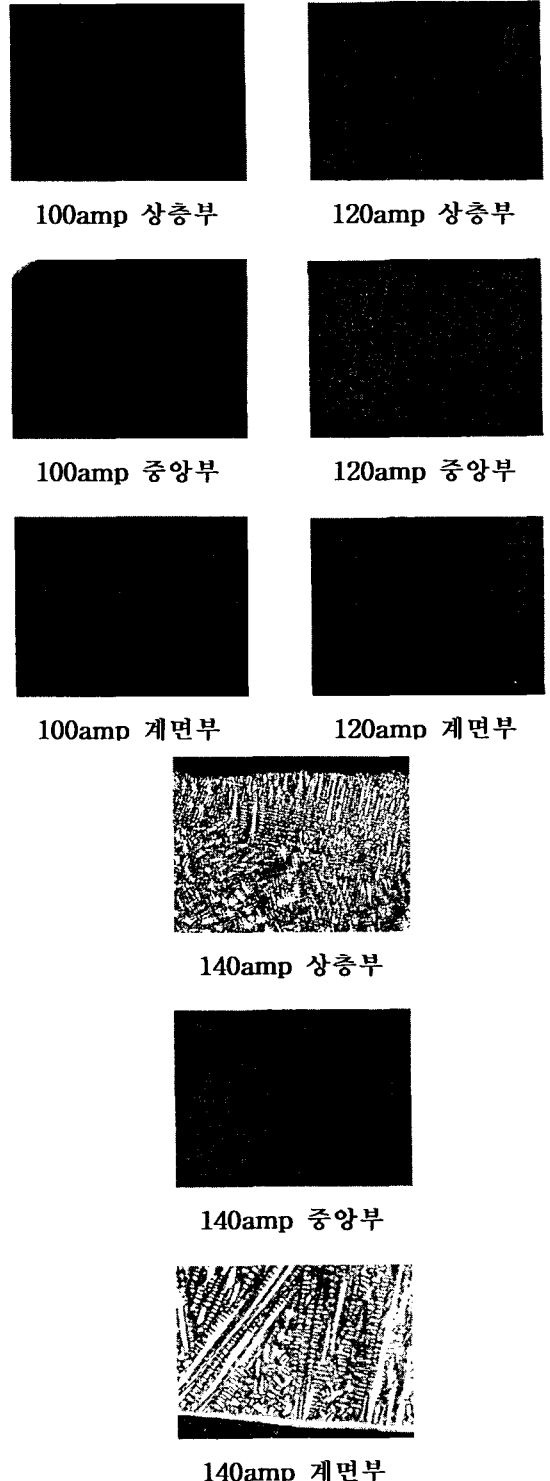


Fig 3 표면개질층의 미세조직

터 기대되는 경도 상승 효과와 개질층 전반의 균일한 경도 값을 얻기 위해서는 개질층의 표면적이 크고 모재부와의 접촉 면적이 클 경우 효과적일 것으로 사료된다. 전류를 120amp로 한 경우 표면층의 수지상은 100amp 경우보다 미세하게 관찰되었다. 반면에 중앙부에서 관찰되는 수지상은 100amp에 비하여 약간 조대하게 나타났다.

이상과 같이 개질층의 미세조직과 미세경도 측정결과를 개질층 비드 형상과 비교하여 고려하면 다음과 같은 설명이 이루어질수 있다.

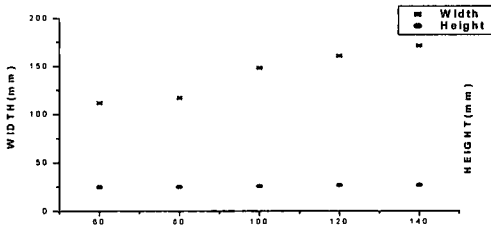


Fig 4. 비드부분의 높이와 폭

Fig 4의 비드 형상 그래프에서 나타낸 바와 같이 용사 전류의 증가는 개질층 비드의 높이에는 큰 변화를 주지 못하면서 폭이 크게 확대하게 된다. 즉 전류 증가로 인하여 만들어지는 비드의 표면적은 증가하게 되어 모재와 개질층의 표면으로 냉각속도가 더 빠르게 된다고 할 수 있다. 반면에 중앙부는 가장 느린 냉각 효과에 의하여 가장 낮은 경도값을 갖게 되므로 가능하면 비드는 모재를 과열시키지 않는 상태에서 넓게 하기 위하여 전류값을 증대시키는 것이 효과적이다.

미세조직 관찰에 이어 표면개질시 가장 중요한 특성이 되는 미세 경도 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.

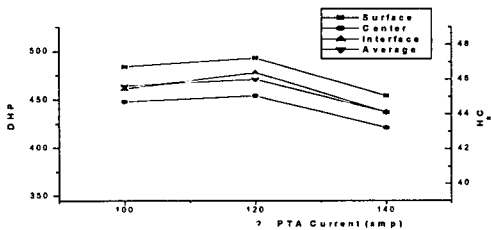


Fig 5. 미세경도

또한 동일 용사전류 조건에서 얻어진 3부분의 경도 값을 평균하여 그 평균값도 그래프에 함께 나타냈다. Fig 5는 측정된 미세경도 값들을 그래프화 한 것이다. 동일 전류에서 만들어진 개질층에서 경도는 표면층, 모재와의 계면부 그리고 중앙부 순으로 경도가 낮아지는 것으로 나타났다. 전류 변화에 따라서는 100amp에서 120amp로 증가함에 따라서 경도 값이 증가하였지만 140amp로 전류가 증가함에 따라서는 오히려 경도 값을 감소하였다. 동일전류에서 만들어진 용사층에서 부위별로 다른 경도 값을 갖는 것은 용사후 용사층의 냉각효과에 기인한다고 사료된다. 이미 미세조직 관찰에서 확인한것과 같이 개질층 표면부는 가장 빠르게, 다음으로 모재쪽으로 냉각이 진행되고, 중앙부는 가장 느리게 냉각되기 때문에 경도가 부위별로 다른 값을 갖는 것으로 사료된다. 한편 전류 변화시에 나타나는 경도 차이는 동일한 모재에 부과되는 용입열 차이에 의하여 발생하는 냉각효과 차이로 발생하는 것으로 생각된다. 전류 증가는 용입열의 증가로 이어지고 가장 높은 전류인 140amp 인 경우에는 과도한 열원이 모재에 유입되어 느린 냉각 속도에 의하여 조대한 응고조직이 얻어졌다고 생각된다. 반면 동일한 모재에 100amp에서 120amp보다 적은 입열인 경우에는 빠른 냉각효과를 예상됨에도 낮은 경도값을 보인 것은 모재와 개질층사이 계면에서의 불완전한 접합이 모재 방향으로의 냉각속도를 느리게 하여 낮은 입열에도 불구하고 냉각 효과가 적은 미세조직이 발생하지 않았나 생각된다. 각 부위별에서 얻어진 경도 값을 평균하여 보면 전류 증가순으로 458, 471 그리고 437DPH 로 나타났는데 사용된 용사 분말재료의 적용시 추정 경도 값과 비교할 때 범위안에 있었으며 가장 높은 경도값은 120amp에서 얻어졌고 각 부위별의 차이도 가장 작은 것으로 나타났다.

참고문헌

[1] Thomas F. Bernecki, "Thermal Spray Coatings: Properties Process and Applications" Conference Proceedings, 1992.  
 [2] Howard B. Cary, "Modern Welding Technology" Prentice Hall, 1998.