

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
第5卷, 第2號, 1987年6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 5, No. 2, Jun., 1987.

아크용사시 불활성가스에 의한 피막밀착강도 향상에 관한 연구

金永植* · 余旭鍾**

A Study on the Improvement of Coating Film Characteristic in Arc Spraying by Using the Inert Gas

Y. S. Kim*, U. J. Yeo**

Key Words : Coating Film(피막), Atomizing Particle(분무입자), Carrier Gas
(운반기체), Adhesion Strength(밀착강도)

Abstract

In this study, the experiments were carried out for the purpose of establishment of the arc spraying method which reducing oxides or oxide film by using the inert gas as the carrier gas of atomizing particles.

Main results obtained are as follows;

1. Oxides and oxide film which lower the adhesion strength are largely reduced by using the inert gas as the carrier gas of atomizing particles, and adhesion strength of coating film are improved.
2. The coating film characteristics appear to be no difference between the inert gas arc spraying in air environment and that in argon gas environment.
3. Inert gas arc spraying using argon as the carrir gas has higher reduction rate of composition element in coating film than compressed air spraying does.

1. 서 론

금속은 그 사용환경에 있어서 필요시간 所期의 성능을 유지하는 것이 요구된다. 그런데, 구조물에서 풍우에의 노출, 선박에 있어서 海水와의 접촉, 각종 원동기부에 대한 여러가지 유체나 연소개스에 의한 에로우전(erosion), 기계부품에 있어서 상대운동부의 마모, 성형기계 등의 고온·고압하의 금속접촉에 의한 손상 등 諸機械, 器具의 수명을 지배하는 因子는 무수히 많다. 또한 최근의 기술혁신에 따라 이들 諸

機械裝置類의 대형화, 고속화, 고능률화가 진행되어 부품, 부재들은 더욱 가혹한 조건하에서 사용되게 되었다. 이에 대처하기 위해 부품, 부재에 내마모성, 내열성, 단열성 및 내식성을 부여하는 표면처리기술의 하나로서 용사법의 실용이 광범위하게 확대되었다.

용사법에는 열원에 따라 여러가지로 분류되나 그 중에서 아크용사는 전기아크를 열원으로 해서 금속재료를 용융하고, 그 용융금속을 압축공기에 의해 소재 표면에 분사하여 표면에 소기의 금속피막을 형성시키는 것이다.

* 한국해양대학 대학

** 한국해양대학 대학원(현재 삼성중공업)

이 방법은 가스용사나 플라즈마용사 등의 他 표면 처리법에 비해 작업성이 양호하고, 비교적 고품질의 피질성능을 저렴한 비용으로 얻을 수 있는 특징이 있으므로 부식방지, 마모방지, 재생수리, 電磁防碍/라디오周波防碍防止, 내열막형성 및 금형제작 등 활용분야도 다양해 최근 그 용도가 점차 확대되고 있다. 1~9)

그러나, 이러한 아크용사의 경우, 고온의 용융입자가 공기중을 비행함으로써 불가피하게 형성되는 산화물 또는 산화막으로 인해 모재와 피막사이의 밀착특성이 저하하여 큰 문제점으로 지적되고 있다.

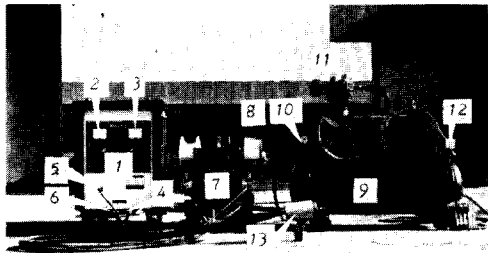
따라서, 본 연구에서는 양·음극와이어의 송급속도를 단독으로 제어할 수 있는 직류식 아크용사기를 이용하여, 연강관위에 스테인레스강 피막을 형성시킬 경우, 용융입자를 분사하는 carrier 가스로서 불활성 가스인 아르곤가스를 이용하고, 또한 용사분위기를 아르곤가스 분위기로 하므로써, 산화막 또는 산화물의 생성을 방지하여 피막특성을 향상시키는 방법을 연구하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 용사장치

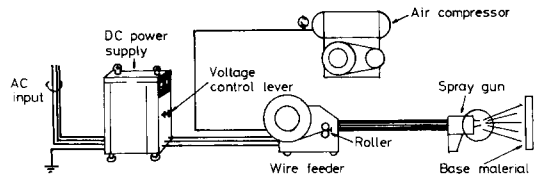
본 실험에 이용한 정전압 특성의 직류식 아크용사 장치의 외관은 photo. 1과 같고 그 원리는 Fig. 1에 표시하였다.

전기적으로 독립된 2개의 금속와이어를 송급장치의 로울러(Roller)에 의해 용사건(gun)안으로 통과시켜 2개 와이어의 끝이 용사건 선단부에서 일정한 각도로 마주칠 때, 아크가 발생된다. 이때 와이어가 용융하



- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1. DC power supply | 8. Roll wire |
| 2. Voltmeter | 9. Air compressor |
| 3. Ammeter | 10. Pressure gauge |
| 4. Negative cable | 11. Air filter |
| 5. Control cable | 12. Pressure controller |
| 6. Positive cable | 13. Arc spray gun |
| 7. Wire feeder | |

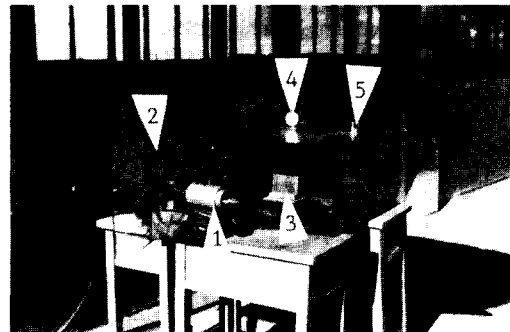
Photo. 1. Arc spraying system



- 1) Input (AC200V)
- 2) Earth
- 3) DC Electric source
- 4) Negative cable
- 5) Control cable
- 6) Positive cable
- 7) Wire feeder
- 8) Air compressor
- 9) Compressor air controller
- 10) Arc spray gun
- 11) Base metal
- 12) Chamber
- 13) Argon vessel

Fig. 1. Schematic diagram of the arc spraying

게 되며, 이 순간에 압축된 공기나, 고압의 가스에 의해 모재표면에 용융금속을 미립자로 분사시키면, 소기의 피막이 얻어진다. 본 실험에서는 분사압력, 용사거리, 용사전압 및 전류는 각각 $5kg/cm^2$, $150mm$, $35V$, $230 Amp$ 로 일정하게 하였다. 또한 본 실험에서는 용사분위기를 변화시키기 위해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 ⑧번의 공기압축기와 ⑬번의 아르곤용기와 상호변환이 가능하도록 하였다. 이 방법으로 각각의 용사조건을 (1) 압축공기를 carrier가스로 하여 용사를 행하였을 경우, (2) carrier가스를 아르곤으로 하여 용사를 행하였을 경우, (3) 아르곤으로 충전된 밀폐식 챔버(chamber) 내에서 용사를 행하였을때의 3가지 경우에서 그 피막특성 및 산화물 분포상태를



1. Arc spray gun
2. Front panel
3. Specimen
4. Pressure gauge
5. Vent cock

Photo. 2. Argon chamber

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of coating wire and substrate.

Materials	Chemical composition(Wt%)								Mechanical properties	
	Mn	Cr	Si	Ni	C	P	S	Fe	TS (kg/mm ²)	EI(%)
ER 308 L	1.90	20.6	0.23	10.2	0.02	—	—	Res	61	45
SS 41	0.54	—	0.22	—	0.19	0.02	0.015	Res	43	28

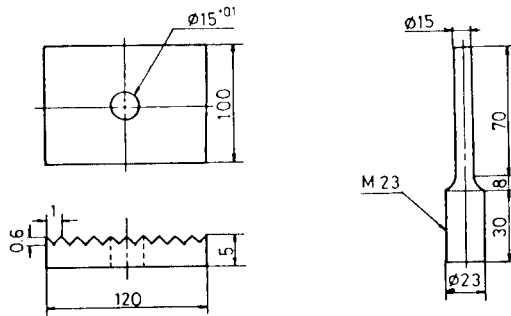
조사하였다. 특히, 세번째 조건을 위해서는 Fig. 1의 ㉔와 같은 챔버를 제작하였고, 그 외관은 Photo. 2와 같다.

2.2 시험편 및 용사재

본 실험에서는 용사재로서 내식성과 내마모성이 우수한 직경 1.2mm의 ER308L 오스테나이트계 스테인레스 와이어를 사용하였고, 모재와 시험편은 일반 연강재인 SS41 강재를 사용하였다.

그 각각의 화학적 성분과 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다.

또한, 모재와 시험편의 형상 및 치수는 Fig. 2에서 보이고 있다. Fig. 2(a)는 모재로서 5×100×120mm 가 되게 기계가공하여 그 중심에 직경 15mm의 구멍을 뚫고, 그곳에 (b)와 같은 형상으로 가공된 인장 시험편을 삽입하여 모재 상면과 일치시킨 후, 그 표면을 (a)의 하측과 같은 형상으로 세이퍼가공하여 조면화하였다. 그러한 연후에 이 표면상부에 피막두께가 약 2mm가 되게끔 용사를 행하였다.

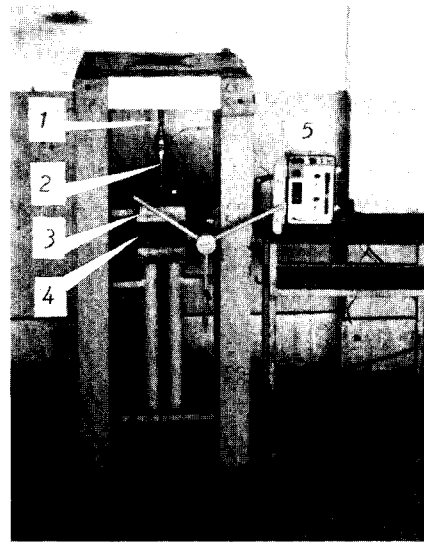


(a) Backing plate (b) Tensile specimen
Fig. 2. Shape of backing plate and specimen

2.3 피막밀착강도의 시험방법

실험에 사용된 피막밀착강도 시험장치는 본 연구실에서 제작한 것으로서 외관 및 개략도는 각각 Photo. 3에서 표시한 바와 같고 워엄 및 워엄기어를 이용한 기계식 원리로 작동되도록 하였다. Fig. 2에서 보인 모재와 시험편의 조합체를 Fig. 3의 피막밀착

강도 시험기의 상부에 장착한 후, 용사피막과 시험편이 파단될 때까지 인장하고 그때의 파단응력을 피막밀착강도로 하였다.



1. Load cell 4. Worm & worm gear
2. Lead screw 5. Strain meter
3. Worm case

Photo. 3. Adhesion strength test apparatus.

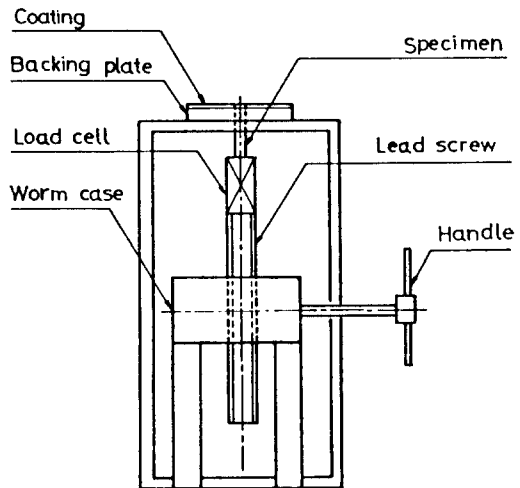


Fig. 3. Schematic diagram of adhesion strength test

3. 실험결과 및 고찰

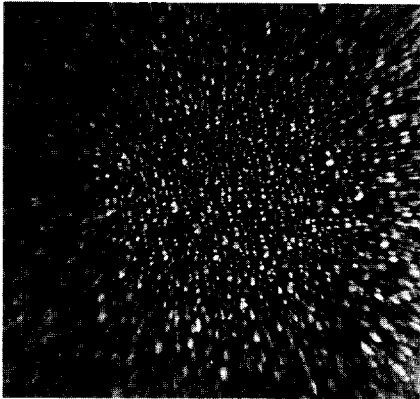
3.1 용사분위기에 따른 입자 및 경계면의 변화

photo. 4는 입자크기를 비교하기 위해 압축공기로 분사시켜 용사한 경우와 carrier 가스를 아르곤으로 한 두 가지 경우에 있어서 적정 용사거리인 150mm의 간격으로 水中에 용사한 후, 입자들을 건조시켜, 약 6배의 접사렌즈 카메라로 촬영한 사진이다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 압축공기로 용사한 좌측의 입자들은 직경이 약 0.2~0.3mm의 크기를 나타내고 있으나, 우측의 아르곤가스를 carrier 개스로 용사한 경우에는 입자크기가 약 0.4~0.5mm에 까지 이르고 있음을 볼 수 있다. 이러한 이유로는 아르곤으로 용사를 행한 경우가 아르곤단에서 입자형성시 보다 고온의 분위기로써 표면장력의 증가로 인한 영

향으로 사료된다.

Photo. 5는 각각의 용사조건에 있어서 용사입자들의 퍼짐성, 밀착성 등을 조사하기 위해 3mm 두께의 유리위에 2pass로 용사한 후, 그 표면을 광학현미경으로 확대 촬영한 사진이다.

사진에서 알 수 있는 바와 같이, 압축공기로 용사를 행한 (a)의 경우는 입자의 크기도 작고 퍼짐성도 불량한 반면 아르곤으로 용사를 행한 (b)의 경우는, 입자의 크기도 현격히 커지고 상대적으로 밀착성, 퍼짐성 등도 양호함을 보여주고 있다. 그러나, 챔버내 아르곤용사인 (c)의 경우는 다시 입자의 크기가 작아지고 球形의 입자들이 원래 모습 그대로 존재하고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 아르곤가스가 약 5kg/cm²의 압력으로 분사되는 까닭에 소형의 챔버내에 어느 정도의 내압이 걸리게 되고, 이로 인해 비행 용융입자의 저항성이 증가하여 충돌시 입자의 속도저하에 기인한 것이라 사료된다.



(a) Air



(b) Argon

Photo. 4. Grain size of compressed air spray and argon



(a) Air



(b) Ar(In air)



(c) Ar(In argon chamber)

Photo. 5. Configuration of impact-grains in spray condition (on glasses×37,5)

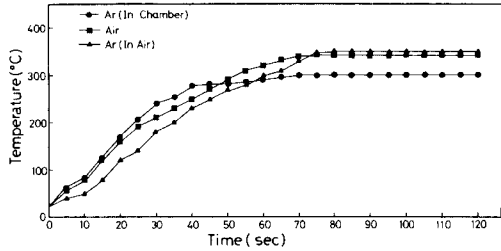


Fig. 4. Variations of base metal temperature in 3 spray conditions.

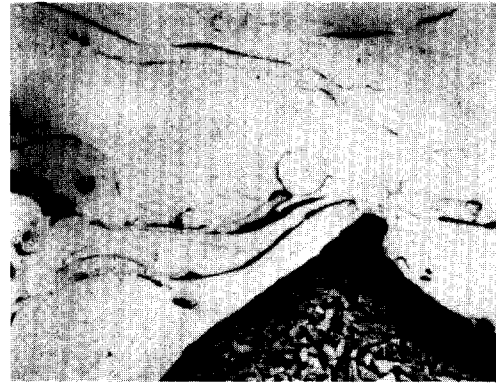
Fig. 4는 세가지 용사를 개시하고부터 2분간, 모재 뒷면온도를 측정하기 위해, 뒷면 중앙에 백금-로듐 열전대를 부착하여 측정한 결과이다. 용사개시로부터 약 50초까지 온도는 아르곤챔버내에서의 아르곤용사가 가장 높고, 압축공기용사가 2번째, 그리고 아르곤용사의 순으로 나타났다. 이는 입자크기의 순서와 일치한다는 사실로 설명된다. 즉, 입자의 크기가 제일 적은 챔버내 용사의 경우에 있어서는 입자의 크기가 적은 반면, 상대적으로 단위시간당, 단위면적당 분사되는 입자의 수는 많아지게 되므로 용사개시 후 단위시간내에는 제일 빠른 온도상승을 나타내게 된다. 그러나, 시간이 70초를 지나면서 모재면의 피막이 어느 정도의 두께를 갖기 시작하면서부터는 새롭게 부딪히는 고온의 용융입자의 열전달이 입자가 많고 경계면이 많을수록 어렵게 되어 초기와는 정반대의 현상이 나타나는 것이라 사료된다.

Photo. 6은 모재와 피막사이의 산화물, 산화막 등의 분포상태를 알아보기 위해 그 단면을 금속현미경으로 확대 촬영한 사진이다. 사진에서 잘 나타난 바와 같이 압축공기로 용사를 행한 (a)의 경우에는 모재와 피막, 피막내 입자와 입자들 사이에 다량의 산화물 등이 분포하고 있음을 잘 알 수 있다. 그러나, 아르곤으로 용사를 행한 (c)의 경우에는 피막내의 산화물 등이 현저히 줄어들었음을 알 수 있다. 그리고, 한가지 특이할 만한 사실은 (c)의 경우에는 챔버내부의 압력으로 인해 球形의 입자들이 그대로 존재하고 있다는 것이다.

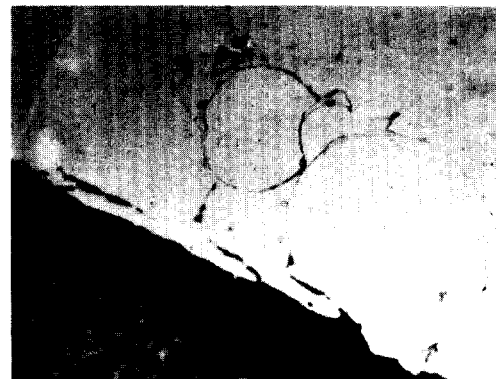
또한, photo. 7은 모재와 피막의 경계부에서 약 1 mm 떨어진 피막내부의 확대 사진이다. photo. 6의 경우와 마찬가지로 압축공기로 용사한 (a)에 있어서는 다량의 산화물이 분포되어 있고, 아르곤용사인 (b)와 챔버내 아르곤용사인 (c)의 경우는 모두 산화물량이 상당히 줄어들었으나, (b)의 경우에는 퍼짐성, 밀착성이 양호함을 보이고 있으며, (c)의 경우에는 球形의 입자들이 그대로 내재하여 퍼짐성, 밀



(a) Air



(b) Ar(In air)

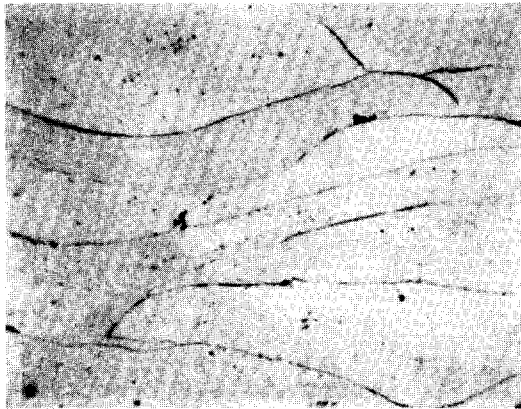


(c) Ar (In argon chamber)

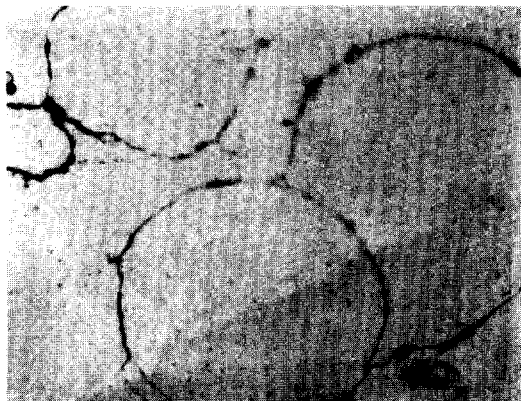
Photo. 6. Appearance of interface between coating and base metal in 3 spray conditions (× 150)



(a) Air



(b) Ar(In Air)



(c) Ar(In argon chamber)

Photo. 7. Distribution of oxides in coating film in 3 spray conditions($\times 300$)

착성 등을 저해하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 모재와 피막경계부 부근의 경도특성을 알아보기 위해 경계부를 중심으로 좌우로 1.6mm씩 비커스경도값을 나타낸 도표이다. 원 재료인 ER308L 와이어는 비커스경도 200정도, 모재인 SS41은 170~180 정도의 값을 나타내고 있는 반면, 경계부에 가까운 모재부분은 열영향으로 약간의 경도상승을 나타내고 있다. 그러나, 피막부분에 있어서는 아르곤용사와 챔버내 아르곤용사의 두 경우 모두 260~280의 고른 분포를 보여주고 있으나, 다량의 산화물을 내재하고 있는 압축공기용사의 경우는 300정도의 높은 값을 보이고 있다.

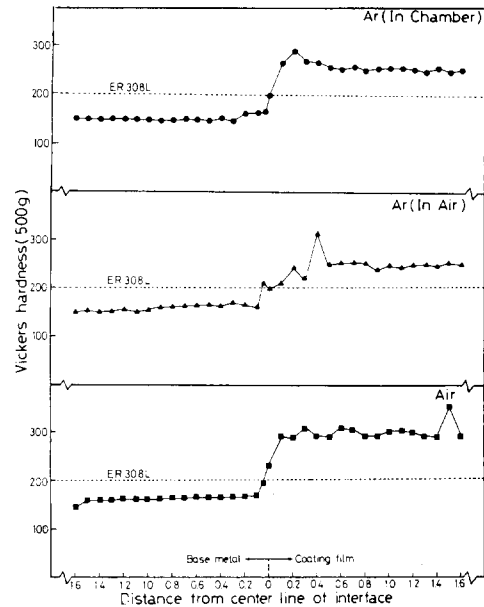


Fig. 5. Distribution of micro-Vickers hardness on arc spray conditions

이러한 사실들은 photo. 8과 같이 피막표면을 육안으로 관찰함으로써 쉽게 구별할 수 있다. 압축공기용사인 (a)의 경우에는 표면에 다량의 산화물 분포로 인해 표면전체가 거무스레한 반면, 아르곤용사인 (b)의 경우와 챔버내 아르곤용사인 (c)의 경우에는 산화물등의 격감으로 점차 광택을 띤 표면이 늘어나고 있다.

3.2 용사분위기에 따른 산화물 분포상태 변화

Fig. 6은 EDX(Energy Dispersive X-ray microanalyzer) 장치에 의해 세가지 용사의 경우에 있어서, 그 각각의 피막성분을 용사재료인 ER308L 와이어 성분과 비교·검토한 것이다. 공기중에서 압축공기용사

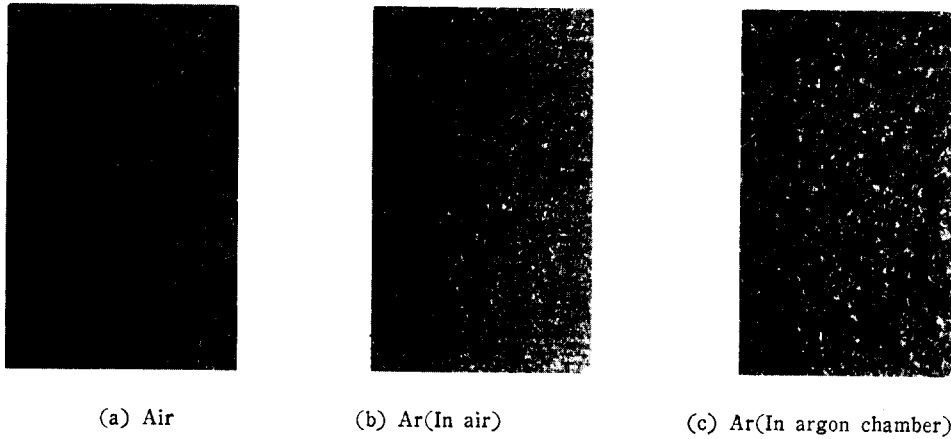
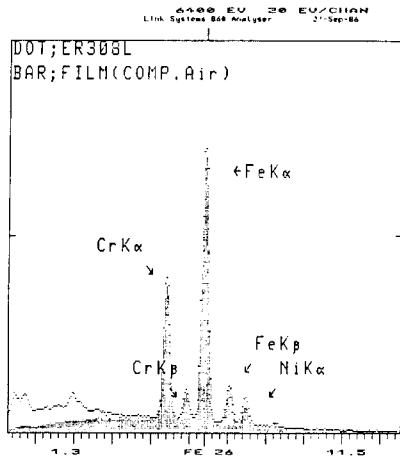
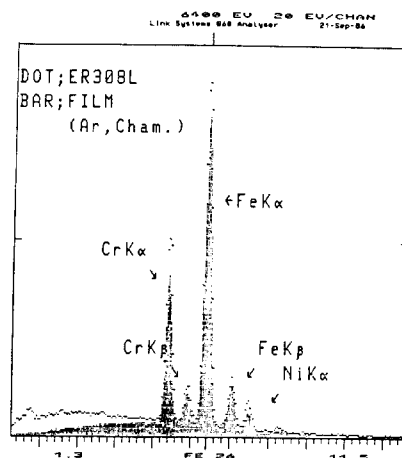


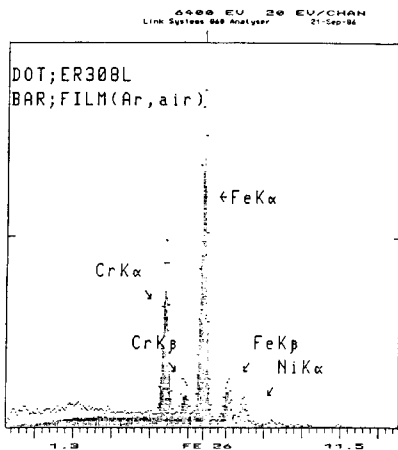
Photo. 8. Appearance of coating surface in 3 arc spray conditions



(a)



(c)



(b)

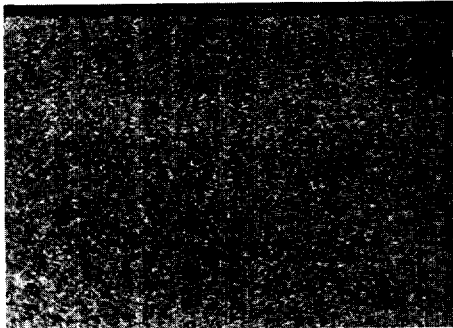
Fig. 6. Comparison of chemical composition for ER308L and spray coating film by EDX

인 (a)의 경우에는 용사재료와 비교해서 피막의 각 성분엔 손실이 거의 나타나지 않고 있다. 그러나, 아르곤으로 용사를 행한 (b)와 챔버내 아르곤용사를 행한 (c)의 경우에는 Fe, Cr, Ni 등의 주요원소들이 상당히 감소했음을 알 수 있다. 이는 용용시에는 아르곤단에서, 그리고 비행시에는 입자의 표면에서 증발이 일어나 재료의 손실을 가져온다는 사실로부터 설명할 수 있다.¹⁵⁾ (a)의 경우에는 비행하는 용융입자의 주위에 급속한 산화막의 형성으로 증발이 억제되어 원래 재료인 ER308L의 성분과 차이가 거의 없으나 (b), (c)의 경우에는 불활성가스 분위기로 인해 산화막 형성이 불충분하게 되어, 증발로 인한 재료의 손실이 늘어난 것으로 사료된다. 또한 (c)의 경

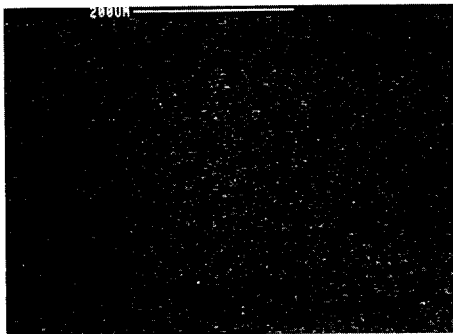
우가 (b)의 경우보다 재료의 손실이 조금 적은 것은 챔버내의 압력에 의한 영향으로 사료된다.

photo. 9은 용사재료인 ER 308 L 와이어의 주성분 Fe, Cr, Ni을 EDX 장치에 의해 X선맵핑(mapping)한 사진이고 photo. 10, 11, 12는 3가지 용사피막의 맵핑사진이다. photo. 9에서 보는 바와 같이 20.6%의 Cr, 10.2%의 Ni, 67%의 Fe 등이 백색점으로 균일하게 분포하고 있다. 그러나 압축공기용사인 photo.

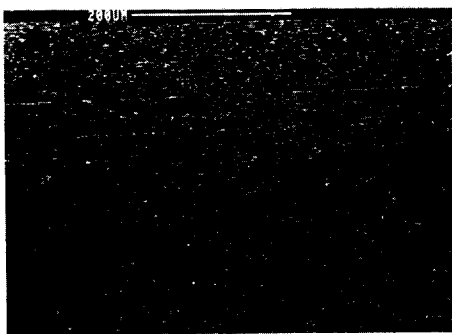
10의 경우에는 Fe, Ni의 맵핑시에는 희게 나타난 부분들이 Cr의 맵핑시에는 전혀 구별이 되지 않고 있다. 이러한 이유는 백색의 부분들이 Cr산화물로서 Fe, Ni의 맵핑시에는 검출되지 않았지만 Cr으로 맵핑시에는 균일하게 나타나 구별이 어려운 것으로 사료된다. 그러나 산화막 또는 산화물 등이 별로 없는 photo. 11, 12의 경우에는 photo. 9과 비교해서 별 차이를 나타내고 있지 않다.



(a) Cr

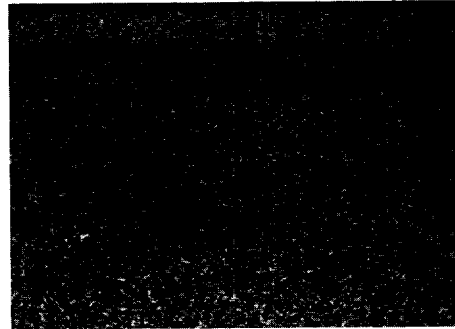


(b) Fe



(c) Ni

Photo. 9. X-ray distribution maps of elements in ER 308L



(a) Cr

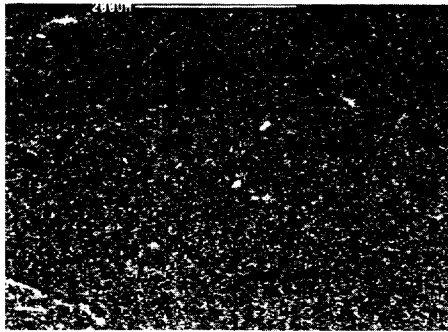


(b) Fe

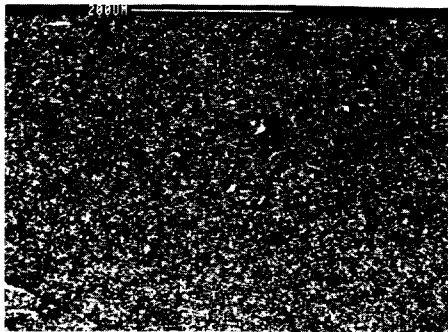


(c) Ni

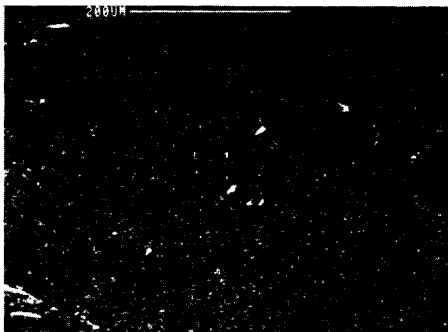
Photo. 10. X-ray distribution maps of elements in coating film of compressed air spray



(a) Cr

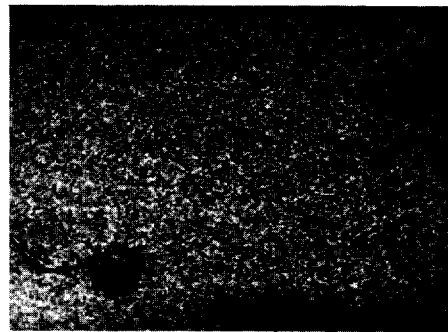


(b) Fe

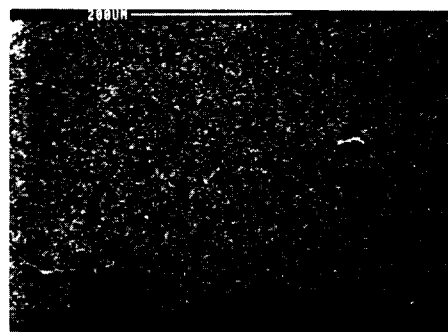


(c) Ni

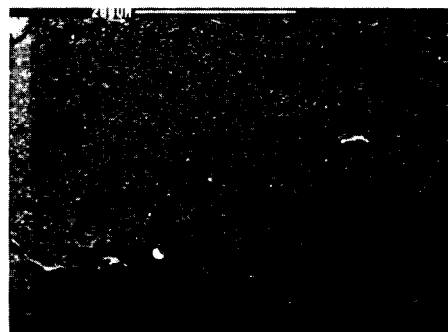
Photo. 11. X-ray distribution maps of elements in coating film of argon spray(In air)



(a) Cr



(b) Fe



(c) Ni

Photo. 12. X-ray distribution maps of elements in coating film of argon spray(In argon chamber)

3.3 용사분위기에 따른 밀착강도의 변화

Fig. 7은 세가지 용사분위기에 있어서 그 각각의 밀착강도를 측정된 결과이다.

이에 의하면 압축공기용사는 밀착강도가 약 $1.3 \sim 1.9 \text{ kg/mm}^2$ 의 값을 나타내고 있으나, 아르곤가스 용사는 그 값이 약 $2.9 \sim 3.7 \text{ kg/mm}^2$ 정도까지 이르고

있다. 이러한 이유는 지금까지 고찰해 온 바와 같이 산화물, 산화막 등의 분포상태, 입자의 크기에 의한 퍼짐성, 밀착성 등의 차이에 의한 것이라 사료되고, 챔버내 아르곤용사의 경우에 있어서 밀착강도가 저하하는 것도 앞서 살펴 본 바와 마찬가지로 퍼짐성, 밀착성 저하가 주원인으로 사료된다.

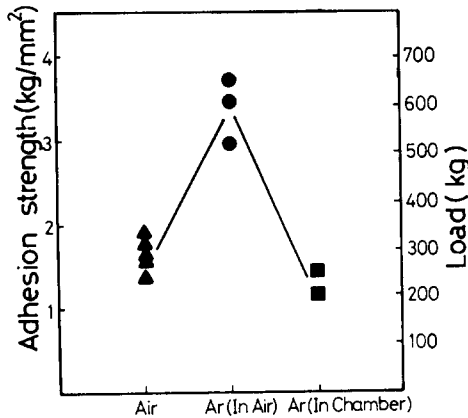


Fig. 7. Relationships between spray condition and adhesion strength

4. 결 론

ER 308L 오스테나이트계 스테인레스 와이어를 용사재로서, 용사분위기를 공기중, 캐리어 가스(carrier gas)만을 아르곤으로 한 경우 및 아르곤 챔버(argon chamber)내에서 캐리어 가스를 아르곤으로 하여 용사를 행한 경우에 대하여 각각의 피막특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 압축공기를 이용한 용사시, 피막밀착강도의 저해요인으로 지적되고 있는 산화막 및 산화물 등은 아르곤가스를 캐리어 가스로 하여 용사를 행함으로써 현저히 줄일 수 있고, 밀착강도도 향상시킬 수 있다.

2) 아르곤가스를 캐리어 가스로 하여 공기중에서 용사를 행한 경우와 아르곤가스로 충전시킨 밀폐식 챔버내에서 용사를 행한 경우에 있어서 발생 산화물량은 거의 차이가 없다.

3) 압축공기를 캐리어 가스로 하여 공기중에서 용사를 행한 경우보다 아르곤가스 분위기에서 용사를 행한 경우는 재료내 성분원소들의 감소율이 크다.

참 고 문 헌

- 1) 蓮井 淳, 溶射工學養賢堂(1976), pp. 1~2.
- 2) 蓮井 淳, 最近の溶射技術溶接技術, 11月號(1984), pp. 19~24.
- 3) 關, 石川, 溶射技術の適用と問題點日本機械學會誌, Vol. 82, No. 724(1979), pp. 270~275.
- 4) 内田, 材料に對する溶射, 材料科學, Vol. 15, No. 1, (1978), pp. 29~35.
- 5) 石川, 關, 溶射による耐熱被覆の現狀防食技術, Vol. 26, No. 6. (1977), pp. 313~326.
- 6) 秋本, アーク溶射皮膜の考察, 溶射協會誌, Vol. 16, No. 1, (1979), pp. 17~24.
- 7) 前掲書(2), pp. 29~33.
- 8) 前掲書(1), pp. 187~194.
- 6) TATA, TATA, *Arc spray technical data*, (1983).
- 10) 川瀬, 暮石, 前原, アークにおけるアーク現象とワイヤ溶融アーク溶射法に關する研究(時2報), 溶接學會論文集, Vol. 2, No. 2, (1984), pp. 280~285.
- 11) AWS, *Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes, Welding Hand Book*, Vol. 3, (1980), pp. 375~376.
- 12) AWS, *Guide for thermal spray operator and Equipment Qualification*, (1978), PP. 78.
- 13) 蓮井 淳, 森 垣脩, 肉盛溶接·溶射, 現代溶接技術大系, Vol. 15, (1978), pp. 161~172.
- 14) IIW, *The Physics of Welding*, (1984), pp. 9~36.
- 15) 前掲書(1), pp. 130~150.