

## Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>세라믹 용사피막의 특성개선에 관한 연구

김정일\* · 이주원\*\* · 최영국\*\*\* · 김영식\*\*\*\*

### A Study on the Improvement of Properties of Sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramic Coating Layer.

J. I. Kim · J. W. Lee · Y. K. Choi · Y. S. Kim

**Key words** : Frame spraying(플레임용사), Composite coating(복합용사), Adhesive strength(밀착강도), Erosion properties(에로전특성), Corrosion resistance(내식성)

#### Abstract

Thermal spraying is one of the most common surface coating techniques to be used for many applications and flame spraying covers a wide range of different materials which can be coated onto various substrates.

The purpose of this study is to investigate the effects of mixed ratio in composite coatings on the mechanical and anti-corrosion properties. The five different types of composite coatings were made with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic and Ni-alloy powder on the mild steel substrate by flame spraying method. The mechanical properties such as microhardness, adhesive strength and erosion resistance and corrosion resistance were tested for the sprayed coating specimens.

The results obtained are summarized as follows ;

1. The composite coating layers greatly improve the microstructure , erosion resistance and adhesive strength by increasing the content of Ni-Al alloy.
2. Microhardness of the compsite coating layer is decreased by increasing the content of Ni-Al alloy.
3. The anti-corrosion properties is considerably improved by increasing the compsite rate of Ni-Al alloy.

\* 목포해양대학교(원고접수일 : 99년 8월)

\*\* 태진(주)

\*\*\* 종합폴스타(주)

\*\*\*\* 한국해양대학교

## 1. 서 론

용사법은 도금법, 물리증착법(PVD), 화학증착법(CVD), 등과 더불어 표면개선기술의 하나로서, 최근들어 광범위한 분야에 걸쳐 응용되고 있다. 이 방법은 선상, 봉상 또는 분말상의 재료를 열원에 의해 가열, 용융시켜 액체 또는 반응용 상태의 미립자로 하여 소지금속의 표면에 고속으로 충돌시켜 피막층을 형성하는 기술로서, 다른방법에 비해 공정이 비교적 간단하고 시공재의 형상이나 크기에 거의 제한을 받지않는 장점을 갖고있다. 현재까지 실용화되고 있는 대표적인 용사법은 열원의 종류에 따라 전기식과 가스식으로 분류되며, 가스식은 플레임 용사(flame spraying), 폭발용사(detonation-gun spraying)등이 있고, 전기식은 아크용사(arc spraying), 플라즈마 용사(plasma spraying) 등이 있다. 또한 최근에는 고에너지의 레이저를 열원으로 이용하는 레이저 빔 용사(laser beam spraying)<sup>1)</sup>도 개발되어 실용화되고 있다. 그리고 여러가지 용사법의 장점을 살려 2종류의 용사법을 복합화한 하이브리드 용사법(hybrid thermal spraying)의 적용도 곧 이루어질 전망이다<sup>2)</sup>.

용사에 사용되는 재료는 각종의 합금은 물론 세라믹스, 플라스틱에 이르기까지 용융 가능한 재료들이 여러 형태로 응용되고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 용사피막은 열 및 전기에 대한 절연성과 내마모성이 높아 많은 분야에서 그 적용이 이루어지고 있다. 그러나 일반적으로 용사피막과 소지금속사이의 밀착기구는 단지 소지금속표면의 조면화에 의한 기계적인 결합으로 그 결합력이 낮고, 더구나 세라믹용사의 경우에는 피막재료와 소지금속사이의 물성의 차이로 인해 열응력이 발생하여 피막의 내구성을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 또한 세라믹 용사피막층의 내부에는 용사피막층의 형성과정에서 발생한 입자내의 미세균열(micro crack), 국부적인 미접합부 및 미세기공들이 존재하게 되어 내부식성을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다<sup>3-4)</sup>. 따라서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>용사피막의 내구성을 향상시키기 위해서는 밀착력을 향상시키고, 열응력을 최소화하며 미세균열등 내부결합을 최소화

하는 노력이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 플레임 용사법에 의해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹피막을 형성할 경우에 피막강도와 내식성을 향상시키는 방법의 일환으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>세라믹분말과 Ni-Al합금을 혼합하여 그 복합비의 변화에 따른 용사피막의 기계적특성, 박리성, 부식성등 여러 가지특성을 조사하여 복합비의 영향을 정량적으로 검토하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용사장치 및 용사재료

본 실험의 용사장치는 산소-아세틸렌 가스를 이용하는 분말식 플레임 용사장치(Eutectic사제의 Terodyn system 2000)를 사용하였다. 본 실험에 사용한 용사재료는 시판되는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Ni-Al합금

Table 1. Chemical composition of powder materials used.(wt. %)

Ni-4.5wt.% Al alloy (size : 45~90 $\mu$ m)		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (size : 15~53 $\mu$ m)	
Ni	95.5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	94.0
		TiO <sub>2</sub>	2.5
		SiO <sub>2</sub>	2.0
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0
Al	4.5	Other oxides	Balance

Table 2. Chemical composition of substrate.(wt. %)

Fe	Mn	Si	C	P	S
Bal.	1.01	0.23	0.14	0.019	0.004

Table 3. Configuration of coating deposition.

Specimen No.	Composition of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(Ni-4.5wt.%Al)		Thickness of coated layer
	wt.% of (Ni-4.5wt.%Al)	vol.% of (Ni-4.5wt.%Al)	
A	0	0	290 $\pm$ 10 $\mu$ m
B	10	3.9	
C	30	16.7	
D	50	31.9	
E	80	65.2	
F	Ni-4.5wt.%Al alloy (bond coating)		70 $\pm$ 10 $\mu$ m

을 사용하였다. 이들 두 분말의 입경 및 화학적조성을 Table 1에 나타낸다. 모재는 일반구조용 강판(SS41, 30×40×60mm<sup>2</sup>)을 사용하였고, 모재의 화학적조성을 Table 2에 나타낸다. 본 연구에서 사용한 복합분말은 Ni-4.5wt.%Al합금 분말재료와 미세한 입경을 가진 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 분말을 혼합시켜 그 조성을 변화시킨 복합분말을 사용하였다. 복합분말의 혼합은 회전식 볼밀을 사용하여 실시하였다. Table 3은 본 연구에 사용한 용사재료의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Ni-4.5wt.%Al합금의 혼합비를 나타낸다.

## 2.2 전처리 및 시험편의 제작

용사피막을 제작하기 앞서 전처리 과정으로 모재 표면에 #30 알루미늄나 블라스트(alumina blast)에 의해 조면화한 후 아세톤(acetone)으로 초음파 세척을 하였다. 이와 같이 전처리한 모재를 150±5°C로 예열하고, 용사분말은 수분이 함유하지 않도록 100±5°C에서 충분히 건조시켰다. 용사피막의 제작은 먼저 모재면 위에 Ni-4.5wt.%Al합금을 70±10μm정도의 두께로 중간층(bond coating layer)을 형성시킨 후, 그 위에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Ni-4.5wt.%Al의 복합피막층을 4종류로 작성하여, 총 5종류의 시험편을 제작하였다. 용사피막층 제작시 용사거리와 가속압력을 달리하여 시험편을 제작하였다. Table 4는 용사피막층 제작시 용사조건을 종합하여 나타낸 것이다.

Table 4. Spraying conditions.

Oxy. gas pressure(kPa)	343
Ace. gas pressure (kPa)	98
Pinch atomizing oxy. gas pressure (kPa)	196
Spraying distance(mm)	200 (bond coating) 80 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> coating) 150 (composite coating)
Spraying rate (kg/hr)	3.6 (bond coating) 0.8 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /composite coating)

## 2.3 용사피막의 특성평가시험

### 1) 미세조직 관찰 및 분석

주사식 전자현미경과 광학현미경을 사용하여 용사피막의 표면과 단면부의 미세조직과 적층구

조(lamella상) 및 Al, Ni, Fe 성분의 분포를 관찰하였다.

### 2) 미소경도시험

경도시험은 마이크로 비커스 경도시험기(SHIMADZU HVM 2000)를 사용하여 압자하중 300gf로하여 용사피막 단면부에서 미소경도를 측정하였다. 측정은 용사시험편을 절단하여 절단면상의 피막부분에서 한 시험편당 7점을 측정하여 최상위 값과 최하위 값을 제외하고 나머지 5점의 범위를 실험결과로 정리 하였다.

### 3) 밀착강도시험

Fig.1은 밀착강도시험의 개략도를 나타내며, 밀착강도시험은 Instron 형만능재료시험기에 의해 3점굽힘시험용 지그를 제작, 부착하여 시험편에 하중을 가하는 굽힘시험을 실시하였다. 이때 가한 하중의 속도는 0.5mm/min의 변위 제어속도로 하였으며, 시험편의 측면에 부착한 20배 배율의 확대경을 통해서 모재측의 본드코팅층과 복합피막 사이에서 초기에 피막층의 박리가 일어나는 시점에서 변위를 측정하여 밀착강도를 평가하였다<sup>9)</sup>. 또한 용사피막층에 일어난 균열은 주사식 전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 3점굽힘시험에 사용

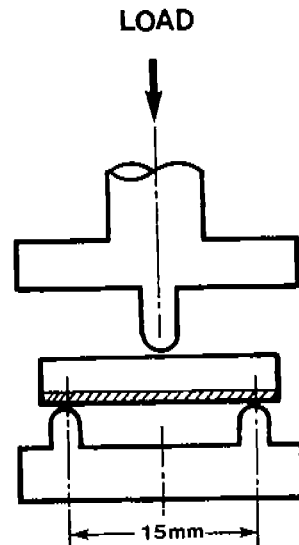


Fig. 1 Schematic illustration of adhesive strength test.

한 시험편은 5×25×6mm<sup>3</sup> 으로 가공하여 사용하였다.

4) 블라스트 내에로전(blast erosion resistance)시험<sup>10)</sup>

내에로전 시험은 블라스트 장치를 이용하여 10mm의 노즐을 통해 490kPa 압력으로 블라스트 재를 용사피막 표면부에 분사하여, 시험전후의 무게 변화량을 화학천칭으로 1/10000g 단위까지 측정하였다. 용사피막층 표면과 노즐 선단 간의 거리를 80mm, 블라스트 각도는 90° 으로 하였다.

블라스트 재료는 #90 금강석 그리트( grit)를 사용하였고, 분사시간은 일정하게 60초(sec)로 하였다.

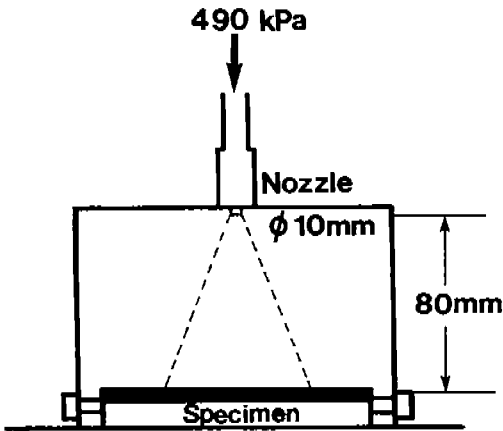


Fig. 2 Schematic illustration of blast erosion test.

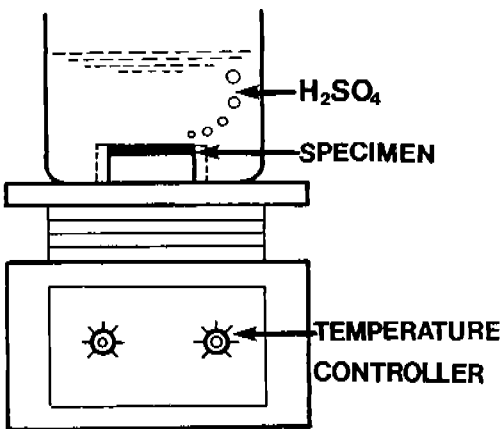


Fig. 3 Schematic illustration of corrosion test.

Fig. 2는 블라스트 내에로전시험 개략도를 나타낸다.

5) 부식시험

부식시험은 20%황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 수용액을 부식액으로 사용하였다. 시험편은 부식액 중에 용사피막 표면부분만을 노출시키도록 호마이카 수지로 밀봉하여 사용하였다. 부식액의 온도는 60~70℃ 온도로 일정하게 유지하였으며, 부식시간은 20시간으로하여 시험편을 부식액 중에 침지하였다. 또한 부식과정을 광학현미경과 주사식 전자현미경을 통하여 단면의 형상을 관찰하여 부식형태를 평가하였다. Fig.3은 본 실험에 사용한 부식시험장치의 개략도를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 용사피막층의 미세조직 관찰

Photo. 1은 주사식 전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰한 용사피막층 표면부의 미세조직을 나타내고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막 시험편(A)은 각각의 입자사이에 일부 미용융, 미접합부분이 관찰되고 있으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자내에 미세균열(micro crack)이 존재한다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 Ni-Al합금이 혼합된 (C)의 경우는 Ni-Al합금이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 일부 피복된 상태로 존재하고 있다. 이 경우에도 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자내에 미세균열(micro crack)이 관찰되고 있다. 이러한 미세균열(micro crack)의 발생원인은 용사피막층 형성시 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자가 모재 표면에 충돌하여 편평, 응고하면서 형성되는 것으로 생각되며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자내 미세균열(micro crack)의 간격폭은 용사의 거리에 따라 약간의 차이는 있지만, 보통 1μm이하인 것으로 보고되고 있다<sup>3-5)</sup>.

Photo. 2는 광학현미경을 이용한 용사피막층의 단면부에서 미세조직을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 흰부분은 Ni-Al합금이고, 짙은 회색부분은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>성분을 나타내고 있으며, 검게 관찰되는 부분은 기공으로 생각된다. Ni-Al합금이 적게 혼합된 복합용사피막층 (C)는 Ni-Al합금이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>기지(matrix) 중에 분산되어 있고, 그리고 Ni-Al합금이 다량으로 함유된 (E)는 다량의

Ni-Al합금이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 기지(matrix) 중에 분산상으로 존재함을 알 수 있다.

모재표면에 중간층(bond coating layer)을 작성한 후, 그 위에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막을 입힌 (A)의 경우에는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 피막층내에 미세기공이 전반적으로 고르게 분산되어 있다. 그러나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 Ni-Al합금이 16.7vol.%로 소량 혼합된 복합용사피막층(C)은 (A)보다 용사피막층의 미세기공이 오히려 불규칙적으로 분산되어 있고, 조대화 되어 있는 현상이 관찰되고 있다.

한편 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 Ni-Al합금을 65.2vol.%로 50.0 vol.%이상 함유시킨 (E)의 경우에는 점차적으로 용

사피막층의 미접합부와 미세기공이 현저히 감소하여 치밀한 조직이 형성되어 있음을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 Ni-Al합금이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자를 충분히 피복시켜 미세한 조직을 얻기 위해서는 용사피막층내 구형의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>분말을 용사피막층에 적층한다고 가정할 경우의 층진율을 고려할 때, 약 50vol.%Ni-Al합금으로 혼합하여 작성하는 것이 적절하다고 생각한다.

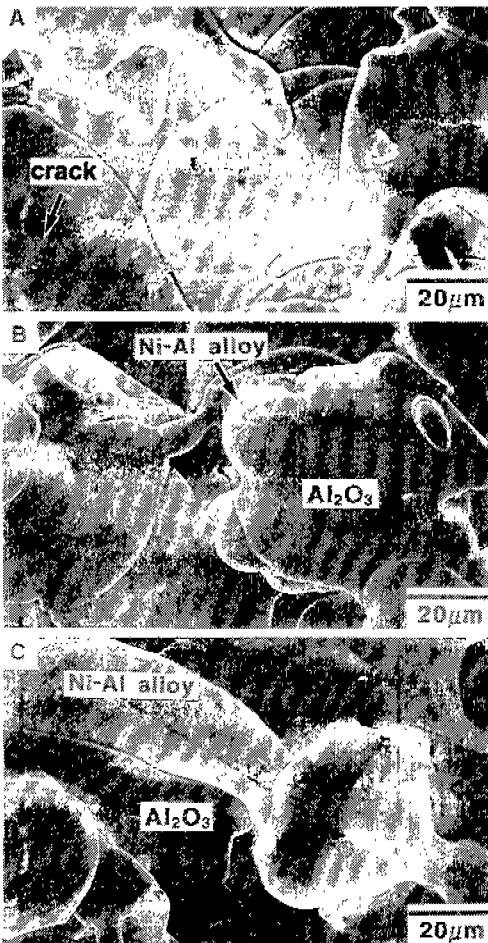


Photo. 1 SEM photograph of sprayed coatings. (A : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (B : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-4.9vol.% Ni-Al alloy), (C : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-16.7vol.% Ni-Al alloy).

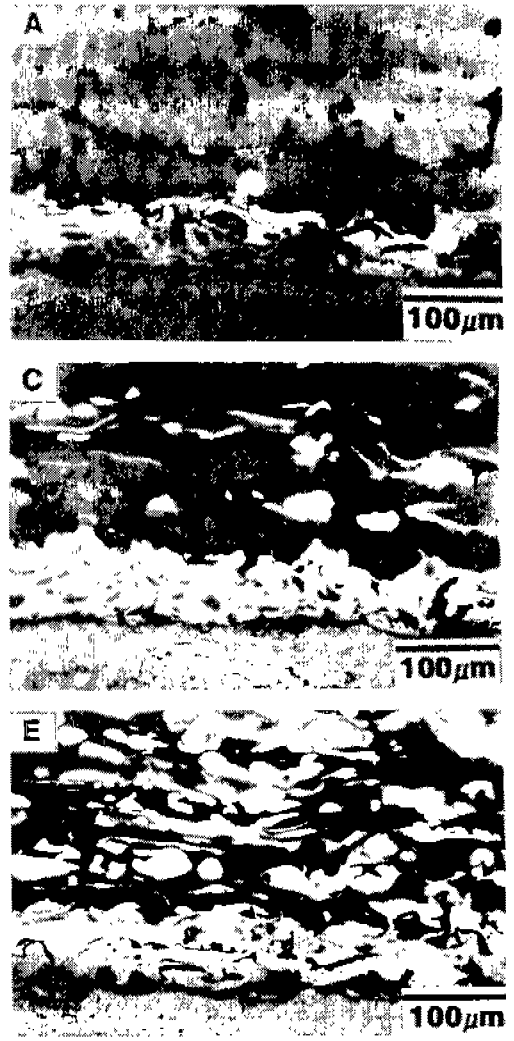


Photo. 2 Microstructures of sprayed coatings. (A : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (C : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-16.7vol.% Ni-Al alloy), (E : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-65.2vol.% Ni-Al alloy).

### 3. 2 용사피막층의 미소경도특성

용사피막층 단면부에서의 미소경도시험 결과를 Fig.4에 나타내었다. Fig.4에서 알 수 있는 바와 같이,  $Al_2O_3$  단일피막층의 경우가 가장 높은 경도값을 나타내고 있으며, Ni-Al합금의 혼합량이 증가할수록 감소하는 경향이 나타나고 있다. 일반적으로 소결  $Al_2O_3$ 은 고유의 높은 경도값  $H_v=1300$ 정도를 가지고 있다<sup>6)</sup>.  $Al_2O_3$  용사피막의 경도변화는 플레즈머용사의 경우, 용사조건에 따라  $Al_2O_3$  피막층에서  $H_{v300}=700\sim 1600$ 의 범위로 큰 경도차를 나타내고 있다. 이러한 높은 경도값의 변화는  $\alpha-Al_2O_3$ 입자가 고온으로 가열되어  $\alpha-Al_2O_3$ 상으로부터  $\gamma-Al_2O_3$ 상이 석출되어 강화되기 때문이며<sup>7)</sup>, 또한 용사시 입자가 가지고 있는 열을 차가운 모재속으로 쉽게 빼앗기 때문에 초금냉에 의한 결정립 미세화에 의한 강화효과를 얻을 수 있어 경도값이 증가하는 것으로 생각된다. 그러므로 용사피막의 경도값은 용사장치 및 용사조건에 따라 열원의 차이가 있기 때문에 현저하게 변화될 수 있다.

플레임 용사법을 적용한 본 실험의 결과로부터 순수한 Ni-Al합금의 용사피막층의 경도는  $H_{v300}=246\pm 8$ 의 값을 나타내며,  $Al_2O_3$  단일피막

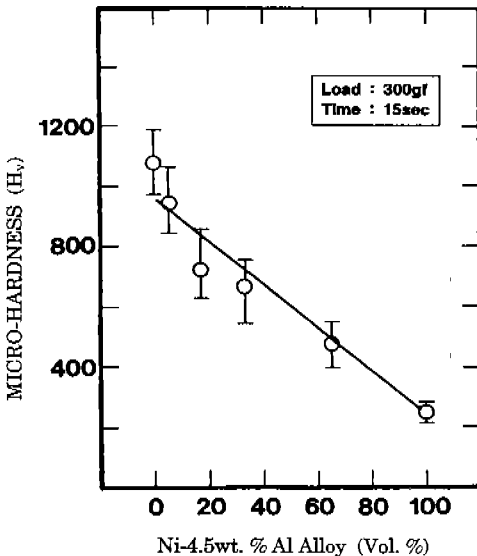


Fig. 4 Results of microhardness test of sprayed coating.

층의 경도는  $H_{v300}=1090\pm 96$ 의 값을 나타내어, 용사에 의한  $Al_2O_3$  용사피막층의 높은 경도값은 소결재의 경도값과 거의 같다. 한편 Ni-Al합금은  $Al_2O_3$  용사복합층에 비해 상대적으로 약 22%의 경도값을 나타내고 있기 때문에 복합용사피막층의 경도값은 Ni-Al합금의 혼합량이 증가할 수록 직선적으로 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이로부터  $Al_2O_3$ 와 Ni-Al합금의 복합용사피막층의 경도는 복합재료의 일반적인 혼합비법칙이 적용됨을 알 수 있다.

### 3. 3 용사피막의 밀착강도 특성

Fig.5는 용사피막층의 밀착강도시험 결과를 나타낸 것이다. Fig.5에서 알 수 있는 바와 같이,  $Al_2O_3$  단일피막층의 경우가 가장 낮은 밀착강도의 값을 나타내고 있으며, Ni-Al합금의 혼합량이 증가할수록 밀착강도가 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 Ni-Al합금의 혼합량과 밀착강도 변위는 직선적인 비례관계가 성립함을 알 수 있다. 일반적으로 용사피막층과 모재와의 밀착기구는 모재표면의 조면화(凹,凸)에 의한 투묘효과(anchorng effect)이다<sup>8)</sup>. Photo.3은 본 실험

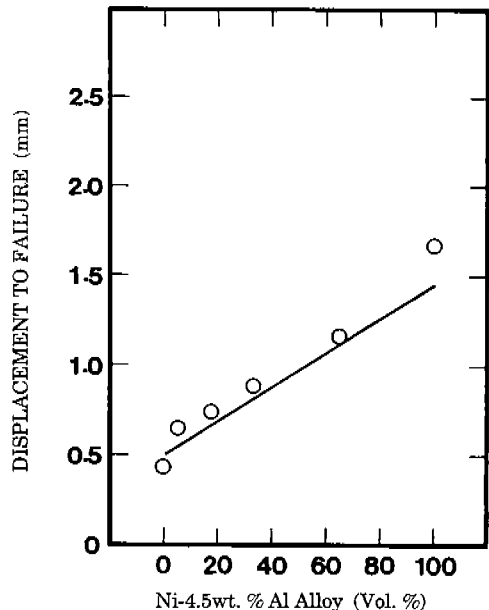


Fig. 5 Results of adhesive strength test of sprayed coating.



Photo.3 SEM photograph of sprayed layer around crack of adhesive strength test. (A : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (D : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-31.9vol.% Ni-Al alloy), (E : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-65.2vol.% Ni-Al alloy).

에서 밀착강도시험 후, 주사식 전자현미경을 이용하여 관찰한 용사피막층 파단부의 형상을 나타낸 것이고, Fig.6은 파면이 발생하는 과정의 모식도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막층은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자내를 통과한 입내균열, 즉 벽개파괴(cleavage crack)의 전파에 의해 파단이 진전됨을 알 수 있다. 한편, 32.9vol.%

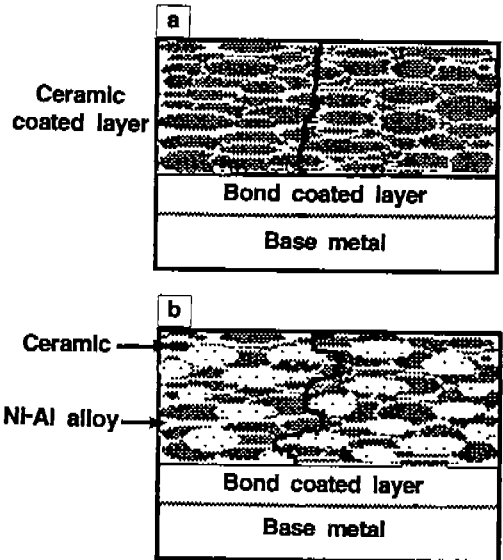


Fig. 6 Schematic illustration of crack processing. (a : ceramic coating layer, b : composite coating layer)

Ni-Al합금이 혼합된 복합용사피막층은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Ni-Al합금의 접합계면을 따라서 파괴가 전파되며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>영역에는 결정입내를 통과하는 벽개파괴로 진행되지만, Ni-Al합금 영역은 결정입계를 따라서 입계파괴로 진행된다.

일반적으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 파괴인성에 비해 Ni-Al합금의 파괴인성이 매우크다고 할 수 있다. 이상의 파면학적 관찰로부터 시험편이 급형하중을 받을 경우, Ni-Al합금의 혼합량이 작은 경우는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>내에 다수의 취성적인 균열이 발생되기 때문에 피막의 박리가 일어날 때까지의 변위량은 작게되어 밀착강도가 저하된다. 한편, Ni-Al합금이 증가함에 따라 Ni-Al입자 사이의 입계파괴가 지배적으로 되어 복합용사피막층의 Ni-Al합금에 의한 파단강도 증가의 역할로 밀착강도가 향상되는 것으로 사료된다.

### 3.4 용사피막의 에로전(erosion)특성

Fig.7은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막층과 복합용사피막층의 표면부에 대한 에로전(erosion)시험 결과를 나타낸 것이다. 본 실험에서 실험조건으로부터 시험편의 blasting 면적은 모두 같다고 가정하였으며, 에

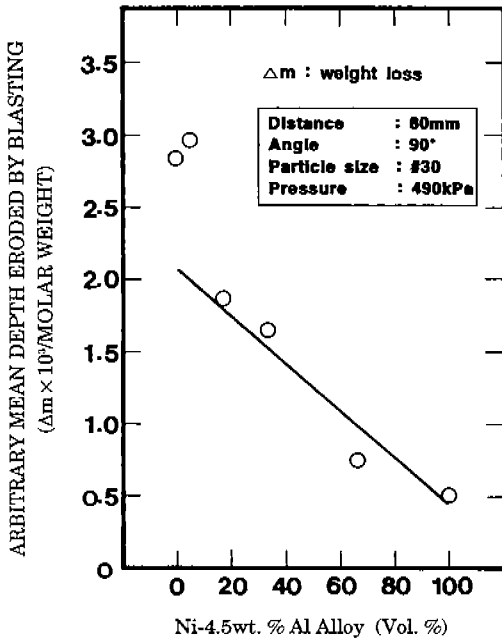


Fig. 7 Results of erosion test of sprayed coating.

로전 시험동안 떨어져나간 피막층 깊이는 손실된 무게량으로부터 손실된 체적을 환산하여 손실된 피막층 깊이를 계산한 값을 나타내고 있다. Fig.7에서 알 수 있듯이, Ni-Al합금의 혼합량이 증가할수록 blasting에 의한 피막층 손실 깊이는 직선적으로 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막과 4.9vol.% Ni-Al합금을 혼합한 복합용사피막층의 경우는 무게의 감량이 직선상에서 현저하게 벗어나 있다. 이러한 원인은 미세조직에서 관찰한 바와 같이 용사피막층에 미접합부와 다량의 미세기공이 존재하여, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자간의 결합력을 크게 떨어지게 함으로 내이로전성을 현저하게 악화시킨다. 이러한 상태에서는 어떠한 내이로전성을 기대하기는 어렵다. 반면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 Ni-Al합금을 혼합함에 따라서 입자간의 결합력을 증대시키고, 미세기공을 감소시켜 내이로우전성은 양호하게 된다.

### 3.5 용사피막의 내부식성특성

Photo.4는 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)수용액 환경에서 용사층 표면부만 20시간 노출하였을 때, 생성된 용사피막 부식층의 단면조직을 나타내고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단

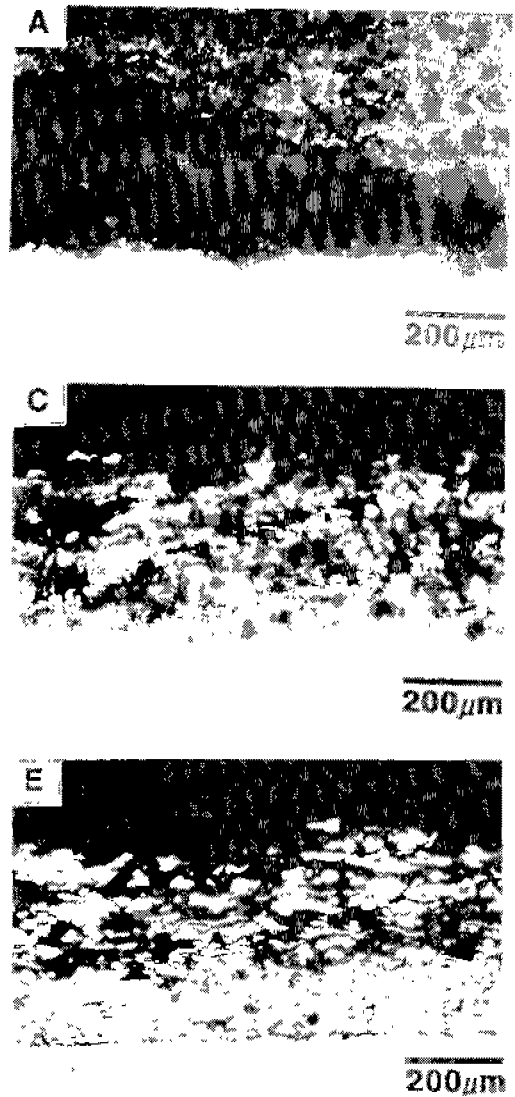


Photo. 4 Microstructures of sprayed coating after corrosion test.

(A : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (C : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-16.7vol.% Ni-Al alloy), (E : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-65.2vol.% Ni-Al alloy).

일피막층과 4.9vol.%Ni-Al합금의 복합용사피막층은 모재와 용사피막 사이의 중간피막층이 검게 부식되어 있는 양상을 보이고 있다. 이러한 주원인은 용사피막층에서 생성된 미세균열과 미세기공의 통로를 따라 표면부에서 내부까지 모세관 현상에 의해 황산수용액이 침투하여 중간피막층에 심하게 부식생성물이 생성되는 것으로 생각된다.



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 강한 황산수용액의 부식환경에서도 우수한 내식성을 나타내지만, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 다량인 용사피막층에서는 부식액이 모세관 현상으로 침투하여 모재와 피막층 사이에 박리현상이 일어나 내부식성에 적합하지 못한 것으로 판단된다. Ni-Al합금이 16.7vol.% 이상 혼합된 복합피막층의 경우는 표면부만 국부적으로 부식층을 형성하고 있다. 이러한 부식층은 Ni-Al합금만의 부식생성물로 생성된 것으로 판단되고, 중간피막층의 부식생성물은 일어나지 않았다. 따라서 복합용사피막층에서는 Ni-Al합금이 증가할수록 부식량이 증가하는데, 이러한 이유는 Ni-Al합금의 증가량에 따라 복합재료 단위면적당 부식면적이 증가하기 때문이다.

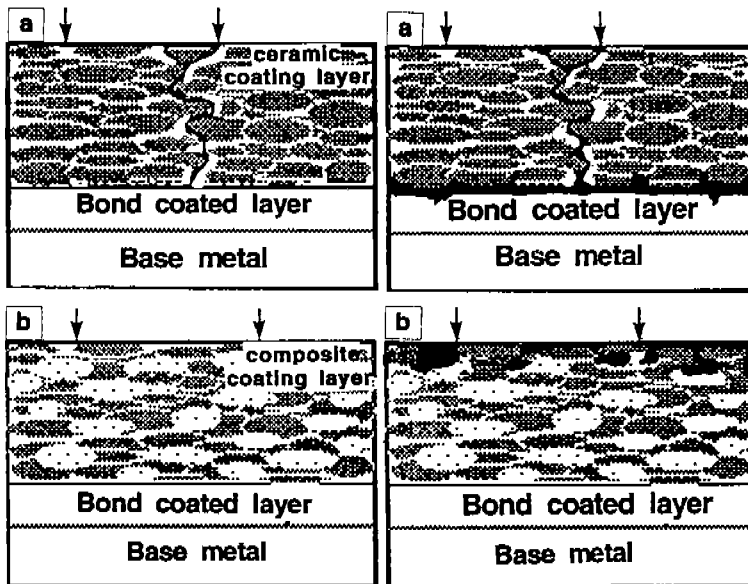
본 실험의 결과를 통하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Ni-Al합금의 용사피막층에 대하여 Fig.8과 같은 부식경로를 생각할 수 있다. Fig.8에서 (a)는 용사피막의 부식층은 모세관 현상에 의해 내부에서 부식이 진행되며, 또한 (b)는 용사피막의 표면부에서 국부적으로 부식과정이 진행되는 두가지 경로를 생각할 수 있

다. Fig.8(a)의 경로는 부식액이 용사피막층에서 미세균열(micro crack)과 미접합부 및 미세기공을 통해서 중간층을 부식시키는 것으로서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 단일피막층과 4.9vol.%Ni-Al합금의 복합용사피막층에 적용되며, 한편, (b)는 표면부에서부터 Ni-Al합금이 국부적으로 부식층을 형성하여 내부로 진행되는 것으로서, Ni-Al합금이 16.7vol.% 이상으로 혼합된 복합피막층에 대하여 적용되는 것으로 생각한다.

#### 4. 결 론

강재표면에 대한 내부식성 및 기계적특성을 향상시키기 위해서 프레임 용사법을 적용하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Ni-Al합금분말의 혼합비를 변화시켜 얻어진 용사피막층에 대해 내부식성 및 기계적 특성에 미치는 혼합조성비의 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ni-Al합금의 혼합비가 50vol.%이상인 용사피막층의 미접합부와 미세기공은 현저하게



I) Before corrosion test. II) After corrosion test.

Fig. 8 Schematic illustration of corrosion processing.  
(a : ceramic coating layer, b : composite coating layer)

감소하고, 치밀한 미세조직이 얻어졌다.

2. 용사피막층의 경도는 Ni-Al합금의 혼합비가 증가할수록 직선적으로 감소하며, 복합재료로 형성된 용사피막층의 경도는 혼합비범칙이 적용된다.
3. 용사피막층의 내어로전성과 밀착강도는 Ni-Al합금의 혼합비가 증가할수록 직선적으로 증가하며, 용사피막층의 부식에는 부식성분의 체적량이 관계함을 알 수 있다.
4. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 단일조성 용사피막층에서는 모재와 용사피막 사이의 계면에서 집중적으로 부식현상이 발생되어 박리가 일어나므로, 복합화가 요구된다.

### 참고문헌

- 1) 志村 洋文 外: 레이저溶射技術의現狀と將來, 溶射技術, vol.8, No.2, p50~55, 1989
- 2) 大森 明: 레이저 플라즈마複合溶射, 溶接技術, vol.38, No.6, p62~67, 1990.
- 3) 赤沼 正信: 封孔處理によるセラミック溶射皮膜特性の改善, 溶接技術, 6月號, p73~78, 1992.
- 4) 大森 明: セラミック溶射皮膜のマイクロ構造とその評價 高温學會誌, 第17卷Supplement, p335~345, 1991.
- 5) 大森 明: 溶射皮膜의各種試驗法による評價, 溶接技術, 6月號, p82~83, 1992.
- 6) 竹田博光: セラミックコーティング, 日刑工業新聞社, p67, 1988.
- 7) 小林 明: 가스통널型 플라즈마溶射によるアルミナ皮膜의斷面組織とその構造, 高温學會誌, 第18卷 第2號, p89~96, 1992.
- 8) 野地 英治: 카라스溶射とその展望, 溶接技術, 6月號, p61~62, 1992.
- 9) 金永植, 金永植: 티타니아 세라믹 溶射皮膜의 强度 向上에 관한연구, 대한용접학회지, vol.10, No.4 p181~189, 1992.
- 10) DE VILLERS LOVELOCK H.L., VAN WYK P. : Effect of Powder Type and Composition on the Erosion and Abrasion of HP/HVOF Deposited WC-Co Coatings, Proceeding of the 15th International Thermal Spray Conference, p193~198, 1998

### 저 자 소 개



#### 김정일(金正一)

1944년 7월생. 1967년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1982년 동대학원(석사). 1993년 동대학원 졸업(박사). 현재, 목포해양대학교 기관공학부 교수 겸 동대학원 원장



#### 이주원(李柱元)

1963년 2월생. 1990년 부경대학교 금속공학과 졸업. 1993년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사). 현재 (주) 태진 대표



#### 최영국(崔榮國)

1961년 9월생. 1984년 한국해양대학교 박용기계공학과 졸업. 1986년 동대학원 졸업(석사). 1996년 동대학원 졸업(박사). 현재 (주) 종합플라스틱 환경사업부 부장, 한국해양대학교 겸임교수



#### 김영식(金永植)

1944년 10월생. 1967년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1973년 동대학원 졸업(석사). 1979년 일본동경공업대학원 졸업(박사). 현재, 한국해양대학교 기계소재 공학부 교수