

알루미나 용사에 의한 연강 및 스테인레스강의 표면개질

배종규 · 박승옥 · 정인상*

大重金屬工業高等學校

*慶北大學校 工科大學 金屬工學科

Surface Modification of a Mild and Stainless Steel by Alumina Spraying

Jong-Kyu Bae, Seung-Ok Park and In-Sang Chung*

Daejung Metallurgical High School, Dalsung, Kyungpook, 711-860

*Dept. of Metall. Eng., Kyungpook National Uni., Taegu, 702-701, Korea

The surface modification of a mild and stainless steel by alumina sprayed coating were studied. The effects of surface roughness and bond coating layer on the adhesive strength and durability of sprayed specimens were also investigated.

The adhesive strength of ceramic coating was affected by surface roughness and bond coating layer thickness. That showed excellent under grit blast time and bond coating later; 60 sec and 0.15 - 0.33mm, respectively. The adhesive strength and densification of sprayed coating with air pressure were superior to those of without and fracture was mainly occurred at alumina-bond coating interface. Under ambient atmosphere at 800°C, the oxides existed within bond coating layer promote diffusion of oxygen to lower durability of sprayed specimens. In this case, fracture was occurred at substrate-bond coating interface.

1. 서 론

용사법은 고온의 열원을 이용하여 금속과 세라믹 등의 용사재료를 용융 또는 반응용 입자 상태로 만들고 그것을 소재표면에 고속분사 충돌시켜 소정의 피막층을 형성하는 표면가공 기술의 일종이다.

이 방법은 1910년 경부터 개발된 것으로 초기에는 Zn이나 Al용사에 의한 철강의 방식이나 기계부품의 보수등에 한정되어 이용되었다. 최근에는

Al₂O₃, ZrO₂ 등의 세라믹 코팅 용사에 의한 내고온 산화성, 내열성, 내마모성 등을 목적으로 확대되고 있다.¹⁾²⁾ 이와 같이 세라믹 코팅의 장점을 이용하여 금속소재에 세라믹의 코팅이 크게 주목받고 있는 실정으로서 항공기, 자동차, 화학공업에 많이 적용되고 있다.

세라믹 코팅 재료를 용사시키므로 소정의 목적을 달성할 수는 있으나 세라믹은 높은 용융점을 가지기 때문에 용사피막층을 기술적으로 형성하는 데에

는 많은 어려움이 있다. 최근에는 플라즈마를 이용한 코팅기술이 개발되면서 여러종류의 세라믹 코팅용사가 가능해졌다.

그러나 플라즈마 용사장치는 가격이 너무 비싸기 때문에 본 연구에서는 산소-아세틸렌 용사 장치를 이용하여 Al_2O_3 세라믹 코팅을 용사하였다.³⁾ 이 장치에 의한 Al_2O_3 세라믹 코팅의 용사피막층을 보다 우수하게 형성하기 위한 방법이 요구되는데 세라믹 코팅과 소재금속의 물리적 성질이 서로 다르기 때문에 용사후에 만족스런 접합강도등을 얻기 위해서는 적절한 용사시공 조건이 필요하다.

일반적으로 세라믹 코팅 용사에서는 세라믹 코팅층과 금속소재 사이에 금속화적인 결합력을 얻기가 어렵기 때문에 세라믹과 금속소재 모두와 친화력이 있는 본드 코팅이라는 중간층을 필요로 하게 된다.⁴⁻⁶⁾ 본드 코팅의 역할은 소재와 세라믹 코팅층 사이의 연팽창계수 차이에 의한 열응력을 완화시키며 소재와 세라믹 코팅층의 접합성능을 크게 하여 용사피막층의 내구성을 향상시킨다. 본 연구에서는 연강과 스테인레스강의 소재표면에 Al_2O_3 세라믹 코팅 분말을 용사하여, 소재표면의 거칠기와 본드 코팅층의 두께변화에 따른 접합강도를 조사하고 용사피막층의 내구성 시험을 실시하여 공업적 이용 가능성을 알아보는데 그 목적이 있다.

2. 실험 방법

2-1. 용사장치 및 열원

본 실험에 이용한 용사장치는 전보⁷⁾와 같이 METCO사의 5p형 분말식 용사총을 사용하였다. 열원으로는 산소-아세틸렌 혼합가스를 사용하였으며, 용사재료를 노즐로부터 분출하는 산소-아세틸렌 불꽃에 의해 용융 또는 반용융 상태로 만들어 연강과 스테인레스강의 소재표면에 피막층을 형성하게 했다.

2-2. 용사재료 및 시편준비

입도가 $15-44\mu m$ 의 범위를 갖는 $Al_2O_3-2.5wt\%$ TiO_2 세라믹 코팅 분말(METCO 101)과 $45-90\mu m$ 의 범위를 갖는 $Ni-4.5wt\%Al$ 분말(METCO 450)을 용사재로 선정하였다. 세라믹 코팅 분말의 형상은 불규칙한 모양을 이루고 있었으며, X-선 분석결과 $\alpha-Al_2O_3$ 만이 확인되고, TiO_2 는 양이 적어서 인지 검출되지 않았다. 본드 코팅용으로 사용된 $Ni-Al$ 분말재료의 입자형상과 분포는 거의 구상을 이루며 균일한 입도 분포를 이루고 있었다. 한편 용사를 위한 시료는 연강(S20C)과 스테인레스강(SUS304)의 봉재를 ASTM C 633-69에 의하여 인장시험편의 형상으로 기계 가공하여 소재로 하였다.⁸⁾ 가공된 시험편의 형상과 치수는 Fig. 1과 같다. 이렇게 가공된 시편은 본드 코팅과의 접착면적 증가와 수축력 감소를 위해 Table 1에 나타낸 조건으로 소재표면을 grit blasting하였다. 이때 grit blast된 소재표면의 거칠기에 따른 영향을 조사하였고 표면의 거칠기는 Ra(arithmetic mean deviation) 측정 방법으로 측정했다.

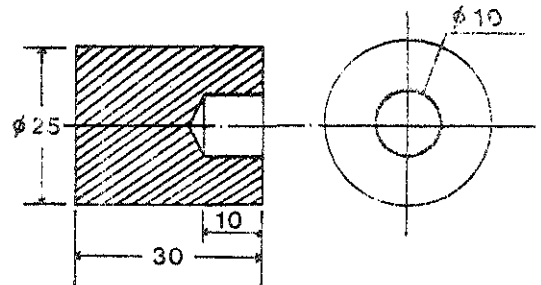


Fig. 1 Shape and size of specimen for spray coating

Table 1. Grit blast and blasting condition

	blasting condition
grit	silica sand
grit size	0.4-1.6mm
blasting pressure	5.4 kg/cm ²
nozzle diameter	7.6mm
blast distance	135-140mm
blast angle	90°C
blasting time	30-120sec

2-3. 용사처리

표면을 grit blast시킨 시편은 탈지 및 산세의 전처리를 실시하였다. 전처리 후 4시간 이내에 시편물림대(선반)에 시편과 용사총을 설치하여 용사재료를 송급하지 않은 상태의 산소-아세틸렌 불꽃으로 소재표면을 예열한 후 Table 2에 나타낸 조건으로 본드 코팅을 하였으며, 그 위에 세라믹 코팅을 실시하였다. 이때 본드 코팅의 두께와 본드 코팅할 때의 압축공기의 영향도 조사하였다. 시편의 예열온도는 CA표면 접촉시 온도계로 측정하였으며, 한 번 용사에 8개의 시편을 동시에 코팅할 수 있도록 시편 물림대에 설치하여 회전속도계로 속도를 측정하였다.

2-4. 접합강도 시험

접합강도 시험은 소재표면의 거칠기와 본드 코팅할 때의 변수를 변화시켜서 조사하였다. Fig.1과 같은 시험편을 용사하지 않은 dummy 시험편과 접촉제로 서로 마주보게 접착하여 인장하였다.^{9),9)} 인장의 속도는 0.4mm/min이며 소재와 본드 코팅사이, 본드 코팅과 세라믹 코팅사이, 또는 용사피막층내에서 파단이 된 경우만을 구해서 평균하였다.

2-5. 용사피막층의 내구성 시험

용사층의 내구성 시험은 용사층이 사용환경에 실제적으로 노출되었을 때, 어느 정도 내구성을 발휘하는가를 평가하기 위한 것이다. 여기에는 열충격 시험, 항온 시험 및 단일 시험등이 있다.^{9),10)} 본 실험에서는 열충격 시험과 항온 시험을 실시하였다. 항온시험은 용사한 시편을 800°C의 전기로에서 2시간 및 42시간 유지하여 공냉한 후 인장시험하였으며, 열충격 시험은 용사한 시편을 800°C에서 10분 유지 후, 20°C의 물에 급냉하는 조작을 5회 반복하여 코팅층에 균열 발생 여부를 조사하였다.

2-6. 현미경 조직 관찰과 분석

본드 코팅과 세라믹 코팅을 한 용사피막층, 항온 시험 및 열충격시험한 시험편의 조직변화를 조사하기 위하여 수직으로 절단, 연마 후 부식시킨 다음 광학현미경으로 조직을 확인하였다. 또 용사피막층의 내외부의 구성 성분을 확인하기 위해 EPMA, X선, SEM등을 이용하였다.

Table 2. Spray conditions for bond coatings and ceramic coatings

	bond coating	ceramic coating	
		mild steel	Stainless steel
nozzle type	P7-G	P7-G	P7-G
O ₂ flow rate	30	34	30
C ₂ H ₂ flow rate	36	34	36
powder feed rate	15 g/min	13 g/min	13 g/min
spray distance	145mm	63mm	62mm
preheat substrate	100-110°C	100-110°C	100-110°C
substrate rotating speed	175rpm	175rpm	135rpm
transverse speed	210mm/min	210mm/min	210mm/min
spray angle	90°	90°	90°

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 접합강도에 미치는 소재표면 거칠기의 영향

용사피막층의 접합강도는 소재의 표면상태에 의해 크게 좌우된다. 특히 표면의 거칠기는 우수한 접합강도를 얻기위한 중요한 인자이며 여러가지 요소에 의해 변화된다.^{11~13)} blast 시간을 변화시켜 접합강도에 미치는 표면거칠기의 영향을 조사하였다. Table 3에는 blast 시간에 따른 표면거칠기를 나타내었고, 조건중에서 blast 시간이 증가하면 거칠기도 증가하여, 60초에서 최대가 된 후 이상에서는 감소하는 경향을 보인다. blast시간이 길수록 중박된 요철이 도리어 거칠기를 완만하게 하는 것으로 생각된다. Photo.1은 blast된 시편과 사포질한 시편의 표면을 비교한 사진으로, blast한 것이 반응용융용사입자가 접촉할 면적을 크게 해 주고, 용고시 용사피막의 수축력을 감소시켜 주는 효과가 크기 때문에 접합강도는 향상된다.

Table 3. Surface roughness produced by blasting times

blasting time(sec)	surface roughness Ra(μ m)
30	6.0 - 6.5
60	7.0 - 7.5
120	5.8 - 6.25
sand paper # 60	0.3 - 0.8

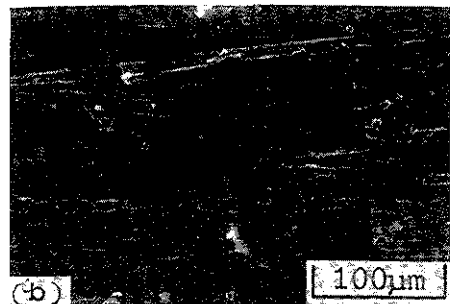
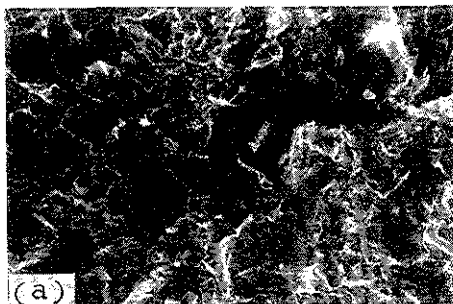


Photo. 1 SEM photographs of the substrate surface produced by grit blast and sand paper.

a)grit blast b) sand paper

연강 표면의 거칠기와 접합강도의 관계를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 소재표면을 blast시키지 않은 것은 blast 된 것에 비해 낮은 접합강도를 보이고 있다. 세라믹을 용사할 때 압축공기의 사용여부에 관계없이 blast시간을 증가시킴에 따라 접합강도는 blast시간 60초 정도의 거칠기에서 최고값을 보인 후 감소하고 있다. 압축공기를 사용한 후

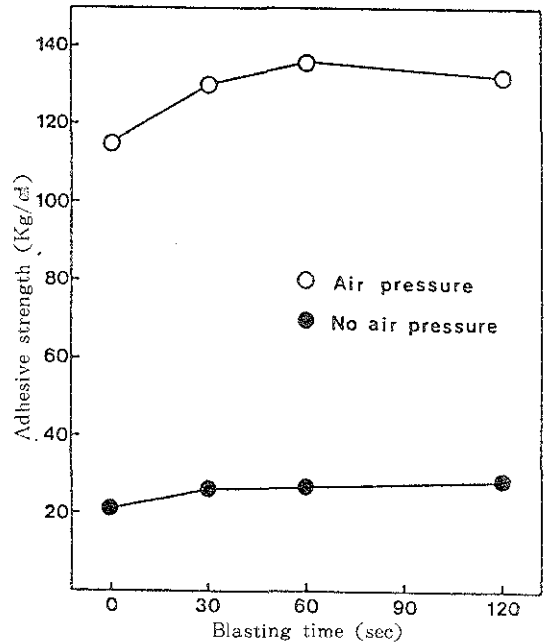


Fig. 2 Relationship between surface roughness and adhesive strength of the sprayed alumina coating on the mild steel

경우는 세라믹 코팅층이 조밀해져서 용사층내의 기공이 크게 감소되었다. Photo.2는 blast 된것과 사포질된 소재표면에 본드 코팅 후 세라믹을 용사시킨 피막의 단면조직이다. a)와 c)는 blast된 것으로 요철표면을 이루어 본드 코팅과 소재는 투묘 효과(anchor effect)에 의해 결합을 이루고 있고,¹⁴⁾ b)와 d)는 사포질 된 것으로 투묘 효과는 없다. 또 a)와 b)는 압축공기를 사용한 것으로 세라믹의 용사층은 상당히 조밀하고 본드 코팅과의 결합을 크게 한다. 압축공기를 사용하지 않은 c)와 d)는 용사층내에 기공이 많은 것이 관찰된다. 접합강도 시험에 의한 파단은 a), b)의 경우는 대부분이 세라믹층과 본드 코팅층사이에서 일어났으나, b)에서는 소재와 본드 코팅층 사이에서도 파단되었다. 반면에 c)와 d)의 경우는 대부분 세라믹층내에서 파단이 일어났다.

3-2. 접합강도에 미치는 본드층의 두께 영향

서론에서도 언급했듯이 금속과 세라믹은 물성이 다르므로 만족스런 접합강도를 얻기가 상당히 어렵기 때문에 중간층이 필요하다. 이러한 본드 코팅은 용사 피막층의 내구성을 좌우한다. 본드 코팅층의 두께를 변화시키면서 blast된 연강과 스테인레스강에 본드 코팅을 먼저하고 그 위에 세라믹을 70PSI의 압축공기를 사용하여 용사하였다.

Fig.3은 본드 코팅 두께 변화에 따른 접합강도의 변화를 나타낸 것이다. 본드 코팅층의 두께가 증가함에 따라 접합강도가 증가하는 경향을 보이고 있으며 0.15~0.30mm 범의에서 높은 강도를 나타내고 있다. 본드 코팅을 얇게 용사하면 소재 표면이 충분히 균일하게 용착되지 못하며 세라믹 코팅에 의한 수축응력을 완화시키지 못하기 때문에 접합강도

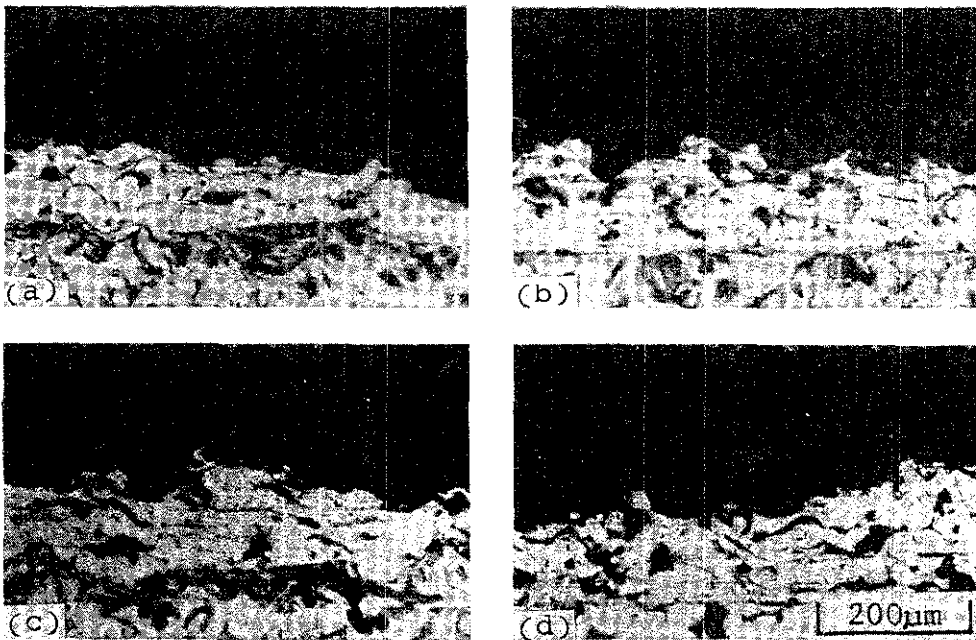


Photo. 2 Microstructure of the sprayed specimens produced with various surface roughness and pressure during ceramic spray a)blast time 60sec, air jet b)sand paper, air jet c)blast time 60sec, d)sand paper, no air jet

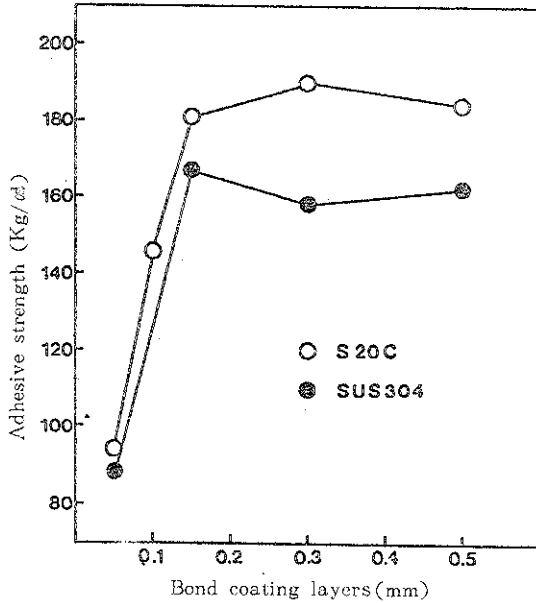


Fig. 3 Relationship between bond coating layer and adhesive strength of the sprayed alumina coating on the mild steel and on the stainless steel

가 낮게 된다고 생각된다. 본드 코팅층의 두께는 세라믹 코팅의 두께를 좌우하게 되며, 양호한 세라믹 코팅의 두께는 0.15~0.20mm 정도이다. 이와 같이 본드 코팅 두께가 너무 두꺼우면 세라믹층의 두께가 상대적으로 얇아지고, 접합강도 시험시에는 접착제의 영향을 받는다고 한다.¹⁴⁾ 따라서 Fig. 3에서 0.5mm의 본드 코팅두께에서 접합강도가 큰 것은 이유 때문으로 판단된다.

스테인레스 강의 접합강도는 연강보다 낮은 경향을 보이고 있다. 이것은 Table 2에서 처럼 세라믹을 용사할 때 가스의 흐름과 시료의 회전속도를 다르게 했기 때문으로 생각된다. 이러한 결과로 판단하면 본드 코팅의 두께는 0.15~0.30mm가 가장 우수한 접합성을 가지게 된다.

Photo. 3은 본드 코팅두께의 변화에 따른 용사 피막층의 단면조직이다. a)~d)의 것은 연강의 것

으로 본드 코팅 두께가 얇을수록 용착상태가 불균일하며, 너무 두꺼울 때는 세라믹 코팅층의 두께가 얇은 것을 알 수 있다. 접합강도 시험 후의 파단면은 d)를 제외하고는 모두 본드 코팅과 세라믹 코팅층의 계면에서 파단되었다. d)는 본드 코팅내에서 파단되었는데, 이는 접착제의 영향을 받은 것으로 판단된다 e)~f)는 스테인레스 강의 결과이다. 한편 본드 코팅할 때 압축공기를 사용한 것이 Photo. 4이다. 소재는 스테인레스강이며 압축공기를 사용하지 않은 a)의 본드 코팅층내에는 laminar 조직을 이루며, 커다란 산화물과 기공들이 많이 있다. 70 PSI의 압축공기를 이용한 b)의 경우는 본드 코팅층의 치밀화가 이루어졌다.

3-3. 용사피막층의 미세조직

산소-아세틸렌 불꽃을 이용한 본드 코팅과 세라믹 코팅의 용사피막층은 용사재료, 용사거리, 시료의 회전속도와 분말 공급 속도등의 변수에 따라 성상이 좌우된다. 이 변수들은 복합적인 관계가 있으므로, 적절한 용사조건 확립에 의해서 우수한 용사피막층을 형성할 수가 있다. 소재표면에 본드 코팅과 세라믹 코팅을 한 시료의 단면을 SEM으로 관찰한 것이 Photo.5이다. 용사피막층은 서로 잘 결합되어 있는 것을 알 수 있다. 본드 코팅층에는 미용융된 입자들도 간혹 관찰되고 있다. 검은 부분은 산화물이고, 흰부분은 Ni와 Al의 고용체상이다. 세라믹 용사층에는 연마시에 입자들이 떨어져 나간 흔적과 기공이 많이 보이고 있다.

본드 코팅과 세라믹 코팅층의 구성성분을 구분하기 위해서 EPMA 면분석과 X-선분석을 실시했다. SEM 사진과 Photo.6을 비교해 보면, 본드 코팅층의 흰 바탕은 주로 Ni이 많은 Ni-Al의 고용체이며, 이 사진으로는 구분이 되지 않지만 약 5%이하의 NiAl과 Ni₃Al상도 존재한다고 한다.^{15,16)}

또한 검은 부분은 Al이 풍부한 상으로, X-선 분석 결과 NiO와 γ -Al₂O₃상이며¹⁶⁾, 용사할 때 생성된 산화물이다. 흰 바탕에는 NiO와 γ -Al₂O₃상은

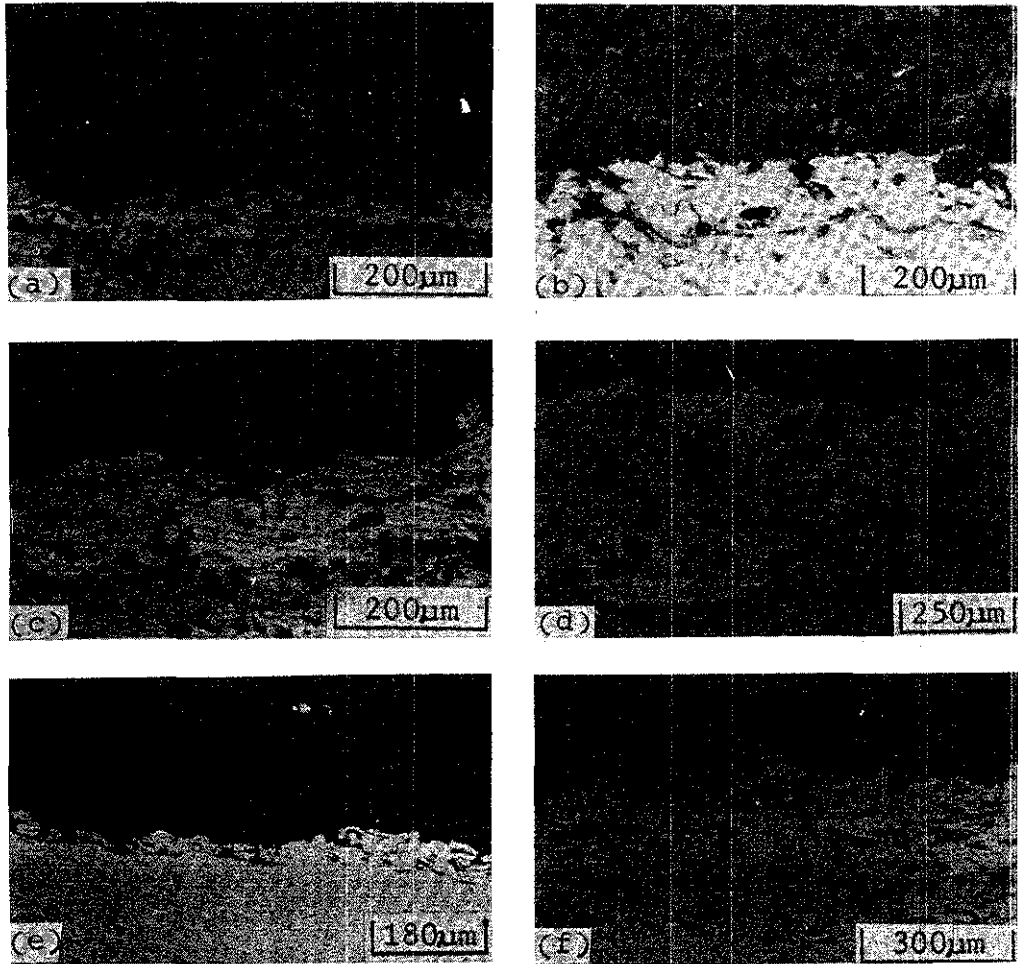


Photo. 3 Microstructures of the sprayed coating specimens with various bond coating layers (a-d : mild steel, e-f : stainless steel) a)0.05mm b)0.1mm c)0.15mm d)0.5mm e)0.03mm f)0.3mm

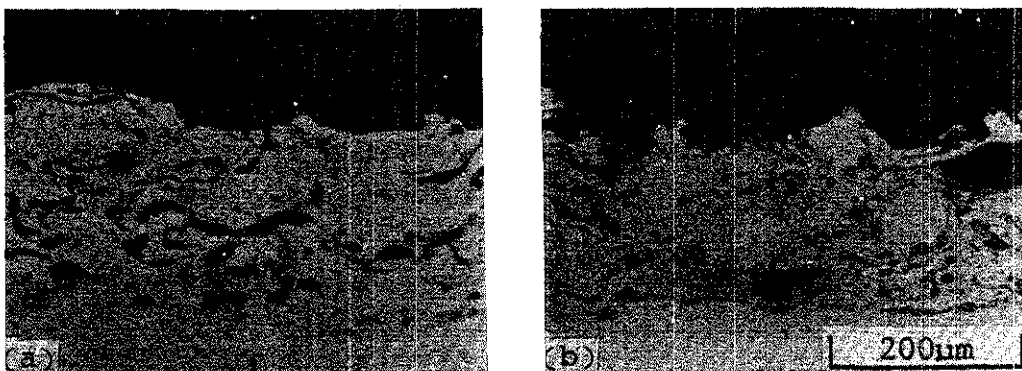


Photo. 4 Microstructures of the sprayed specimens on the stainless steel with and without air pressure during bond coating a)no air pressure b)air pressure

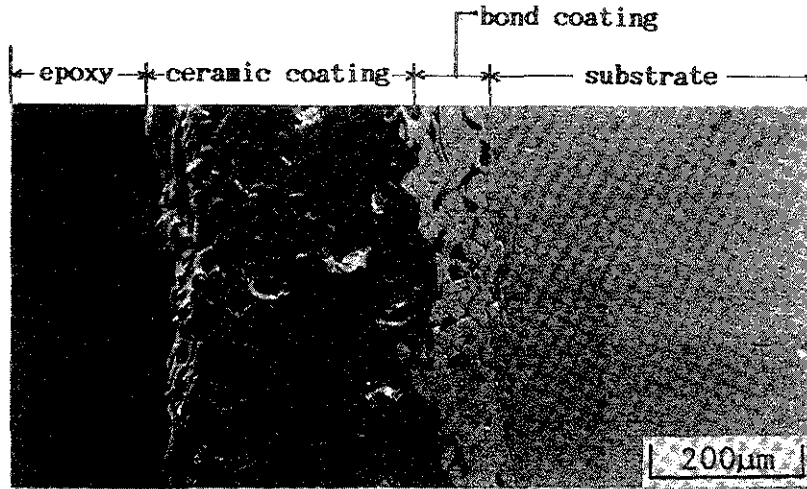


Photo. 5 SEM photographs of the flame sprayed specimen

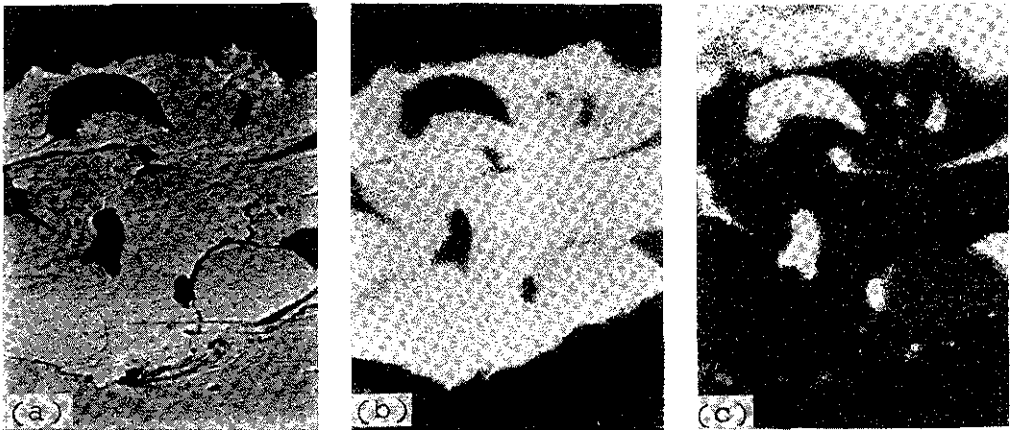


Photo. 6 SEM and X-ray images for the as sprayed bond coating specimen a)SEM photograph(X1000) b)Ni mapping c)Al mapping

확인되지 않으며, 경도가 H_{R5} 63 정도이다. 한편 세라믹층의 바탕은 주로 Al성분이 많은 상이다. 용사한 후의 시료를 X-선 분석한 결과가 Fig. 4이다. 육방정 α - Al_2O_3 외에 입방정 구조의 γ - Al_2O_3 상이 관찰된다. 이것은 세라믹 분말은 육방정계의 α - Al_2O_3 인데, 용사중 용융된 입자가 소재표면에 충돌, 급냉되면서 γ - Al_2O_3 상이 나타난 것으로 생각된다.^{17),18)}

용사피막층의 결합상태를 확인하기 위해 EPMA 선분석을 실시한 결과는 Photo. 7과 같다. 세라믹 코팅층에는 Al의 피크가 높으며, 낮은 피크를 나타내는 부분은 기공 또는 연마과정에서 입자들이 떨어져 나간 흔적을 나타낸 것으로 생각된다. 세라믹과 본드 코팅사이에는 Al과 Ni의 확산이 명확히 관찰되지 않으며 기계적인 결합을 이루고 있다. 본드 코팅층내에는 Photo. 6에서처럼 바탕은 Ni이 풍부

한 상임을 알 수 있다. 검은 부분은 Al의 피크가 높으므로 γ -Al₂O₃의 산화물로 간주된다. 본드코팅과 연강 소재 사이에는 Fe가 본드 코팅내로 약간 확산되어 있음을 알 수 있다.

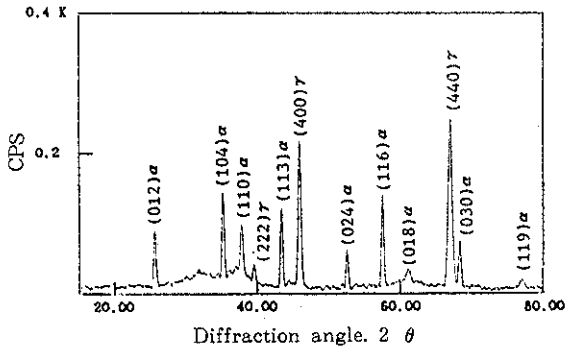


Fig. 4 X-ray diffraction profiles of the as sprayed ceramic coating layer

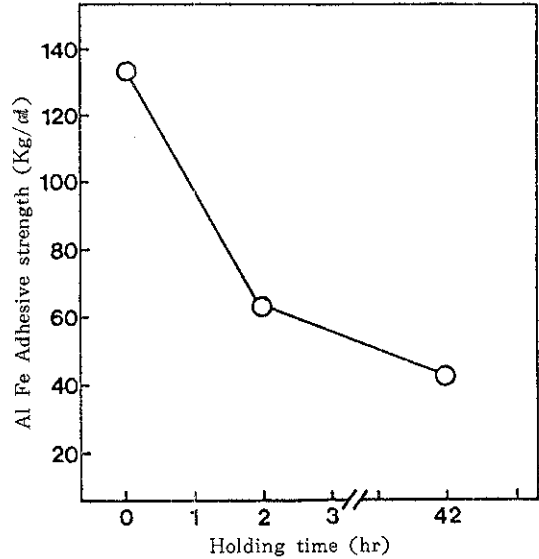


Fig. 5 Adhesive strength for the sprayed specimen on the holding times at 800°C

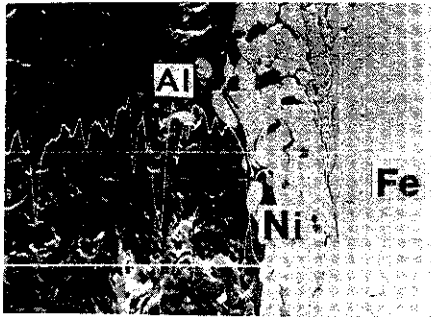


Photo. 7 Microstructure and composition profile of the as sprayed coating on mild steel

3-4. 용사피막층의 내구성

3-4-1. 항온 시험

연강에 본드 코팅과 세라믹 코팅을 실시한 시료를 800°C에서 전기로에 넣어 공기 분위기중에서 2시간, 42시간 동안 항온유지한 후 공냉시켜 상온에서 접합강도시험을 실시했다. 그 결과는 Fig.5와 같다. 800°C에서 유지시간이 길어지면, 접합강도는 감소한다. 파단은 소재와 본드 코팅층 사이에서 일어났다. 그러나 항온시험을 하지 않은 시료의 파단은

주로 본드 코팅과 세라믹 코팅층 사이에서 일어났다. 이와 같이 용사 후 800°C에서 장시간 노출된 시료는 표면 거칠기나 본드 코팅의 두께에 관계없이 모두 소재와 본드 코팅층 사이의 산화에 의해 파단된다. Photo. 8은 800°C에서 항온시험 후의 단면조직으로서, a)는 용사한 직후의 것으로 경계부에 산화는 확인되지 않으나, b)와 c)는 각각 2시간, 42시간 유지시킨 후의 것으로 소재와 본드 코팅층 사이에 산화의 정도가 심하며 균열이 발생하고 있다. 반면에 본드 코팅과 세라믹 코팅층 사이에는 아무런 변화를 발견할 수가 없다.

Photo. 9는 항온시험 후 용사피막층의 EPMA 분석 결과이다. 본드 코팅층과 세라믹 코팅층 사이의 변화는 없으며 용사한 직후의 것과 같은 것을 확인할 수 있으나 소재와 본드 코팅층 간에는 검은 산화물이 있다. 이것은 Photo. 7의 결과와 같이 소재의 Fe가 항온시험 동안 본드코팅층으로 확산되어 경계부에 산화된 산화물로 파악된다. 또 연강의 표면 부근에는 Photo. 8과 같이 재결정이 일어난 것도 알 수 있다. 800°C에서 2시간 유지 한 것의 X-

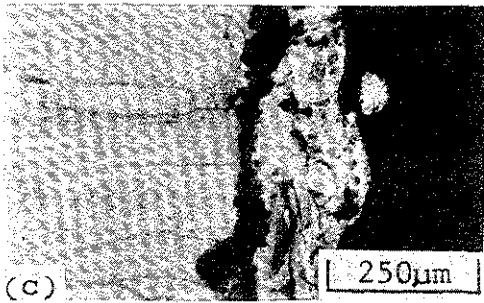
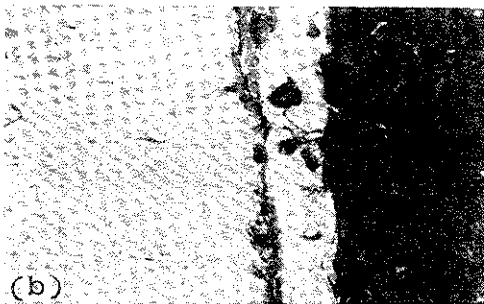
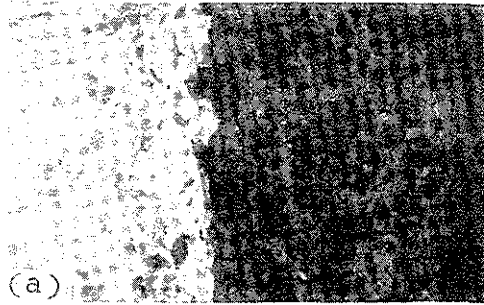


Photo. 8 Microstructures of the static thermal exposed specimens at 800°C
a) as sprayed b) 2hr c) 42hr

선 분석한 결과는 Fig. 6과 같으며, 용사 직 후의 것과 비슷하다. 그러나 전반적으로 Al_2O_3 피크의 강도가 낮아져 있음을 알 수가 있다. Melewski¹⁷⁾는 1,000°C에서 $\gamma-Al_2O_3$ 가 정방정 구조의 $\delta-Al_2O_3$ 로 변태된다고 보고하고 있다.

3-4-2. 열충격시험

용사시킨 시료를 800°C의 공기중에서 10분간 유지 후 상온의 물에 급냉하는 조작을 반복한 결과를 Table 4에 나타내었다. 표면 요철이 없는 경우와 본드 코

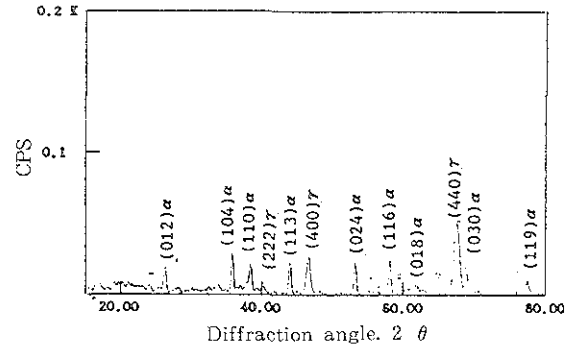


Fig. 6 X-ray diffraction profiles of the specimen the static thermal test for 2hr at 800°C

Table 4. The effect of surface roughness and bond coating layer thickness on the number of cycles to failure for 800°C thermal shock

spraying parameter		No. of cycle to failure
the surface roughness (blast time : sec)	bond coating thickness(mm)	
0	0.15	14
30	0.15	19
60	0.15	20
120	0.15	20
60	0.05	14
60	0.10	18
60	0.15	20
60	0.30	17

*substrate : mild steel

팅 두께가 얇은 경우에 파괴가 빨리 발생하는 경향이었으나, 큰 변화는 아니며, 모두 소재와 본드 코팅사이에서 파단되었다. 이것은 반복 가열시의 산화막이 급냉에 의해 균열을 유지시킨 것으로 판단된다. 그 결과는 Photo. 10에서도 확인할 수 있다. 그러나 항온시험한 용사중에서는 본드 코팅과 세라믹 코팅층 내부에 균열이 발생하지 않았으며, 열충격 시험한 용사피막층은 Photo. 10, 11을 보면 본드 코팅과 세라믹층 내부에 균열이 발생되어 있으며,

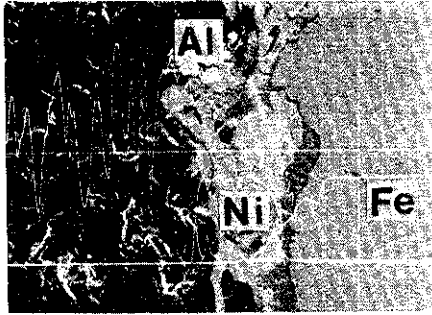


Photo. 9 Microstructure and composition profile of the static thermal tested specimens for 2hr at 800°C

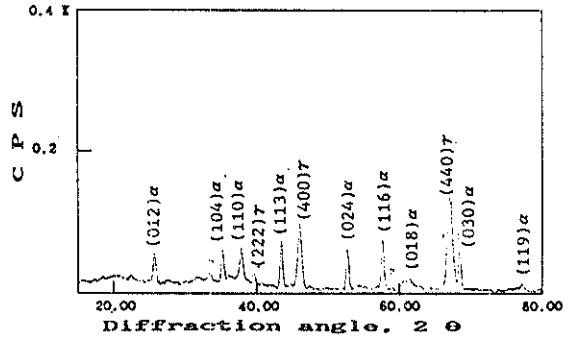
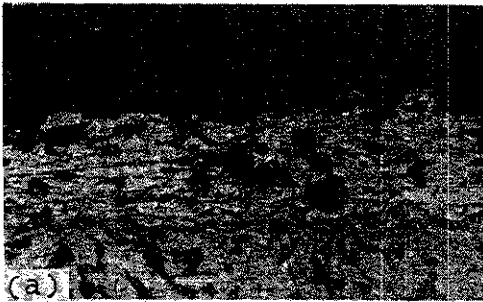
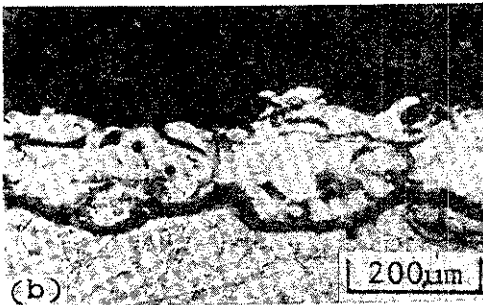


Fig. 7 X-ray diffraction profile of the specimen for the thermal shock test at 800°C



a) as sprayed



b) after 20 cycles

Photo. 10 Microstructures of the as sprayed (a) and of the 20 cycles thermal shocked specimens a)as sprayed b)after 20 cycles

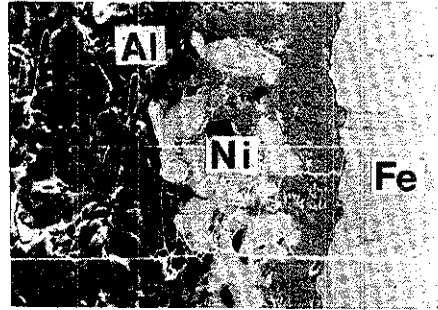


Photo. 11 Microstructure and composition profile of thermal shock tested specimen at 800°C

본드 코팅과 소재사이 에서도 일어나고, 항온 시험한 것과 마찬가지로 철 산화물이 상당히 형성되어 있음을 확인할 수 있다. Fig. 7은 열충격 시험 후의 X-선 분석결과로서 용사 직후의 것과 비슷하다.

이러한 실험을 통해 세라믹층에는 산화물과 기공이 함유되어 있기 때문에 공기 분위기중에서 가열되면 본드 코팅이 쉽게 산화됨을 알 수 있다. 공기 중의 산소는 세라믹층과 본드 코팅층 내부에 존재하는 검은 부분의 γ - Al_2O_3 과 NiO등의 산화물을 통해 쉽게 확산해 갈 수 있기 때문에 소재와 본드 코팅의 계면이 더욱 산화가 촉진되고, 본드 코팅으로 확산되어 온 Fe와 반응하여 산화물을 형성한다. 이와 같은 산화물은 당연히 코팅제품의 내구성을 저하시키므로, 본드 코팅층의 산화물 형성을 억제하는 방법을 연구하거나 산소의 확산을 억제시키는 합금성분을 첨가하면 내구성이 개선될 것이다.

4. 결 론

산소-아세틸렌 가스 용사법을 이용하여 연강과 스테인레스강 표면에 알루미늄을 용사하여 표면 개질을 시도하였다. 소재 표면의 조도와 Ni-Al 본드 코팅층의 두께 변화에 따른 용사피막층의 접합강도와 내구성 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 세라믹 코팅의 접합강도는 소재표면의 거칠기에 의해 영향을 받으며, 거칠기가 클수록 접합강도는 증가한다.

2. 본드 코팅은 세라믹 코팅층의 내구성을 지배하며, 두께가 0.15~3.0mm 정도에서 최고의 접합강도를 나타낸다.

3. 용사시 압축공기를 사용하므로서 높은 접합강도와 치밀한 세라믹 코팅층을 얻을 수 있으며, 이때는 대부분 본드 코팅과 세라믹 코팅층사이에서 파단된다.

4. 800°C의 공기중에서 가열하면 본드 코팅층에 존재하는 산화물($r-Al_2O_3$, NiO)들은 산소의 확산을 촉진시켜 내구성을 저하시킨다.

5. 용사용 분말은 $\alpha-Al_2O_3$ 이나 용사 후는 그 일부가 변태하여 $r-Al_2O_3$ 로 되어 두 상이 공존한다. 한편 본드 코팅층에는 Ni-Al 고용체와 $r-Al_2O_3$ 의 산화물이 존재한다.

6. 내구성 시험후의 파단은 주로 소재와 본드 코팅층 사이에서 일어나며, 이 계면의 산화를 억제하는 것이 코팅재의 내구성을 개선시키는 방법이 된다.

후 기

이 논문은 1988년도 산학협동재단의 연구비 지원

에 의해 수행된 연구의 일부이며, 연구비를 지원해 준 재단에 감사의 뜻을 전한다.

참 고 문 헌

1. 石川量大, 關元治: 防食技術, 26(1777) 313
2. ファイツセラミックスハンドブック, (株)オーム社, 東京, (1986) 133
3. 蓮井淳, 北原繁, 福島孟: 溶接學會誌, 36(1967)667
4. 황선희, 이형근: 과학기술처 연구보고서, (1987)
5. 서동수: 대한금속학회지, 25(1987) 99
6. 蓮井淳, 森坦隨: 現代溶接技術大系, 15卷, 産報出版(株), 東京, (1980) 155
7. 배종규, 박경채, 정인상: 金屬表面處理, 22(1988)2
8. ASTM C 633-69(1974)634-637
9. セラミックス溶射試験方法, JIS H-8666(1980)
10. 中森正治, 原田良夫: 防食技術, 33(1984)395
11. R.L. Apps: J. Vac. Sci. Technol., 11(1974)741
12. M. Endo and S. Shimmen: Preprints of papers for 8th Inter, Thermal Spraying Confer., (1976) 492
13. N. Iwamoto, Y. Makino, N. Umesaki and S. Endo: Proceedings of 10th Inter Thermal Spraying Confer., (1983) 18
14. 關元治, 石川量大: 日本機能學會誌, 82(1979)270
15. E. Bardal, P. Molde and T.G. Eggen: Br. Corros. J., 8(1973)15
16. F.N. Longo: METCO Research Lab. Report # 107, (1967)
17. W. Milewski: Preprints of papers for 8th Inter, Thermal Spraying Confer., (1976)289
18. N.N. Auit: J. Am. Ceram. Soc., 40(1957)69