

## 가열 롤에서 플라즈마 TiO<sub>2</sub>-NiCr 용사피막의 특성

강태구\* · 진민석\*\* · 고영봉\* · 김태형\* · 조상흠\* · 박정식\*\*\* · 김종철\*\*\*\* · 박경채\*

\*경북대학교 공과대학 금속신소재공학과

\*\*한국기계연구원

\*\*\*대구보건대학 안경광학과

\*\*\*\*동명대학교 공과대학 기계공학과

### Characteristics of Plasma Sprayed TiO<sub>2</sub>-NiCr Conductive Heating Roll Coatings

Tae-Gu Kang\*, Min-Seok Jin\*\*, Young-Bong Ko\*, Tae-Hyung Kim\*, Sang-Hum Cho\*,  
Jung-Sik Park\*\*\*, Jong-Chul Kim\*\*\*\* and Kyeong-Chae Park\*

\*Dept. of Materials Science and Metallurgy, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

\*\*Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon 641-010, Korea

\*\*\*Dept. of Ophthalmic Optics, Daegu Health College, Daegu 702-722, Korea

\*\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea

#### Abstract

The heating unit of direct heating method manufactured as the plasma spray coating of TiO<sub>2</sub>/NiCr conductive heating material on the surface of heating unit in order to improve the disadvantages of indirect heating method. TiO<sub>2</sub> and NiCr (80wt.%Ni-20wt.%Cr) that had the properties of conduction and heating was chosen for the conductive heating material. The compositions of the composite powders were studied TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr and TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr.

As the heating temperature was increased, the hardness of heating layer was increased because of the fine microstructure and the decrease of porosity. The adhesion strength was decreased for coarsening and connection of voids in the insulation layer, and the electrical resistivity of heating layer was increased for fine crack formation and growth.

In this study, the best efficient sprayed coatings with heating unit was concluded as the plasma sprayed TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr coatings that was heat treated at 300 °C.

\*Corresponding author : kcpark@knu.ac.kr

(Received August 30, 2006)

Key Words : APS (Atmospheric plasma spray), Heating unit, Adhesion strength, Electrical resistivity, Composite powders

#### 1. 서 론

기존의 레이저 프린터나 복사기의 히터롤에 사용되는 발열체는 히터롤 내부에 발열 할로겐 램프를 사용하여 복사 발열하는 간접 발열방식이 주를 이루고 있다. 이러한 간접 발열방식의 발열체는 요구하는 온도까지의 긴 예열시간, 많은 전력소모, 구성부품 수의 증가 등의

단점을 가지고 있다<sup>1)</sup>. 이같은 단점을 보완하기 위해 전도성 발열 재료를 발열체 표면에 용사 코팅하여 직접 발열방식의 발열체를 제조하는 방법이 시도되고 있다<sup>2)</sup>. 발열 용사피막을 이용하면 직접 발열방식이므로 초기 장비 가동시 예열시간이 단축되고, 발열체 구성부품 수의 감소와 사용 목적에 따른 다양한 형태의 제조가 가능한 장점이 있다.

플라즈마 용사는 다양한 종류의 피막을 형성할 수 있

어 적절한 피막재료를 선택할 경우 내식성, 내열성, 내마모성 및 전기적 특성 등에서 탁월한 효과를 얻을 수 있다<sup>3-5)</sup>. 그러나 내식성, 내열성, 내마모성 용사 피막에 대한 연구는 활발히 이루어진 것에 비해, 전기전도성에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다<sup>6)</sup>.

본 연구에서는 가열 룰에서 용사피막의 구비조건인 발열성 및 전기전도성과 높은 내마모성을 가지는 용사 재료로서, 우수한 전기 전도성의 성질을 가지는 TiO<sub>2</sub>를 선정하였다. 여기에 발열특성을 향상시키고자 저항발열체 재료인 NiCr (80wt.%Ni-20wt.%Cr)을 혼합하여 복합용사분말로 제조하였다. 이 분말을 알루미늄 모재에 플라즈마 용사시켜 복합용사피막을 제작하고, 열처리후의 미세조직을 관찰하고, 기계적 성질, 전기적 성질 및 발열성을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구의 플라즈마 용사 피막은 다층 피막으로, 모재 위에 본드피막, 절연피막, 발열피막 순으로 용사하여 제작하였다. 먼저, 블라스팅과 탈지 처리한 모재에 모재와 용사피막간의 접착력을 향상시키기 위해, Ni5.5Al5Mo (Ni-5.5wt.%Al-5wt.%Mo) 분말을 플라즈마 용사 본드코팅하였으며<sup>7)</sup>, 그 위에 절연을 목적으로 한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말을 플라즈마 용사코팅하였고<sup>8)</sup>, 마지막으로 자체 제조한 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr, TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr 복합 분말을 플라즈마 용사하여 발열 피막을 형성시켰다.

모재는 전기 냉난방 장치, 각종 열교환기 및 태양열 집열기 등에 사용되고 있는 공업용 Al 1100 합금<sup>9)</sup>을 사용하였고, 미세조직 관찰과 전기적 특성 평가를 위한 블록형태 (12 mm × 12 mm × 12 mm)와 피막 접합 강도 실험을 위한 봉상형태 (∅20 × 15 mm)로 기계 가공하여 사용하였다. 가공된 모재는 표면의 산화피막을 제거하고 용사피막과의 계면접착력을 향상시키기 위해 알루미늄으로 블라스팅하였고<sup>10)</sup>, 탈지처리와 이물질 제거를 위해 아세톤과 알코올로 초음파 세척하였다.

TiO<sub>2</sub>분말, NiAlMo 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말은 METCO사의 상용제품을, Ni 및 Cr 분말은 시약급을 사용하였다. 모든 원료 분말의 순도는 99 % 이상이다.

발열피막의 복합 분말의 조성분과 본드층, 절연층에 사용된 분말의 조성분과 입자의 크기는 Table 1과 같으며, 9MB 플라즈마 용사 건을 사용하여 Table 2의 조건으로 대기 중에서 용사를 실시하였다. 모든 용사에 사용된 분말은 유동성 향상과 수분을 제거하기 위해 진공 건조로에서 100 °C로 보관한 후, 사용하였다.

**Table 1** Compositions and powder sizes of spray powders for each coating layer

Layers	Materials	Compositions (wt.%)		Size (μm)
		Ni-Cr:10	TiO <sub>2</sub> :90	
Heating	TiO <sub>2</sub> /NiCr (80Ni-20Cr)	Ni-Cr:30	TiO <sub>2</sub> :70	5-60
Insulating	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 100		15-45
Bonding	Ni-Al-Mo	Ni	: 89.5	45-90
		Al	: 5.5	
		Mo	: 5.0	

**Table 2** Conditions of atmospheric plasma spray

Coting layer	Bonding	Insulating	Heating
Spray powder	Ni-5.5Al-5Mo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> /NiCr
Spray gun	Metco-9 MB		
Ar gas flow (cm <sup>3</sup> /s)	872.6	705.5	628.9
H <sub>2</sub> gas flow (cm <sup>3</sup> /s)	117.9	117.9	117.9
Spray distance(mm)	152	75	100
Spray angle (°)	90		
Arc current (A)	500		
Arc voltage (V)	70		
Powder feed rate(g/min)	190	42	64
Carrier gas flow (cm <sup>3</sup> /s)	106.1		
Coating thickness (μm)	50	200	120

용사 후 열처리하는 대기 중에서 300 °C, 450 °C, 600 °C 에서 각각 3시간 실시하였다. 열처리하는 모재와 용사피막 사이의 접착성 향상과 용사피막 결합력 강화 및 잔류응력의 제거, 기공을 감소를 위해서 실시하였다. 또한, 300 °C에서 72시간까지 장시간 열처리를 한 발열 피막의 전기저항 특성도 조사하였다.

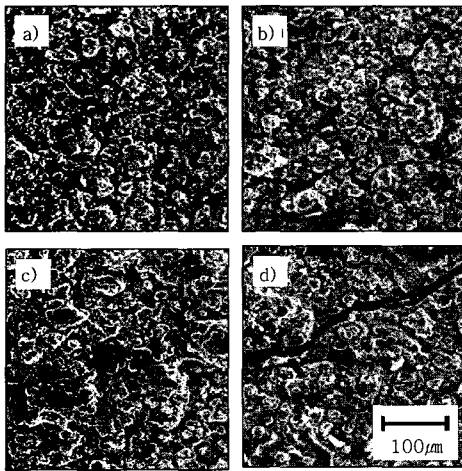
용사피막의 미세조직은 광학현미경 및 주사전자현미경으로 관찰하였고, 발열피막의 성분분포는 EDS, 생성상은 XRD 분석하였다. 그리고 기공율은 광학현미경으로 관찰한 후, 화상 분석기를 이용하여 측정하였다. 경도는 마이크로 비커스 경도기 (Shimadzu HVM-2000)를 이용하여 측정하였다. 조건은 시험 하중 200 g, 부하시간은 10초로 하였다. 모재와 용사피막과의 접합강도는 ASTM C 633-9 시험기준에 의해 측정하였다. 이때 사용한 접착제는 3M사의 DP-460이다<sup>11)</sup>. 접합강도 측정은 인장시험기 (Shimadzu UH-F 100A)를 이용하였고, 크로스헤드 이동속도를 2 mm/min으로 고정하여 상온에서 실시하였다. 전기비저항은 ASTM F 1529-94 기준에 의해 4탐침 전기비저항 측정기 (4-point probe electrical resistivity tester)를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

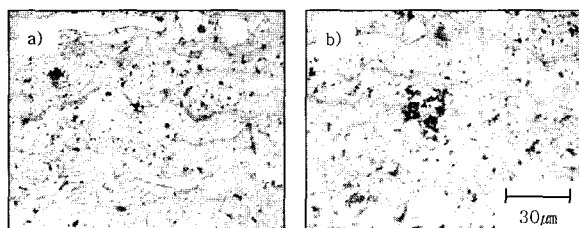
#### 3.1 발열용사피막의 미세구조

Fig. 1은 플라즈마 용사 및 이를 열처리한 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr 발열피막의 표면을 관찰한 SEM 조직 사진이다. 열처리 전 용사피막의 조직은 상당히 조대함을 볼 수 있다. 그러나, 열처리를 행한 용사피막 표면은 열처리온도가 증가함에 따라 조직이 치밀화됨을 알 수 있다. 그러나 600 °C에서 열처리한 경우는 발열피막에 균열이 발생하였다. 이것은 절연피막의 균열이 발열피막까지 성장되어 일어나는 현상으로 판단된다.

Fig. 2는 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr 및 TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr 분말을 플라즈마 용사한 발열피막의 단면 광학 조직이다. 여기서 분말이 용융 또는 반 용융되어 모체에 적층되면서 형성된 스플랫이 잘 발달된 것을 볼 수가 있다. 이런 스플랫들이 곡선 모양의 층상구조를 이루고 있어 전형적인 용사 조직이 관찰된다. NiCr의 첨가량이 많으면 그림에서 보는 바와 같이 흰 부분, 즉 NiCr의 양이 많아진다.

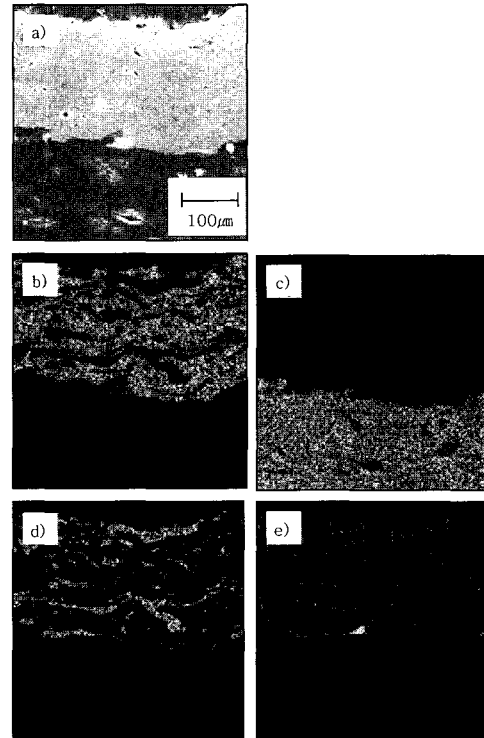


**Fig. 1** SEM surface images of TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr heating coatings according to heat treated temperatures  
a) as-sprayed, b) 300 °C, c) 450 °C, d) 600 °C

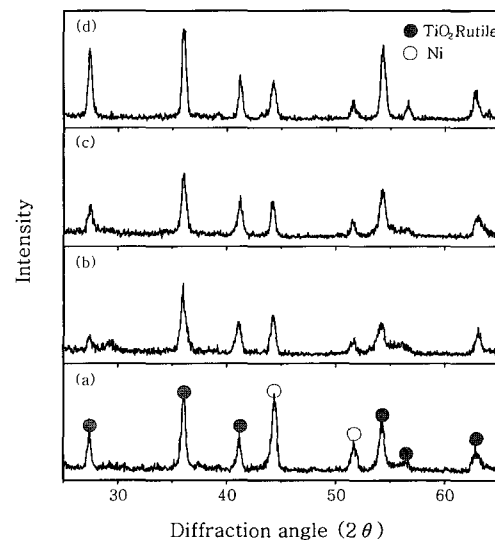


**Fig. 2** Cross-sectional optical images of heating coating.  
a) TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr, b) TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr

Fig. 3은 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr 발열피막의 단면을 EDS 면분석한 것이다. TiO<sub>2</sub>가 적층으로 넓게 존재하고, 그 사이에 NiCr이 존재하고 있다. TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr의 경우에서도 NiCr의 양의 증가만 있을 뿐 같은 결과를 확인하였다.



**Fig. 3** EDS analytical images of cross section on as-sprayed heating TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr and insulating Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating  
a) SEM image, b) Ti, c) Al, d) Ni, e) Cr



**Fig. 4** XRD patterns of TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr heating coatings (a) as-sprayed, (b) 300 °C, (c) 450 °C, (d) 600 °C

Fig. 4는 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr 발열피막의 열처리 전후의 XRD 분석 결과이다. 열처리 전후에 존재하는 상이 같음을 알 수 있다. TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr 발열피막의 경우도 같았다. 따라서 이들 발열피막은 열처리에 대해 상변화가 없이 안정한 것으로 판단된다.

### 3.2 용사층의 접합강도

Fig. 5는 각 용사층의 열처리 온도변화에 따른 단면 광학 조직사진이다. 플라즈마 용사된 본드피막, 절연피막, 발열피막의 용사층이 구분되어 잘 나타나 있다. 용사된 상태의 절연피막을 살펴보면 기공들이 피막 내에 무수히 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 기공들은 절연피막내의 밀착력을 감소시키는 원인이 된다. 하지만 용사된 상태의 용사층은 각 용사피막의 계면이 화학적 결합이 아닌 기계적 결합으로 이루어지기 때문에 계면에서의 접착력이 상당히 낮다. 300 °C에서 열처리한 경우에 열처리에 의한 조직의 치밀화로 기공이 감소하였고, 이로 인해 접합강도가 다소 향상되었다.

450 °C에서 열처리한 경우에는 기공들이 가로 방향으로 조대해지는데 이는 열처리에 의해 발열피막 조직이 치밀해져서 절연피막 내의 기공들이 발열피막을 통해 대기 중으로 빠져나가지 못해서 일어난 현상이라고 판단된다. 열처리온도가 600 °C인 경우에는 열처리온도 450 °C에서 관찰된 가로 방향의 조대해진 기공들이 서로 연결되는 현상, 수직한 방향으로 균열을 야기한 기공의 모습과 본드피막으로 침입한 기공간의 합체도 관찰된다.

초고속, 초고온의 플라즈마에 용융된 재료는 모재에 충돌하면서 모재로 열이 이동하게 되고, 급랭하면서 적층되게 된다. 적층에 의해 층간사이에는 압력을 받은

많은 기공이 존재하게 된다. 그리고 급랭되어 적층된 스플렛은 높은 잔류응력을 받게 된다. 그런 불안정한 상태의 용사피막은 약간의 에너지만으로도 응력완화가 일어나는 과정에서 조직이 치밀해지고 내부압력을 받고 있던 기공의 감소가 일어난다고 할 수 있다.

Fig. 6은 발열피막을 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr로 한 용사층의 열처리온도에 따른 접합 강도의 변화를 나타낸 것이다. 열처리온도가 증가함에 따라 접합강도 값이 감소하는 경향을 보이고 있다. 열처리 하지 않은 용사된 상태와 열처리온도를 300 °C로 한 경우는 접합강도 값의 차이가 없었으나, 열처리온도가 450 °C와 600 °C인 경우는 그 값이 현저히 감소하였다.

Fig. 7은 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr 발열피막을 형성한 용사층을 접합강도 시험 후의 시편 파단면을 관찰한 것이다. 용사층의 파단은 절연피막 내부와 절연피막과 본드피막의 계면에서 일어남을 확인하였고, 이는 용사한 상태에서는 절연피막 내부의 밀착력보다 본드피막과 절연피막의 계면사이의 접착력이 더 약하기 때문이다.

열처리온도가 300 °C인 경우에는 열처리 하지 않은 상태보다 절연피막의 일부분이 본드피막에 더 많이 접착해 있는 것이 관찰된다. 이것은 절연피막의 입자와 본드피막의 입자 사이의 결합력이 열처리에 의해 증가했기 때문으로 판단된다. 열처리온도가 450 °C인 경우는 파단면이 절연피막의 내부에서, 그리고 본드피막과 절연피막의 계면에 가까운 거리에서 일어나는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 열처리온도의 증가로 절연피막과 본드피막의 입자 사이의 결합력은 한층 증가하였으나, 미세한 균열이 생성되었기 때문이다.

열처리온도가 600 °C인 경우에는 열처리온도 450 °C에서 확인한 균열이 그물망처럼 연결된 것을 알 수가 있는데 이러한 균열로 인해 절연피막이 매우 약해졌다

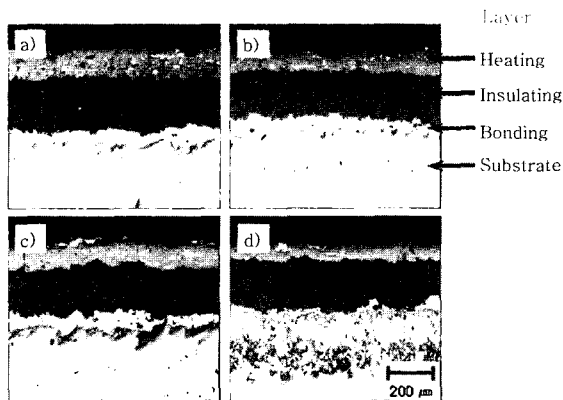


Fig. 5 Cross sectional optical images of TiO<sub>2</sub>-10wt.% NiCr of plasma sprayed coating layers at heat treated temperatures a) as-sprayed, b) 300 °C, c) 450 °C, d) 600 °C

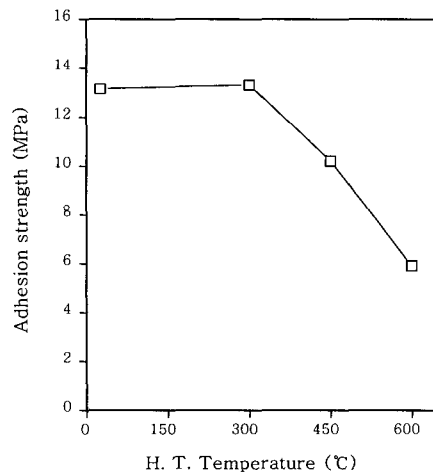


Fig. 6 Adhesion strength of plasma sprayed layers depending on heat treated temperatures

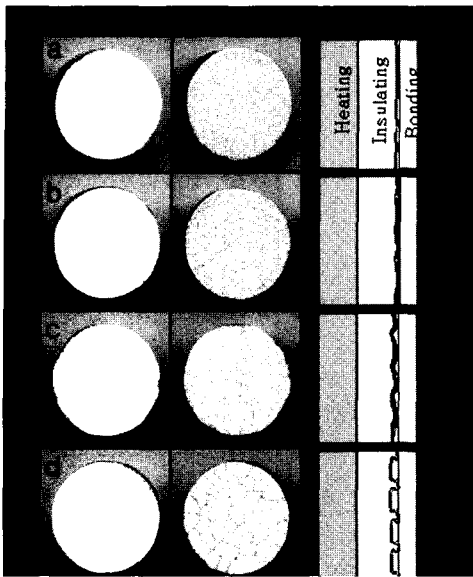


Fig. 7 Photographs and schematic diagrams of fracture surface after adhesion strength test, a) as-sprayed and heat treated temperature at b) 300°C, c) 450 °C and d) 600 °C

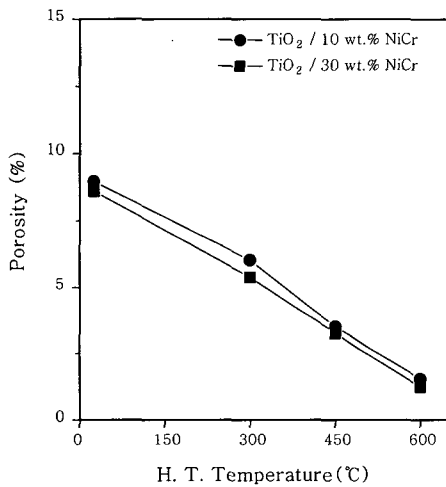


Fig. 8 Porosity of TiO<sub>2</sub>-NiCr heating coatings on as-sprayed and heat treated temperatures

고 판단된다.

Fig. 8은 TiO<sub>2</sub>-NiCr 발열피막의 열처리온도 변화에 따른 기공율의 변화를 나타낸 것이다. NiCr의 첨가량에 관계없이 열처리온도가 높아짐에 따라 표면으로의 기공 배출로 인해 기공률이 급격히 감소하였다. 10wt.%NiCr을 첨가했을 때보다 30wt.%NiCr을 첨가했을 때가 다소 기공률이 감소하였다. 이는 용융점(1625 °C)이 더 낮은 NiCr의 양이 더 많이 첨가되어 미 용융 입자가 감소하고 용융된 NiCr에 의해 기공이 메워진 것으로 판단된다.

Fig. 9는 열처리온도 증가에 따른 절연피막의 기공율 변화를 보여주고 있다. 열처리온도의 증가에 따라 절연 피막의 기공률이 감소하나, 열처리 온도증가에 따라 완만히 감소됨을 알 수 있다. 이것은 열처리온도가 높아짐에 따라 절연피막 내부의 기공들은 밖으로 배출되나, 절연층 내부의 기공들은 표면의 발열피막의 치밀화로 인해 밖으로 배출되기가 용이하지 않기 때문이다.

Fig. 10은 열처리 시에 각 피막에서 기공들의 거동을 모식화한 것이다. 절연층 내부의 기공들이 본드피막과 발열피막의 계면으로 이동하게 되어 기공이 감소하

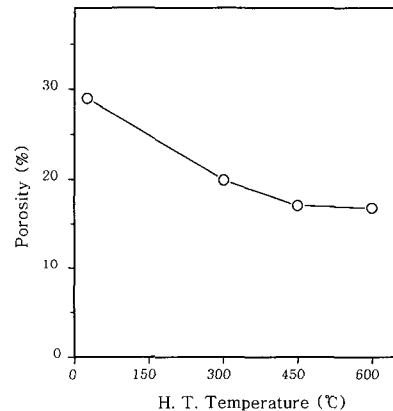


Fig. 9 Porosity of insulating layers depending on as-sprayed and heat treated temperatures

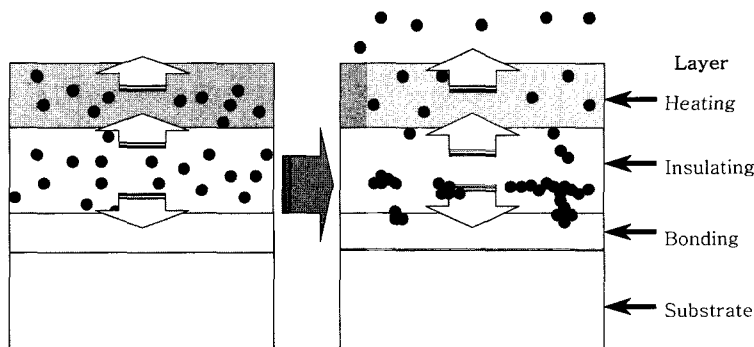


Fig. 10 Schematic diagram on the movement of pores during heat treatment in plasma sprayed layers

나, 열처리 온도가 증가하면 발열피막이 치밀화되어 기공이 외부로 빠져나가지 못하고 절연피막의 내부에서 기공의 조대화 및 합체현상이 일어난다.

### 3.3 발열 용사피막의 경도, 전도성 및 발열성

Fig. 11은 TiO<sub>2</sub>-NiCr 발열피막의 경도를 나타낸 것이다. 이 값들은 상당히 높은 것으로 판단된다<sup>6)</sup>. 30wt.%NiCr 첨가된 발열피막의 경도값이 10wt.%NiCr 첨가된 발열피막의 경도값보다 더 낮은 것을 알 수 있다. 이는 TiO<sub>2</sub>의 경도에 비해 낮은 경도를 갖는 NiCr의 첨가량이 많기 때문이라고 판단된다. 또한, 열처리 온도가 높아짐에 따라 경도값이 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이것은 열처리에 의해 발열 용사피막 내의 기공이 감소하고, 조직이 치밀해졌기 때문으로 사료된다.

Fig. 12는 열처리에 따른 발열 용사피막의 전기 비저항값을 나타내었다. 발열피막 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr인 경우, 열처리 전의 전기비저항 값은 저항 발열체인 니크롬의 전기비저항 값보다는 상당히 높고, 열처리온도가 높아질수록 전기 비저항 값이 증가하는 경향을 보이고 있다. 300℃로 열처리한 발열 용사피막의 전기비저항 값은 열처리를 하지 않은 용사피막과 거의 비슷한 값을 나타내고 있으나, 450℃로 열처리한 경우는 매우 증가하였고, 600℃로 열처리한 경우는 부도체의 값을 보여주고 있다. 이것은 앞서 조직관찰에서 언급한 것과 같이 열처리온도 450℃ 이상에서는 열처리로 인해 기공의 조대화 및 균열 발생에 기인한다고 판단된다. 이러한 기공의 거동은 TiO<sub>2</sub>의 전기전도를 방해하면서 전기비저항 값을 급격히 높이고 있다고 여겨진다.

발열피막이 TiO<sub>2</sub>-30wt.%NiCr인 경우는 TiO<sub>2</sub>-

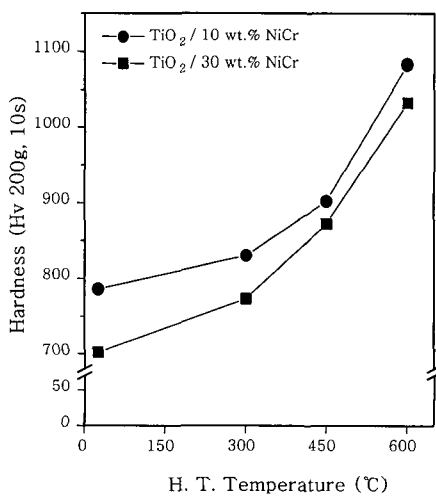


Fig. 11 Hardness of TiO<sub>2</sub>-NiCr heating coatings according to as-sprayed and heat treated temperatures

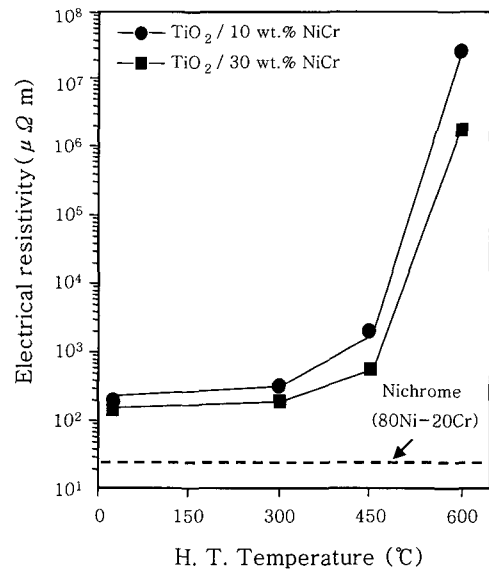


Fig. 12 Electrical specific resistivity of TiO<sub>2</sub>-NiCr heating coatings on as-sprayed and heat treated temperatures

10wt.%NiCr에 비해, NiCr량의 증가에 의해 전기 비저항값이 낮았고, 열처리온도의 증가에 따라 TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr의 경우와 비슷한 양상을 보이고 있다. 하지만 NiCr의 첨가량에 변화에 따른 비저항 값의 변화는 크게 나타나지 않았다.

Fig. 13은 TiO<sub>2</sub>-NiCr 발열피막을 300℃에서 열처리 시간의 변화에 따른 전기비저항 값의 변화이다. TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr과 TiO<sub>2</sub>-30wt.% NiCr 모두 300℃에서 열처리시 안정한 조직이 유지되어 72시간까지 열처리하여도 발열 피막의 전기비저항은 초기값과 변함없이 일정한 값을 나타내었다. 또한, TiO<sub>2</sub>-10wt.%NiCr의

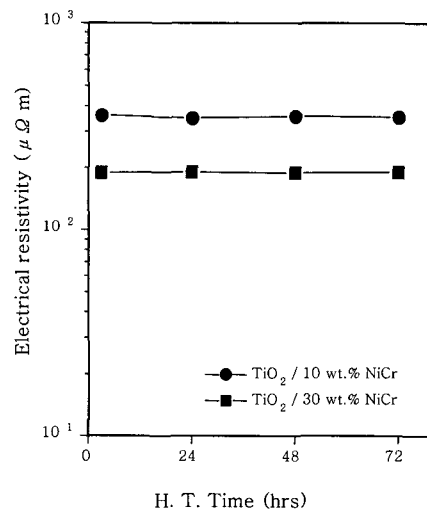


Fig. 13 Electrical specific resistivity of heating coatings on heat treated times at 300℃

경우가  $\text{TiO}_2$ -30wt.%NiCr 보다 다소 높은 전기저항 값을 나타내었다. 따라서, 용사피막을 실제 가열률에 응용하여 발열시켰을 때, 300 °C까지는 우수한 전기적 안정성을 가질 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄 모재에 본드피막으로 Ni5.5Al5Mo 분말을, 절연피막으로  $\text{Al}_2\text{O}_3$  분말을, 전도성을 가지며 전기비저항이 큰 특성을 나타내는  $\text{TiO}_2$ -NiCr 복합분말을 각각 플라즈마 용사하여 용사층을 제조하고, 열처리 전후의 미세조직 관찰, 기계적 성질 및 전기적 성질을 조사 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

$\text{TiO}_2$ -NiCr 발열피막은 열처리온도가 증가함에 따라 경도값이 상당히 높은 값을 가지며 증가하였다. 이는 발열피막에 존재하는 기공의 감소와 조직의 치밀화에 의한 것으로 판단된다. 300°C 열처리온도에서는 조직의 치밀화로 인해 전기비저항 값이 안정적이고 접합강도도 우수했으나, 열처리온도 600°C인 경우에는 기공 성장에 의한 균열로 인해 부도체가 되고, 접합강도도 매우 낮았다.

본 연구의 실험조건에서 경도, 접합강도, 전기적 특성을 종합적으로 평가한 결과,  $\text{TiO}_2$ -10wt.%NiCr 발열피막을 300 °C에서 열처리한 경우가 최적의 안정성 및 효율성을 가지는 발열 용사피막으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. D. P. H. Smith and J. C. Anderson : *Electro-component Science and Technology*, **7** (1988), 125-129
2. R. Shibata and T. Iimura : *Hitachi Metals Review*, **1-1** (1987), 31-35
3. S. Safai and H. Herman : *Mater. Sci. Tec.*, **20** (1981), 183
4. T. Bernecki : *Thermal Spray Technology*, ASM Intern., 1992, 186
5. 대한용접학회 편 : 용접·접합 편람, 대한용접학회, 1998, 743(in Korean)
6. T. H. Kim, K. H. Kwon and K. C. Park : *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, **41-5** (2003), 321-325 (in Korean)
7. Y. Arata, A. Ohmori and E. Gofuku : *J. of High Temperature Society*, **10-6** (1989), 228-234
8. H. K. Lee, D. H. Kim and C. S. Yoon : *J. of The Korean Welding Society*, **18-6** (2000), 96-101 (in Korean)
9. 韓鳳熙 譯 : *金屬材料*, 半島出版社, 改訂版, 1994, 173 (in Korean)
10. METCO : *Thermal Spraying Coating*, I.W.S. Co., 1990, 39
11. B. M. Yang, E. S. Byon and K. C. Park : *J. of The Korean Welding Society*, **18-5** (2000), 98-104 (in Korean)