



## 초고속화염용사법으로 제조된 Ni-Cr-W-Mo-B 합금 코팅의 미세조직과 특성에 미치는 열처리 효과

민 경 오\* · 이 창 회\*\*

\*한양대학교 공과대학 금속공학과

\*\*세라믹공정연구센터(CPRC)

### Effect of Heat Treatment on the Microstructures and Properties of HVOF Sprayed Ni-Cr-W-Mo-B Alloy Coatings

Kyeng-O Min\* and Chang-Hee Lee\*\*

\*Dept. of Metallurgical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

\*\*Ceramic Processing Research Center (CPRC), Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

#### Abstract

The corrosion properties of Ni-Cr-W-Mo-B alloy sprayed by the high velocity oxy-fuel spraying (HVOF) was studied as a function of heat treatment by using both potentiodynamic polarization and immersion tests in the  $H_2SO_4$  solution. The mechanical property was also evaluated by a microhardness tester. Microstructural characteristics of the as-sprayed and annealed coatings at 550, 750 and 950°C have been analyzed by means of OM, XRD, SEM and TEM.

The results showed that the corrosion resistance was improved by increasing the annealing temperature. As-sprayed coating had metastable and heterogeneous phases such as amorphous, nanocrystalline and very refined grain and precipitates, which induced a localized corrosion. The localized corrosion occurred preferentially at the unmelted particles which were composed of Ni matrix and Cr, W and Mo riched phase segregated in the boundaries. As annealing temperature was increased, the microstructure had shown some changes - reduction of porosity and splat boundary, decomposition and crystallization of amorphous/nanocrystalline phases, grain coarsening, formation and growth of precipitates such as  $M_{23}C_6$  and  $M_7C_3$ . In addition, the compositional difference between matrix and boundary phases gradually disappeared, which changed the corrosion type from localized corrosion to general corrosion and thus enhanced corrosion resistance.

(Received June 19, 2000)

Key Words : Corrosion resistance, Ni-Cr-W-Mo-B alloy, HVOF spraying, Post heat treatment, Anodic polarization test, Immersion test

#### 1. 서 론

내식 및 내마모 열용사법은 주로 코팅 특성이 우수한 초고속화염용사법(High Velocity Oxy-fuel spraying)을 이용하고 있는데 초고속화염용사법(HVOF)은 산소와 수소, 아세틸렌 등의 연료가스를 혼합하여 연소시켜 분말을 용융시킨 후 고속으로 모체에 분사하는 방법으로서, 1200-1800m/s의 매우 빠

른 입자 속도를 가지기 때문에 기공이 거의 없는 (<1%) 치밀한 조직을 가지며 결합력도 매우 높게 나타난다. 또한 대기중 플라즈마 용사법(APS)에 비하여 화염의 온도(약 2700°C)가 높지 않기 때문에 산화물의 함량도 적게 나타나는 것이 특징이다<sup>1)</sup>.

최근에 내부식 용사코팅은 용사 공정시 필연적으로 나타나는 기공, splat boundary, 미용용 입자 그리고 미세 균열과 같은 결함을 줄이기 위해 용사공정 자체를 변화시키는 방법 이외에 용사 후에 레이저, HIP,

sealing 그리고 로열처리 등과 같은 후처리를 통해서 기공을 감소시키고 조직을 치밀화시킴으로써 내식성을 향상시키고 있다. 이 중에서 로열처리법(furnace heat treatment)이 간편성, 경제성 등의 이유로 가장 널리 사용되고 있다<sup>2)</sup>. 또한 최근 들어 Fe 기지의 비정질 용사코팅을 제조하여 내식성을 향상시키고 있는데 이러한 비정질 용사코팅 조직은 일반적으로 열처리에 의해서 내식성이 저하되는 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 따라서 초기 as-sprayed 상태가 어떤 조직특성을 가지는지 정확하게 파악하고 분석하는 것은 중요하다고 할 수 있다. 국내에서 용사 후처리는 주로 NiCrSiB 등과 같은 자용성 합금에 대한 열처리와 내마모성과 같은 기계적 성질의 변화에 대한 연구가 일부 수행되고 있으나 비자용성합금에 대한 열처리 및 내식성과 관련된 연구는 아직까지 미흡한 실정이다<sup>4)</sup>.

따라서 본 연구는 NiCrWMoB 합금 분말을 HVOF 법으로 용사한 후 몇 개의 온도에서 로열처리를 실시하여 이 열처리 효과에 따른 미세조직의 변화를 관찰하고 내식성과 경도 등의 용사코팅의 화학적, 기계적 특성 변화를 살펴보았다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용사재료 및 초고속화염용사

초고속화염용사에 사용된 재료는 Ni-Cr-W-Mo-Cu-C-B 합금으로서 Table 1에서처럼 W, Mo 등의 refractory 원소에 의해서 내마모 성질이 우수하고 B, C 등의 비금속을 함유하고 있어 비정질(amorphous) 및 미세결정조직(microcrystalline)이 나타나 내식성 또한 우수한 재료로 알려져 있다<sup>5)</sup>. 분말은 water atomization 법으로 제조되어 내부기공이 함유된 불

규칙한 구형 모양이며 분말 입도는  $75\mu\text{m}$  이하로 조절하여 용사에 적합하도록 하였다. 탈지된 SS41( $50\times 25\times 5\text{mm}$ )모재와 코팅층의 결합력을 향상시키기 위하여 모재 표면에 알루미늄 그릿(-30+80 mesh)으로 블라스팅(blasting)을 실시하였다. 용사코팅은 DJ-2600 초고속화염용사기를 이용하였으며 산소-수소 연료를 사용하였으며 용사코팅에 사용된 공정변수는 Table 2와 같고 코팅 두께는 약  $250\sim 300\mu\text{m}$  로 조절하였다. 용사후 열처리는  $10^{-3}$  torr의 진공로에서 550, 750, 950  $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 2시간동안 실시하였다.

### 2.2 코팅조직 관찰 및 분석

용사 코팅층에 노출된 기공은 노출 표면적의 증가와 국부 부식을 일으키는 요인으로 작용한다. 각 코팅층의 단면 및 표면의 광학현미경사진과 영상분석기(Image Analyzer)를 이용하여 as-sprayed 및 후열처리한 코팅시편에 대한 기공도 변화를 측정하고 코팅층의 거시적인 조직을 관찰하였다.

분말 및 as-sprayed 상태의 상과 열처리 후의 상변화를 관찰하기 위한 XRD 분석은 Cu ( $K\alpha=1.5406\text{ \AA}$ ) 타겟을 사용하였으며 가속 전압과 전류는 각각 40 kV와 100 mA 이었다. 그리고  $2\theta$ 를  $20\sim 100^{\circ}$  구간에서  $5^{\circ}/\text{min}$ 의 주사속도(scanning speed)로 측정하였다.

용사코팅층의 미세조직 관찰을 위한 투과전자현미경은 EDS가 장착된 JEM-2010 모델을 사용하였다. 시편 제작은 먼저 코팅층을 모재로부터 떼어낸 후 emery paper로 거친 연마와  $1\mu\text{m}$  diamond paste로 미세 연마과정을 거친 후 3mm disc로 형태로 만든 후 전해연마를 실시하였다. 전해액은 20% perchloric acid + 80% methanol을 사용하였으며

Table 1 Chemical composition of NiCrWMoB alloy powder

Composition	Cr	W	Mo	Cu	C	B	Fe	Ni
wt%	21.5	10.0	8.6	3.8	1.0	0.9	0.5	bal

Table 2 Parameters for HVOF spraying

Gas	HVOF		
	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Air
Pressure(psi)	140	170	90
Flow rate(FMR)	63	32	46
Spraying rate(g/min)	38		
Carrier gas flow (SCFH)	28.5		
Spray distance(mm)	220		

전해액의 온도는  $-25^{\circ}\text{C}$  이었으며 25V의 전압 하에서 전해 연마를 실시하였다. 이 후 Ion miller를 이용하여 부식된 부위를 제거하면서 thinning을 한 후 조직을 관찰하였다. 부식 실험 전의 분말과 as-sprayed 그리고 각 온도에서 열처리한 코팅층의 단면과 표면조직은 Kalling's etchant(20ml 염산 + 20ml 에탄올 + 2g  $\text{CuCl}_2$ )으로 에칭하여 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였으며 EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)와 EDS (Energy dispersive spectroscopy)를 이용하여 에칭된 미세조직을 분석하였다.

### 2.3 부식 실험

부식실험은 전기화학적 거동을 관찰하기 위한 양극분극곡선실험(anodic polarization curve test)과 부식속도를 측정하기 위한 침지실험(immersion test)을 실시하였다. 양극분극실험에서는 전류밀도(icorr)와 부식전압(Ecorr)을 비교하였는데 실험장치는 기준전극으로 saturated calomel electrode (SCE), 보조전극으로 graphite rod를 이용하여 구성하였다. 실험전처리로 코팅시편의 표면은 SiC paper #600으로 연마하여 모든 시편의 표면조도를 일정하게 하였고 분극곡선실험전에 open circuit 상태에서 상온의 1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  용액에서 약 30 분 동안 노출시켜 자연부식전위에 도달하게 한 후에 1mV/sec 주사속도로 전압을 높이면서 양극분극곡선실험을 실시하였다.

As-sprayed 및 열처리한 각 시편에 대한 부식속도와 부식 경향을 분석하기 위해서 침지실험을 실시하였다. 모재로부터 기계적으로 분리된 코팅층(free standing)을 70°C의 5M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  용액(pH=0.34)에 128시간동안 장입하였다. 부식 속도의 측정은 ASTM G31-72를 참고로 하였으며 아래식과 같은 무게감량법을 이용하였다. 또한 침지실험 중 각 시편에서 용출되는 주요 금속이온의 양을 ICP(Inductively Coupled Plasma)로 측정하여 부식속도와와의 관계를 살펴보았다.

$$\text{Corrosion Rate (mpy)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

K : 상수( $K = 3.45 \times 10^6$ ) T : 장입시간(hour)

A : 노출면적 ( $\text{cm}^2$ ) W : 무게 감소량(g)

D : 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### 2.4 미소 경도

후열처리한 용사코팅층의 기계적 성질은 미소경도 실험을 통해서 평가하였는데 Shimadzu 사의 micro-vickers hardness tester를 이용하여 300g 하중으로 10초간 유지하여 측정하였으며, 각 시편당 10회 측정하여 최대값과 최소값은 버리고 나머지 값의 평균을 구하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 조직 분석 결과

#### 3.1.1 기공도 및 미세조직

Fig. 1과 2는 각 용사코팅시편의 광학단면사진과 기공도의 변화를 측정한 결과이다. 열처리 영향으로 as-sprayed에서 약 2%의 기공도는 950°C에서는 1% 이하로 감소함을 보여주고 있다. 이처럼 기공도가 감소하는 이유는 고온 열처리에 의해 원래 분말 내부에 존재하거나 용사 공정중에 발생한 기공(trapped pore)이 소결(sintering)효과로 코팅층 외부로 빠져나가 소멸하였기 때문이며 또한 splat간에 상호 확산에 의해서 splat 경계가 사라지면서 조직이 치밀해졌기 때문으로 보인다. 이러한 상호확산은 950°C에서 열처리한 시편에서 두드러지게 나타났는데 EDS 분석 결과 모재와 코팅층간에도 서로 확산이 일어났음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3(a)~(d)는 각각 분말 및 as-sprayed 그리고 후열처리한 코팅의 SEM 에칭조직이다. 초고속화염용 사법은 화염의 온도가 높지 않고 속도가 빠르기 때문

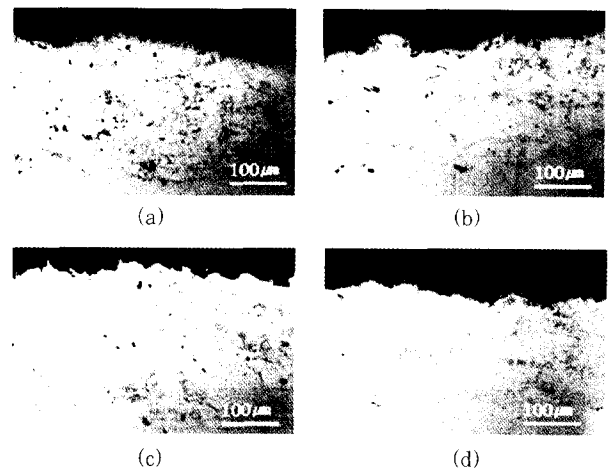


Fig. 1 Optical micrographs of (a) as-sprayed and temperature annealed coatings at (b) 550°C (c) 750°C (d) 950°C

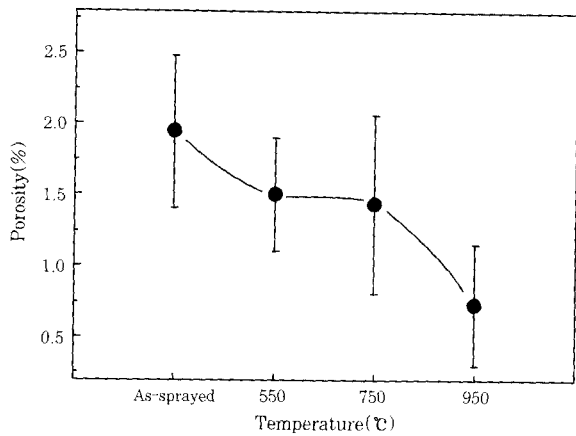


Fig. 2 Porosity of as-sprayed and annealed coatings

에 분말이 완전히 용융되지 못하고 미용융입자나 부분 용융된 입자상태 대로 적층될 확률이 높다. 따라서 그림에서 처럼 (a)분말과 (b) as-sprayed 미세조직은 서로 유사하게 나타나게 된다. EPMA를 통해 분석한 결과 (e)~(f) 처럼 Fig. 3(b)의 A 영역은  $\gamma$ -Ni 고용체의 기지를 그리고 그 주변의 B 영역은 Cr, W, Mo 원소가 풍부하고 공정조직과 유사한 조직을 나타내고 있다. 이러한 조성의 불균일은 water atomization 법으로 제조된 분말 또는 용사시 급속 응고에 의한 비평형 응고에 의해 모든 원소가 완전히  $\gamma$ -Ni 고용체를

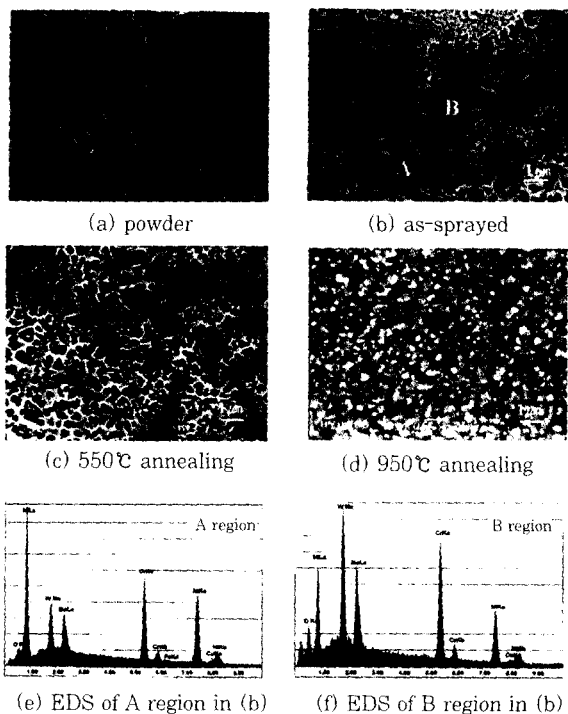


Fig. 3 SEM micrographs of (a) powder (b) as-sprayed and (c)(d) annealed coatings(550, 950°C) (e)(f) EDS results of A and B region in (b)

이루지 못하고 Cr, W, Mo 등과 같은 bcc 원소들이 boundary 에 편석되어 공정상과 유사한 조직을 나타내는 것으로 판단된다. 후열처리에 의해 이러한 조직은 변하는데 (d)에서처럼 950 °C 고온에서 열처리를 한 경우 흰반점의 석출상이 기존의 boundary 영역에서 발생하게 되고 다른 코팅층에 비해 예칭이 잘 안됨을 알 수 있다. 이는 후열처리를 통해서 석출물은 카바이드 형성원소(Cr, W, Mo 등)가 풍부한 boundary 지역에서 쉽게 발생하게 되고 기지의  $\gamma$ -Ni 고용체와 boundary상에 존재하는 원자들의 확산에 의해서 두 상간의 조성차이가 완화되었기 때문으로 사료된다.

### 3.1.2 상분석

Fig. 4는 분말과 as-sprayed 그리고 후열처리된 용사 코팅층의 X-선 회절분석결과이다. 초기 분말상은  $\gamma$ -Ni의 fcc 고용체상과 Cr, W, Mo 등으로 이뤄진 상으로 구성되어 있다. 초기 분말은 비정질상이 아닌 완전한 결정상임을 알 수 있으나 용사공정을 거치면서 피크가 약간 넓어짐을 볼 수 있는데, 이는 서론에서 언급한 비정질 코팅으로 판단하기는 힘들고 용사공정시 발생하는 급속응고에 의해 결정의 미세화 또는 매우 국부적인 영역에서의 비정질화에 기인한 것으로 판단된다. 후열처리 온도가 증가함에 따라 피크는 결정립 성장 및 결정화에 의해 좁고 날카롭게 나타나고 750°C 부터는 고온 평형 안정상인  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$  등과 같은 카바이드계 석출물이 생성되었다.

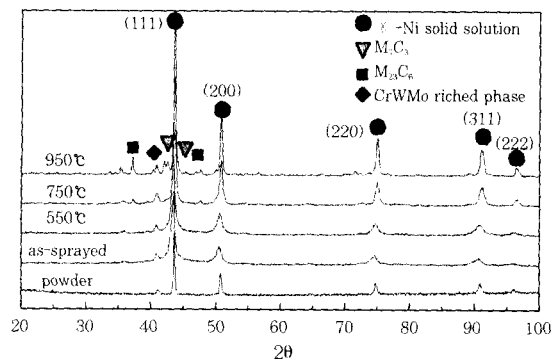


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of powder, as-sprayed and heat treated coatings

### 3.1.3 투과전자현미경 분석

Fig. 5는 각 코팅층의 투과전자현미경 조직으로서 Fig. 5(a)(b)에서처럼 as-sprayed 의 조직은 국부적인 비정질과 나노결정입자 그리고 미세한 결정립 등 다양한 조직과 상이 존재하는 매우 불균일한 조직임을 알 수 있다. (a)의 아래 부분은 비정질이 존재하는 지역이며 위부분은 수십 나노크기의 결정조직으로 구성

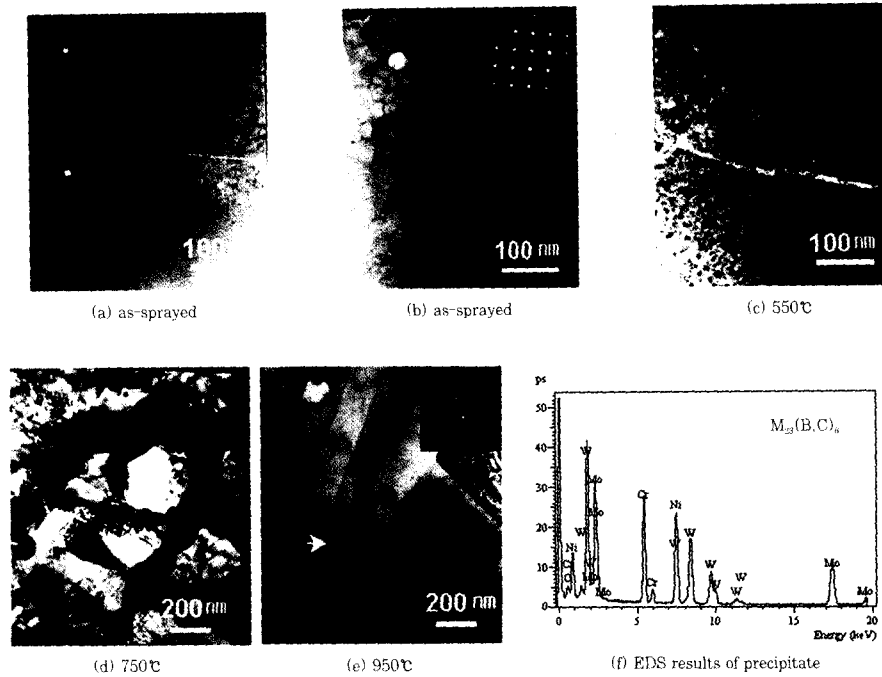


Fig. 5 TEM micrographs and SADP of (a)(b)as-sprayed and (c)~(e)each coating annealed at 550, 750 and 950°C (f) EDS results of precipitate in (e)

되어 있음을 알 수 있으며 (b)는 Ni 기지로서 매우 미세한 결정립 조직을 나타내고 있다. 초기의 분말은 용사공정을 거치면서 급속응고에 의해 비정질이나 미세 결정의 조직을 나타낸다. 하지만 이러한 비정질이나 미세 결정조직은 열적으로 불안정하기 때문에 계속 적층되는 용융입자에 의한 어닐링효과에 의해 재결정 등이 일어나 비정질이 결정화되거나 분해되어 용사코팅층내에는 매우 국부적으로 존재하게 된다. 따라서 as-sprayed 는 이러한 여러 가지 상들이 혼합된 준안정한 코팅층을 형성하는 것으로 사료된다. (c)~(e)은 각각 550, 750, 950°C에서 열처리한 코팅층의 특징적인 조직을 나타내는데 (c)는 as-sprayed 상태에서 국부적으로 생성된 비정질영역에서 새로운 결정상이 핵생성되거나 이미 존재하고 있던 나노결정상들은 성장을 하고 있음을 보여 주고 있으며 (d)는 결정성장 및 결정립계에서  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$  형태의 석출물이 생성됨을 알 수 있으며 (e)는 결정립과 석출물이 조대화되고 있음을 보여 주고 있다. (f)는 석출물에 대한 EDS 분석 결과로서 석출물은 주로 W, Cr, Mo 로 이뤄진 carbide/boride 임을 알 수 있다.

### 3.2 부식실험결과

#### 3.2.1 양극분극실험

Fig. 6은 1M  $H_2SO_4$  용액에서의 용사코팅시편의 양

극분극곡선이다.

후열처리 온도가 증가할수록 부식 전위( $E_{corr}$ )는 점점 증가하고 활성화 영역에서의 전류 밀도값( $i_{corr}$ )은 점점 감소하는 경향을 나타내는데 이는 자연 내식성이 향상됨을 의미한다. Table 3은 양극분극실험에서 나타난 부식전위  $E_{corr}$  과 활성화 영역에서의 부식 전류밀도  $i_{corr}$  값을 나타내었다. 이처럼 후열처리 온도가 증가함에 따라 내식성이 향상되는 이유는 미세조직 측면에서 먼저 기공도의 감소와 조직의 치밀화에 의해서 부식용액과 반응할 수 있는 유효 표면적의 감소 그리고 열처리에 의해 기지와 공정조직으로 분리되었던 불균일한 조직이 화학적으로 균질화가 이뤄졌기 때문으로 판단된다.

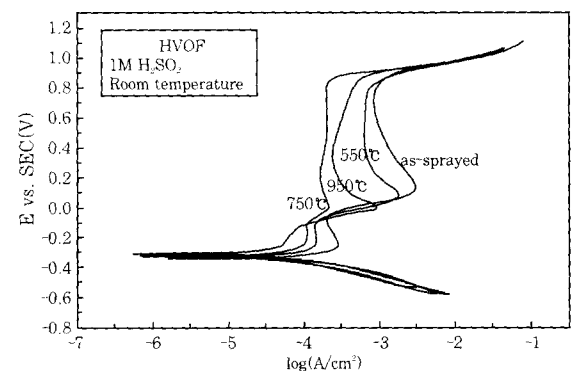


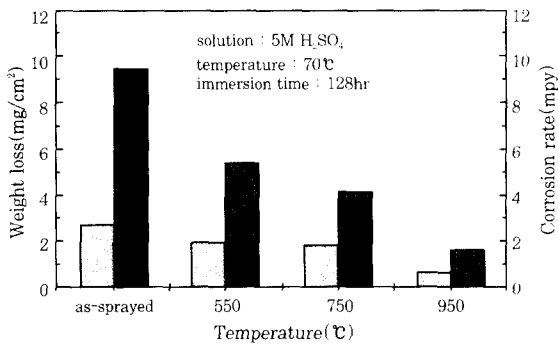
Fig. 6 Potentiodynamic anodic polarization curves of HVOF sprayed coatings in 1M  $H_2SO_4$  solution

**Table 3** Corrosion potential and corrosion current density of HVOF coatings and base metal

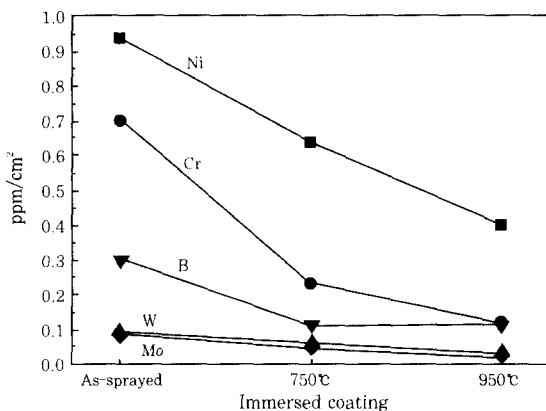
Annealing temperature(°C)	E <sub>corr</sub> (V/SCE)	I <sub>corr</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )
as-sprayed	-0.3343	0.584
550	-0.3247	0.199
750	-0.3216	0.082
950	-0.3041	0.067
substrate	-0.4725	2.124

3.2.2 침지실험

70°C의 5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 넣고 128시간동안 침지 실험하여 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다. 열처리 온도가 증가할수록 무게 감소량은 줄어들고 부식 속도도 감소함을 보여주고 있다. 양극분극실험과 동일한 결과를 나타내었다. Fig. 8은 침지실험 중에 용출되어 나오는 주요 합금 원소의 양을 후열처리 온도변화에 따라 분석한 것이다. as-sprayed 상태에서는 기지를 구성하고 있는 주로 Ni, Cr 원소의 용출량이 가장 많았고 후열처리 온도가 상승함에 따라 점점 감소하고 있다. 이것은 Fig. 7의 부식속도 감소와 직접적으로 관련이 있으며, 반면에 주로 boundary에 공정상 또는



**Fig. 7** Weight loss and corrosion rates after immersion test

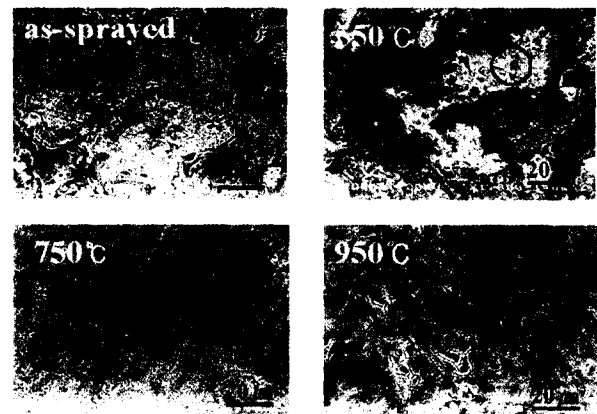


**Fig. 8** Amount of elements dissolved in solution during immersion test

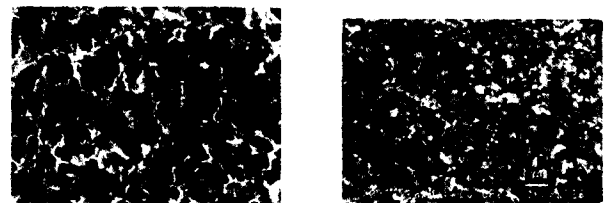
석출물 형태로 존재하는 W, Mo 은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.2.3 부식시편분석

Fig. 9는 양극분극실험을 한 각 용사코팅층의 표면에 대한 SEM 사진으로 열처리 조건에 따라 다른 부식 경향이 나타남을 보여주고 있다. 즉 as-sprayed와 550°C에서는 국부 지역에서(그림에서 화살표) 우선적으로 부식이 진행되었다. 한편 750, 950 °C 에서 열처리한 시편의 경우는 국부적인 부식보다는 표면전체가 균일하게 부식이 일어나는 전면 부식(general corrosion) 형태를 나타내었다. 이는 기공도나 조직적인 치밀화 영향뿐만 아니라 열처리에 의한 미세조직 변화가 부식 형태에도 영향을 미치는 것으로 보인다. 다시 말해 as-sprayed의 부식은 미용융 분말지역에서 두드러지게 나타나는데 미용융된 입자내에는 Cr, W, Mo 이 풍부한 지역과 Ni 고용체 기지로 분리되어 있는 화학 조성적으로 불균일하기 때문이다. 마찬가지로 침지실험 후의 부식 현상도 전기화학실험 후와 동일하였다. Fig. 10은 Fig. 9에서 부식된 코팅 표면을 확대한 사진으로, Fig. 10(a)는 에칭 조직과 마찬가지로 boundary 보다는 내부의 기지가 우선적으로 부식이 발생하였음을 알 수 있다. 즉 boundary 에서는 Cr, W, Mo 원소가 기지보다 더 함량이 높아 전기화



**Fig. 9** SEM micrographs of corroded specimen after anodic polarization curve tests



**Fig. 10** Magnified SEM micrographs of corroded surfaces(black circle) in Fig. 9(a)(c)

학적으로 더 noble한 위치에 있어 음극환원반응이 지배적으로 일어난 것이고 반대로 기지는 갈바닉 효과에 의해 양극으로 작용하여 우선적으로 부식이 진행되었으며<sup>6)</sup> 반면에 Fig. 10(b)의 950℃에서 열처리한 경우는 화학적 균질화에 의해 이러한 갈바닉 효과가 사라져 부식은 더 억제된 것으로 사료된다.

### 3.3 미소경도

Fig. 11은 각 코팅시편에 대한 미소경도 실험결과이다. 열처리 온도 변화에 따라서 미소경도는 증가하다가 950℃에서는 급격하게 감소하였다. 초기 as-sprayed 상태에서는 평균 Hv 627의 높은 경도값을 가지는데 이는 as-sprayed 상태는 급속 응고에 의해서 기지내에 용질원자 (Cr, W, Mo, Cu 등)가 과포화되어 있어 고용강화 효과가 나타나며 또한 미세한 boride(또는 carbide) 입자가 분포되어 있기 때문으로 판단된다. 그리고 용사시 존재하게 된 코팅층내에 잔류응력도 경도 증가에 영향을 미칠 것으로 보인다. 한편 열처리 온도가 증가하면 비정질상의 분해 및 미세한 결정상들의 핵생성으로 경도가 약간 증가하다가 950℃에서는 급격히 감소하였다. 이러한 급격한 감소 요인은 고온에서의 결정립 성장, 잔류응력의 감소, 과포화된 고용체로부터의 평형 석출물의 생성에 의한 고용강화원소의 손실때문인 것으로 보인다<sup>7)</sup>.

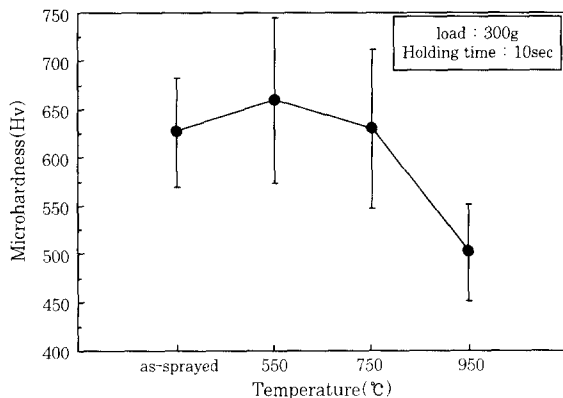


Fig. 11 Microhardness of as-sprayed and annealed coatings

## 4. 결 론

초고속화염용사법(HVOF)으로 제조된 Ni-Cr-W-Mo-B 용사코팅층에 대한 후열처리 효과를 요약하면 다음과 같다.

1. As-sprayed 조직은 각 용융 입자들의 냉각 속도와 용융 정도 그리고 적층될 때의 열처리효과에 의해 비정질, 나노결정상, 공정 조직, 미세한 결정 조직 등으로 이루어진 매우 다양한 상으로 구성되어 있었다. 여기서 부식은 이러한 불균일한 상간의 갈바닉 부식 또는 불균질한 조성을 가진 미용융입자에서 먼저 발생하는 것으로 나타났다.

2. 양극분극실험과 침지실험을 통해 후열처리 온도가 증가함에 따라 기공도의 감소, 조직의 치밀화 그리고 미용융 또는 부분용융 입자내의 기지와 boundary 상의 화학적 조성의 균질화 효과에 의해서 부식 속도가 감소하여 내식성이 향상되었다.

3. 미소경도 실험결과 600-700 Hv의 높은 경도값을 나타내 기계적 성질이 우수하게 나타났지만 950℃에서는 결정립 및 석출상의 성장으로 급격히 감소하였다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 세라믹공정연구센터의 지원(98K3-0603-01-12-2)에 의해서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. L. N. Moskowitz : Application of HVOF Thermal Spraying to Solve Corrosion Problems in the Petroleum Industry, *Journal of Thermal Spray Technology* Vol.2(1) (1993), 21-29
2. Lech Pawlowski : The science and engineering of thermal spray coatings, John Wiley & Sons (1995)
3. K. Kishitake, H. Era and F. Otsubo : Characterization of Plasma Sprayed Fe-10Cr-10Mo-(C,B) Amorphous Coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol. 5(2)(1996), 145-153
4. 이두면, 남기홍, 이지환: 다이아몬드제트 용사법에 의한 NiCr 피막의 제조 및 열처리 특성에 관한 연구, *대한금속학회지* Vol. 33, No. 8(1995), 1117-1125
5. Metco 700 and 700F : advanced alloys for producing thermal sprayed amorphous coatings, Metco
6. Yoshinori Sakamoto, Chiaki Shibuta : Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Al-Mg Alloys with Cu added by Electron Beam Welding, *Materials Transactions, JIM*, Vol.40, No. 6(1999), 556-563
7. S. Sampath, R. A. Neiser, H. Herman : A structural investigation of a plasma sprayed Ni-Cr based alloy coating, *J. Mat. Res.*, Vol. 8, No. 1(1993), 78-86