



<연구논문>

ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 47, No. 6, 2014.

<http://dx.doi.org/10.5695/JKISE.2014.47.6.323>

실링재 및 실링방법이 HVOF 용사된 CrC-NiCr 코팅의 내식성에 미치는 영향

정영훈^{a,c}, 남옥희^a, 변응선^{a*}, 강태일^b, 강정윤^c

^a재료연구소 표면기술연구본부 플라즈마코팅연구실

^b동양기전(주) 유압기기사업부, 연구개발팀

^c부산대학교 공과대학 재료공학부

Effect of Sealing Materials and Parameters on the Corrosion Resistance of HVOF-Sprayed CrC-NiCr Coatings

Younghun Jeong^{a,c}, Uk-Hee Nam^a, Eungsun Byon^{a*}, Tae-il Kang^b, Chung-Yun Kang^c

^aSurface Technology Department, Korea Institute of Materials and Science, 797 Changwon-Daero, Sungsan-gu, Changwon, 642-831 Korea

^bHydraulic Machinery Division, Dongyang Mechatronics, 812 Ungnam-ro Sungsan-gu, Changwon, 642-120 Korea

^cSchool of Materials Science and Engineering, Pusan National University, 63 Busandaehak-ro, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

(Received October 17, 2014 ; revised December 1, 2014 ; accepted December 1, 2014)

Abstract

Effects of sealant and sealing procedure on corrosion resistance of high velocity oxy-fuel (HVOF) sprayed coatings were studied. HVOF-sprayed CrC-20NiCr coatings were sealed using three commercial sealants based on phenolics and epoxy. Penetration depth of sealants, measured by fluorescent microscope technique, was between 19 μm and 340 μm depending on sealant, sealing condition or sealing procedure. It was found that sealing on rotation status was more effective than that on stationary specimen due to the Coriolis effect of fluid in pores of the coating. From the CASS results, corrosion resistance of properly sealed CrC-20NiCr coatings was equal to that of hexa-valent chromium plating.

Keywords : High Velocity Oxy-Fuel, HVOF, Thermal spray coatings, Corrosion resistance, Sealing, Porosity, Hexa-valent chromium plating.

1. 서 론

6가 크롬 (Cr^{6+}) 도금은 고경도, 높은 윤활성, 이형성 및 뛰어난 내식성 등의 우수한 특징을 가지고 있어 금형, 자동차, 항공기 및 중장비 부품 등에 폭 넓게 적용되어 오고 있다. 하지만 2000년대 초

RoHS를 필두로 하여 유해자원의 대량소비 및 유해 폐기물의 대량 발생에 대한 규제가 심각히 대두됨에 따라 이의 전면 사용금지 범규제정이 잇따르고 있어, 친환경 코팅기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻³⁾. 대표적으로 전해착색, 3가 크롬 도금, 합금도금, PVD, CVD, MOCVD, 레이저 클래딩, 용사코팅 (플라즈마, HVOF 등)이 있는데, 이중 각광을 받고 있는 것이 HVOF (high velocity oxy-fuel, 고속화염용사) 코팅이다⁴⁾. HVOF 코팅은 Cr 도금에 필적하는 경도와 내마모성을 가지고 있으나, 용융

*Corresponding Author : Eungsun Byon
Surface Technology Department, Korea Institute of Materials and Science
E-mail : esbyon@kims.re.kr

액적이 모재와 충돌하여 스플랫을 형성하는 용사코팅의 특성상 많은 기공과 결합을 가지는 단점이 있다⁵⁻⁷⁾. 이들 기공과 결합은 용사코팅의 내식성을 저하시키는 결점으로 작용하기 때문에, 기공 및 결합을 실링하는 것이 필요하다⁸⁻¹⁰⁾.

실링은 유기물, 무기물 또는 금속 등을 코팅내부의 공간으로 침투시켜, 외부환경으로부터의 부식성 물질이 모재와 접촉하는 경로를 차단하는 역할을 한다. 통상 실링처리는 용액에 제품을 침적하거나 브러시를 이용하여 표면에 도포하는데, 이때 기공 내부에 존재하는 공기가 실링재의 침투를 방해하는 역할을 하기 때문에, 침투깊이는 실링재의 성질, 점도와 함께 온도 등 처리환경에 의해 크게 달라진다¹¹⁾.

Li 등¹²⁾은 플라즈마 용사한 Cr₂O₃/NiCr 코팅을 polymethyl silicon과 vinyl methyl silicon로 구성된 실링재로 267Pa의 가압조건하에서 0.2~2시간 침투시킨 후 현미경 관찰을 통해 폐쇄된 기공을 제외한 모든 기공이 실링재로 채워졌으며 내식성도 현저히 상승하였음을 보고하였다. Osaka 등¹³⁾은 발전용 유동층 보일러의 부식을 방지하기 위하여 용사코팅의 표면을 상용 실링재를 사용하여 실링하고 용융염에 침적하여 내식성을 비교한 결과, 가장 우수한 성능을 보인 실링재는 Al₂O₃와 AlPO₄였다고 보고하였다. HVOF 용사한 FeCrMoMnWBCSi 코팅을 Na₂SiO₄, AlPO₄ 그리고 세륨염으로 실링한 결과, 세 종류의 실링재 모두 월등한 내식성 향상을 가져왔는데, AlPO₄ 실링재의 경우 침투깊이가 50 μm 이하였으며 장기간의 균일한 내식성과 좋은 공식저항성 부여에 적합하다고 발표하였다¹⁴⁾. 또한 인산, 페놀 및 에폭시 계열의 실링재를 플라즈마 용사된 Al₂O₃-13%TiO₂ 코팅에 적용한 결과, 페놀과 에폭시 계열의 실링재가 인산보다 우수한 실링특성을 보인 결과도 보고된 바 있다¹⁵⁾.

지금까지의 연구결과를 종합해 보면 실링재의 종류에 따른 침투깊이를 관찰하여 코팅의 내식성에 미치는 영향, 또는 실링처리가 코팅의 경도^{9,14)}, 내마모성^{9,11,18)}, 밀착력^{9,11,19)}, 표면 거칠기⁹⁾ 등에 미치는 영향에 대한 것이 대부분으로서, 실링공정 변수에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다.

본 연구에서는 실링재 curing온도 및 실링방법에 따른 CrC-20NiCr HVOF 코팅의 실링특성을 조사하였으며, 실링 공정 변수가 코팅의 내식성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용되어진 시편은 탄소함량이

0.42~0.48%인 기계구조용 탄소강(S45C)을 모재로 하고 80CrC-20NiCr 분말(WOKA7105, Orelikon-Metco사)을 HVOF 용사 코팅하여 제조하였다. 기계적 특성 평가와 실링재 침투깊이 측정을 위하여 직경 25 mm, 두께 10 mm의 시편을, 내식성 시험을 위해 직경 60 mm, 길이 300 mm의 시편을 각각 준비하였다. 그림 1은 전자주사현미경을 이용하여 CrC-20NiCr 용사분말을 각각 500배, 1000배에서 관찰한 사진이다. CrC-20NiCr 파우더는 과립화 및 소결방식으로 만들어졌으며 입자분포는 $-38 + 10 \mu\text{m}$ 를 나타내고 있다.

용사코팅 공정은 전처리, HVOF 용사 및 후가공순으로 이루어 졌으며, 전처리로서 시편을 아세톤과 알코올을 이용하여 초음파 세척한 후 표면을 건조시켰다. 이후 시편 표면에 흡착된 수분을 제거하기 위하여 HVOF 화염을 이용하여 시편을 예열하였는데, 예열직후 시편표면의 온도는 약 35°C였다. HVOF 용사는 DJ-2700 (Orelikon-Metco사) 용사장치를 이용하여 1차가스로 산소, 2차 가스는 수소를 사용하여 화염을 형성하고 이 화염에 CrC-NiCr 분말을 투입하여 용융시킨 후 고속으로 모재 표면에 충돌, 적층시켰다. CrC-20NiCr 코팅의 두께는 350 μm 이상이 되도록 하였고, 코팅 후 실링처리를 한 다음, 정삭 연마하여 코팅두께가 $300 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ 그리고 표면조도가 R_{max} 0.46이하가 되도록 후가공을 하였다.

용사코팅은 용사과정에서 용융 액적이 모재와 충돌하여 스플랫을 형성하는 공정이므로 코팅 내에 많은 기공과 미세균열 등의 결합이 형성되어 코팅의 내식성을 저하시키므로, 기공 및 결합을 유기물을 이용하여 실링(sealing)하고자 하였다. 실링은 용사코팅 직후에 코팅표면에 실링재를 브러시로 도포하는 방법을 사용하였으며, 실링재는 페놀릭 계열의 레진(Phenolic resin, Oerlikon-Metco사)과 점도가 각각 다른 에폭시 수지(Epoxy, Millidyne사) 세 종류를 사용하였다. 에폭시 수지의 상온 점도는 각각 20 mPas 및 10 mPas이므로 각각 Epoxy-20 및 Epoxy-10으로 나타내었다(표 1 참조).

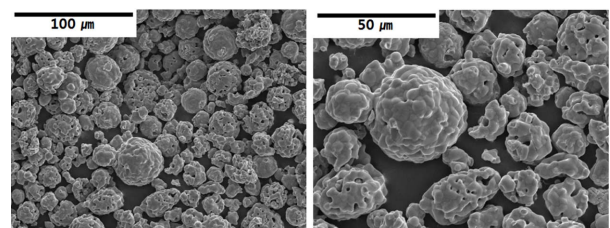


Fig. 1. SEM micrographs of CrC-20NiCr powders; (a) x500, (b) x1000.

Table 1 Curing temperature and time of sealants used in this study.

Sealant		Temp.	21°C	60°C	90°C	135°C
A	Phenolic resin		12 hrs	0.5 hr	0.5 hr	0.5 hr
B	Epoxy -20 (viscosity 20 mPas)		12 hrs	2 hrs	1 hr	-
C	Epoxy -10 (viscosity 10 mPas)		24 hrs	2 hrs	1 hr	-

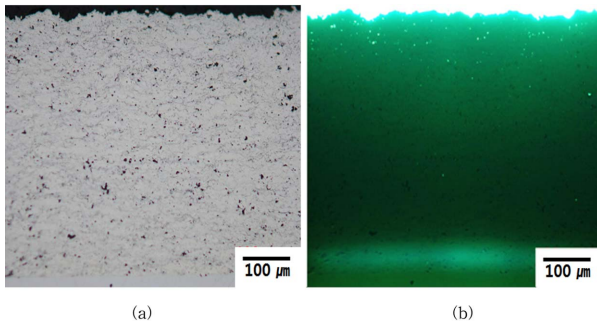


Fig. 2. (a) Cross-sectional microstructure of CrC-20NiCr HVOF sprayed coating after sealing observed by an optical microscope and (b) sealing mixed with fluorescent dye observed by a fluorescence microscope.

경화온도에 따른 실링재의 침투깊이 차이를 보고자 21°C ~ 135°C로 온도를 달리하여 각각 경화를 시켰다. 실링재의 경화온도는 제조사의 추천 온도를 중심으로 표 1과 같이 선정하였고, 경화온도에 따라 30분에서 24시간동안 유지 시간을 달리하였다. 또한 실링방법의 영향을 관찰하고자 시편을 정지상태 및 회전상태로 달리하며 실링하였고, 회전 시에는 회전속도를 25 ~ 250 rpm으로 변화시켜 가며 실링을 한 후, 21°C에서 24시간동안 경화시켰다.

그림 2는 HVOF 코팅된 시편의 단면 미세조직 사진으로서, 전술한 바와 같이 코팅 후 실링재 C를 이용하여 실링한 다음 경화한 것이다. 그림 2(a)로부터 알 수 있듯이 광학현미경 (또는 전자현미경) 관찰로부터 직접 실링재가 침투한 깊이를 측정하는 것은 불가능하였다. 이는 Li 등¹²⁾의 연구결과와 상이한데, 본 연구에서 사용한 실링재는 경화 후 무색의 투명한 고체가 되기 때문에 현미경 관찰에서는 판별이 불가능 하였다. 이 문제를 해결하고자 실링재에 현미경 시야 상에서의 가시성을 부여하는 방법을 사용하였으며⁹⁾, 실링 용액 1리터에 형광물질 5그램을 첨가하고 혼합하여 실링을 하였다. 이렇게 준비한 시편을 형광현미경을 사용하여 단면 미세조직을 관찰한 결과, 그림 2(b)와 같이 명확하게 실링재의 침투상태를 관찰할 수 있었다.

형광현미경은 실링재에 혼합되어 있는 형광물질이 형광을 발산할 수 있도록 400 ~ 440 nm 파장의

광원을 사용하므로, 형광이미지를 관찰하면 실링재의 형광발산에 의해 실링재의 침투깊이를 용이하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 침투깊이는 각 시편당 3 곳의 사진을 촬영하여 각 사진 당 총 5회 측정된 다음 평균값을 사용하였다.

경질크롬도금의 내식성은 CASS (copper accelerated acetic salt spray) 시험¹⁶⁾에 의해 평가하게 된다. CASS 시험은 5% 소금물에 아세트산 및 0.26 g/l의 염화 제2구리를 첨가한 pH 3.0의 산성액을 시험편에 분무하는 방법으로 부식 촉진성이 큰 것이 특징이다. 본 연구에서는 CrC-20NiCr HVOF 용사코팅의 내식성을 평가하고 이를 경질 크롬도금과 비교하기 위하여 CASS 시험을 수행하였다. 코팅 후 실링 및 연마를 거친 시편은 16시간을 1 싸이클로 하여 총 6 싸이클 (96시간)을 시험 한 다음, 정해진 기준 면적 내에서의 부식정도를 평가하여 R.N. (Rating Number) 값을 산정하였다. 한편, HVOF 용사코팅과 경질크롬 도금의 내식성을 상호비교하기 위하여 동일한 제원의 시편상에 6가 크롬도금을 실시하였으며, 도금은 무수크롬산과 황산으로 구성된 고속도금욕을 사용하였다. 도금은 용액온도 50 ~ 55°C, 전류밀도 40 ~ 60 A/dm²의 조건으로 105분간 수행하였으며, 최종 도금두께는 50 μm이었다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 HVOF 용사된 CrC-20NiCr 코팅의 단면 미세조직으로서 기공 및 탄화물 입자의 분포상태를 관찰 한 것이다. 약 5-10 μm 크기의 크롬카바이드 입자가 균일하게 분포해 있고 카바이드 입자 주위를 NiCr이 감싸고 있는 전형적인 서멧코팅 구조를 보여주고 있다. 또한 구형 또는 각형의 검은 점들은 기공으로서, 용융된 액적이 고속으로 모재와 충돌하여 스플랫 (splat)을 형성하는 과정에서 충분한 변형을 일으키지 못하거나, 먼저 코팅된 스플랫의 그림자 효과로 인해 형성된 것으로서, 이미지 분석도구를 이용하여 측정된 기공도는 1.72%였다.

CrC-20NiCr 코팅은 6가 크롬 도금을 대체하기 위한 것이므로 코팅의 경도는 매우 중요한 특성이 된다. 측정된 코팅의 경도는 Hv₃₀₀ 952.8 ± 31로서

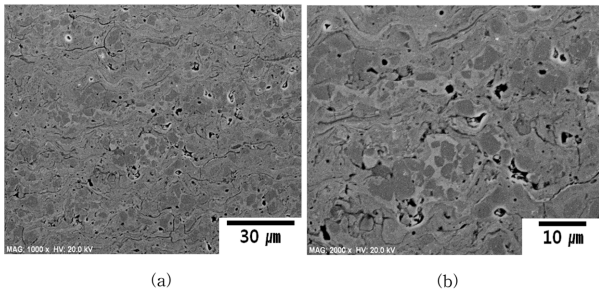


Fig. 3. SEM micrographs of HVOF sprayed Cr-20NiCr coatings showing distribution of pores and carbide particles; (a) x1000, (b) x2000.

비교대상인 Cr 도금의 경도 $H_{V300} 749.8 \pm 28$ 보다 높았다. 이는 높은 경도를 갖는 탄화물 입자 ($HV 1336$)¹⁷⁾와 금속 바인더 분말이 혼합되어 있는 용사 재료를 약 $2,000^{\circ}\text{C}$ 이상의 산소와 수소 화염 중에 투입하여, 금속 바인더를 충분히 용융시키면서 동시에 탄화물입자의 손상은(탈탄 등) 거의 일으키지 않아야 높은 코팅 경도를 얻을 수 있다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 탄화물 입자들은 각진 형상을 그대로 유지하고 있으며 일부 예리한 코너 부위만 둥근 형태를 띠고 있는 것으로 보아 용사과정에서 탄화물 입자의 분해나 탈탄은 심하게 발생하지 않은 것으로 판단된다.

용사코팅은 특성상 기공, 스플랫간 경계 및 미세 균열들이 층 내에 다수 존재하게 되며 이들은 서로 3차원적인 복잡한 경로를 거쳐 연결되어있어, 부식성 분위기 하에서 사용할 경우에는 모재의 부식을 유발하는 경로로 작용하게 된다. 이를 방지하기 위하여 실링재를 사용하여 밀봉하고자 하였다. 본 연구에서는 유기 실링재의 종류가 코팅의 침투깊이에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 표 1에 나타낸 것과 같이 1액형 페놀릭계 A와 2액형 에폭시 계열의 B와 C를 각각 시편 표면에 도포한 다음 경화온도 및 시간을 달리하여 이의 침투깊이를 조사하였다. 이때 시편은 정지한 상태였다.

그림 4는 세 종류의 실링재를 각각 $21^{\circ}\text{C} \sim 135^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 경화시킨(경화시간은 표 1과 같이 적용) 다음 실링재의 침투깊이를 측정된 결과이다. 실링재 B의 경우 모든 경화온도에서 침투깊이 측정결과가 다른 온도에 비해 낮게 나왔지만, 측정결과의 높은 산포를 감안하면 모든 실링재의 종류에 따른 침투깊이 변화는 크지 않았다고 볼 수 있다. 또한 세 실링재 모두 경화온도가 증가함에 따라 침투깊이가 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보였다.

페놀릭 수지 및 에폭시 수지를 실링용으로 사용하기 위해서는 충분히 낮은 점도를 가져야 하므로

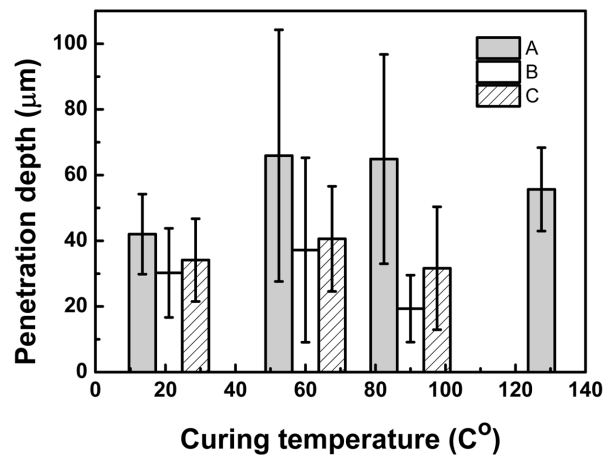


Fig. 4. Effect of sealants and curing temperature on penetration depth into coatings.

다양한 충전제나 희석제가 혼합되어 제조되고 있다. 하지만 첨가에 의한 점도 저하효과는 첨가제가 경화되기 전 기화에 의해 증발하여 기포를 형성하거나 점도를 잃는 경우 소기의 목적을 달성할 수 없게 된다. 따라서 제조사에서는 수지의 점도특성과 경화과정에서의 특성저하를 방지하기 위해 적절한 경화온도를 추천하고 있다. 실링재 A의 경우 추천 경화온도는 80°C 이고 B와 C는 60°C 이므로, 그림 4에서와 같이 각각 80°C 와 60°C 에서 최대 침투깊이를 보이고 이 온도 전과 후에는 상대적으로 낮은 침투깊이를 보이고 있다. 하지만 최대 침투깊이를 보이는 경화온도인 60°C 에서조차 실링 깊이는 $37\text{--}65\ \mu\text{m}$ 범위로서 실링 후 코팅을 약 $50\ \mu\text{m}$ 이상을 연삭하는 후공정을 감안할 때, 더 깊은 실링재의 침투가 요구된다.

실링재가 매우 미세한 용사코팅의 기공이나 스플랫 경계를 따라 침투하는 것은 작은관과 같은 통로를 따라 액체가 올라가거나 내려가는 모세관 현상에 의한 것으로서, 아래 식 1과 같이 모세관 힘은 실링재의 표면장력과 코팅/실링재간의 접촉각에 비례하고 모세관의 반경에 반비례한다¹¹⁾.

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV} \cos\theta}{r} \quad (1)$$

여기에서 γ_{LV} : 실링재의 표면장력

θ : 접촉각

r: 모세관의 반경

식 (1)에 의하면 모세관의 반경 즉 코팅의 기공 크기는 시편 및 위치별로 차이는 있지만 같은 용사 재료와 공정변수를 이용하였으므로 동일하다고 가정하면, 실링재가 용사코팅 기공내부 표면과 맞닿

아 있을 때의 특성, 즉 표면장력에 의해 모세관 힘이 변하고 이에 따라 침투깊이가 달라진다. 페놀릭 레진의 표면에너지는 약 71.82 dyn/cm (26°C)²⁰⁾, 에폭시 레진의 표면에너지 25 dyn/cm ~ 43 dyn/cm (상온)²¹⁾ 이므로 (점도 조절을 위해 첨가한 물질에 의해 표면에너지는 더 낮아짐), 본 실험에 사용된 실링재의 경우, 페놀릭계 실링재의 표면장력이 더 커서 에폭시 계열의 실링재 보다 전반적인 침투 깊이가 깊은 것으로 판단된다. 한편 실링재 A의 경우는 135°C에서 실링재 B와 C는 90°C에서 실링재의 침투깊이가 감소하는 경향을 보였다. 이는 온도가 증가함에 따라 액체의 표면장력이 감소하기 때문에, 다른 조건이 동일할 경우 이에 기인해 침투깊이가 감소한 것으로 판단된다.

CrC-20NiCr HVOF 용사코팅 시편을 대기 중에서 정지된 상태로 실링재를 도포했을 경우, 실링재의 종류에 따른 침투깊이 차이는 20 ~ 30 μm 범위로서 크게 나타나지 않았으며 동일한 실링재를 이용하여 경화온도와 시간을 변화시키면서 측정된 침투깊이 역시 큰 차이는 없었다. 실링 방법에 따른 침투깊이의 차이가 있는지 알아보기 위해 HVOF 용사코팅한 직경 25 mm, 두께 10 mm의 시편을 직경 60 mm, 길이 300 mm의 지그에 고정하여 선반에 장착한 뒤 회전시키면서 실링재를 도포하였다. 이때 선반의 회전속도는 25 ~ 250rpm으로 변화시켰다.

실험에 사용된 실링재는 2액형 에폭시 계열의 C이다. 이를 선정한 이유는 그림 4에서 실링재 A는 침투깊이의 평균값은 높았으나 편차가 크고, 실링재 C의 경우 실링재 B보다 더 깊은 침투깊이를 나타냄과 동시에 더 편차가 작아 실링방법에 따른 침투깊이의 변화를 관찰하기에 적절하기 때문이다. 실링재 C가 도포된 HVOF 용사코팅시편을 21°C에서 24시간동안 경화시킨 후 회전속도에 따른 침투깊이를 비교하였다.

그림 5를 보면 정지된 상태에서 실링재를 도포한 (회전속도 0 rpm) 시편과 회전시키면서 실링재를 도포한 (회전속도 25 ~ 250rpm) 시편의 침투깊

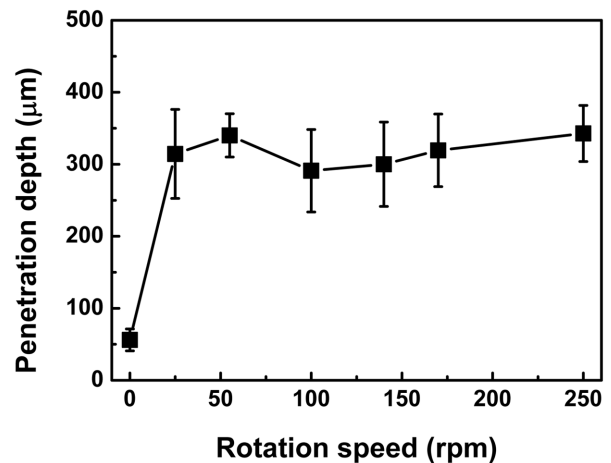


Fig. 5. Effect of rotation speed on penetration depth into coatings.

이 차이가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 반면에 회전속도 변화에 따른 실링재의 침투깊이는 큰 차이가 없었다.

시편이 정지된 상태에서 실링재를 도포할 경우 표면에서부터 균일하게 스며들어 일정깊이에서 내부에 잔류하고 있는 공기와 만나게 된다. 그림 6(a)에 도식적으로 나타낸 것과 같이 이 공기는 표면을 덮고 있는 점성을 가진 실링재에 의해 외부로 빠져나갈 수 없는 상태이며, 스며들어온 실링재와 경화온도에 의해 압력이 상승하게 된다. 이렇게 발생한 공기의 압력은 실링재의 침투에 반대되는 힘으로 작용한다⁸⁾. 이와 같이 실링재가 침투하는 방향의 반대방향으로 작용하는 공기의 압력을 감소시키기 위한 방법으로 시편을 회전시키면서 실링재를 도포하게 되면, 그림 6 (b)에 나타낸 것과 같이 회전에 의해 발생한 전향력 (Coriolis force)에 의해 실링재와 공기는 수평선상에서 서로 반대방향으로의 움직임이 발생한다. 그 움직임의 크기만큼 실링재는 더 깊이 침투하게 되고 내부에 잔류하고 있는 공기는 밖으로 배출될 수 있게 된다. 그리하여 시편이 정지된 상태로 실링재를 도포할 경우 보다 시편이 회전하고 있는 상태로 실링재를 도포하였을

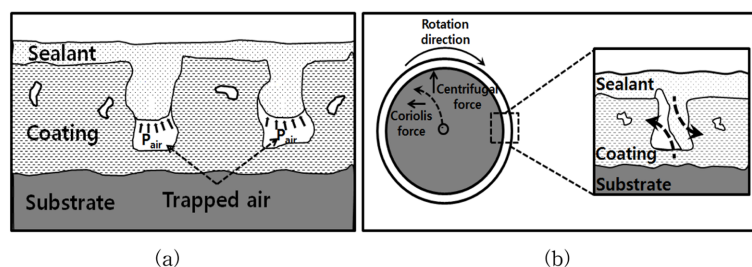


Fig. 6. Schematic illustrations of sealant penetration phenomena (a) at stationary and (b) at rotation status of specimens.

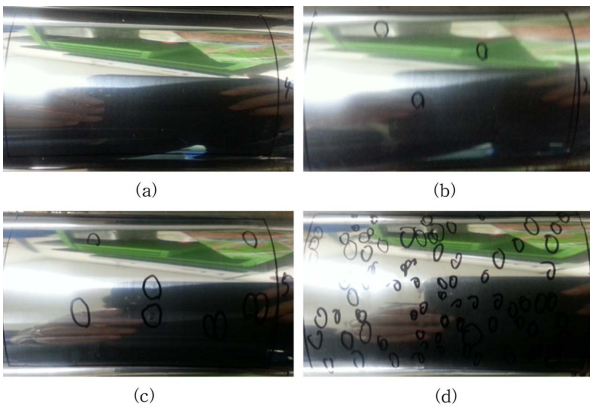


Fig. 7. Surface of CrC-20NiCr HVOF coating after CASS. (a) 40 μm grinded, (b) 60 μm grinded, (c) 80 μm grinded, (d) 100 μm grinded.

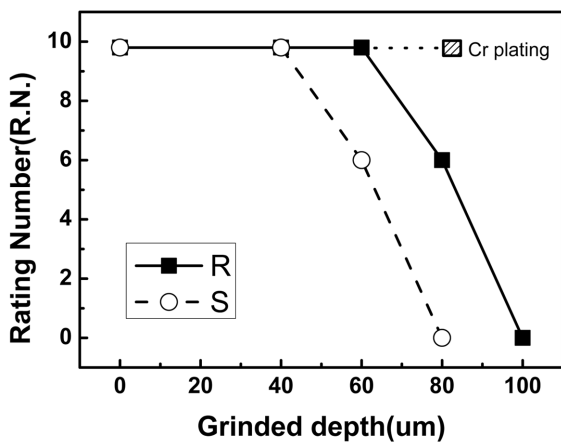


Fig. 8. Comparison of two different sealing condition from CASS. (R) sealed specimens under rotation condition. (S) sealed specimens under stationary condition.

때 더 깊은 침투깊이를 나타낸 것이라 판단된다. 실링처리와 실링방법이 내식성에 미치는 영향을 파악하기 위해 직경 60 mm, 길이 300 mm의 CrC-20NiCr HVOF 용사코팅 시편을 준비하여 실링을 실시 한 후 CASS 시험을 진행하였다. 시편은 실링재의 침투깊이에 따른 내식성의 차이를 비교하기 위해, 실링 방법별로 각 5개의 시편을 표면에서부터 각각 0, 40, 60, 80, 100 μm를 각각 연마하여 준비하였다.

그림 7은 위 시편들에 대한 CASS 시험후 표면을 관찰한 사진이다. 사진으로 부터 표면연마의 깊이가 깊어질수록 표면에 핀홀과 부풀음이 많이 발생한 것을 알 수 있다. 즉, 표면연마를 많이 할수록 실링된 부위가 제거되기 때문에 내식성도 비례하여 나빠지게 됨을 확인할 수 있었다. 그림 8은 정지 및 회전 상태에서 실링한 시편의 CASS 시험 결과

를 요약한 것이다. 표면연마 깊이가 0 μm와 40 μm 인 시편은 두 시편 모두 R.N. 9.8로 우수한 내식성을 보였다. 하지만 정지된 상태에서 실링한 시편의 경우 표면연마 깊이가 40 μm 초과할 경우 내식성이 급격히 저하됨을 알 수 있다. 이는 두 시편 중 실링재가 더 깊이 침투할 수 있는 조건의 시편이 상대적으로 그렇지 않은 시편보다 내식성이 우수하다는 것을 입증하는 결과이다. 크롬도금의 경우 CASS 시험에서 핀홀과 부풀음의 거의 발생하지 않았으며, R.N. 역시 9.8로 우수한 내식성을 보였다. 따라서 CrC-20NiCr HVOF 용사코팅이 6가 크롬도금을 대체하기 위해 요구되는 R.N. 9.8의 우수한 내식성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이를 위한 CrC-20NiCr 용사코팅의 요구되는 실링재의 유효 침투깊이는 연마여유를 고려 최소 60 μm 이상이 되어야 한다.

4. 결 론

HVOF용사된 CrC-20NiCr 코팅의 내식성에 미치는 실링재 및 실링방법의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 실링재의 종류와 경화온도에 따른 침투깊이를 알아보기 위해 세 가지 종류의 실링재를 정지상태에서 도포하고 온도를 달리하여 경화시켰을 때, 침투깊이는 큰 차이를 나타내지 않았다. 실링방법에 따른 침투깊이와 내식성의 차이를 비교하기 위해, 시편을 회전시키면서 실링재를 도포한 경우 정지한 상태에서 도포한 경우보다 침투깊이가 최대 5배 이상 증가하였다. 이는 물체의 회전에 의해 야기된 전향력에 의해 실링재의 침투력이 증가한 결과에 기인한다고 판단된다. 실링이 내식성에 미치는 영향을 CASS 시험을 통해 확인한 결과, 회전하는 상태에서 실링한 시편의 내식성이 우수하였으며 이는 침투깊이 증가에 기인하였다. 결론적으로 회전 실링에 의한 CrC-20NiCr HVOF 용사코팅의 내식성은 기존 6가 크롬도금 대비 동등한 결과를 나타내어, 기계적 특성은 물론 내식성 측면에서도 6가 크롬도금을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 글로벌첨단기술개발사업 (과제번호 PGM7120)의 지원과 미래창조과학부 주력산업소재기술개발사업 (과제번호 PNK3332)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. S. C. Kwon, K. H. Lee, Trends in Metals & Materials Engineering, 17 (2004) 16.
2. M. Kim, J.J. Lee, D. Y. Kim, S. U. Park, S. C. Kwon, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 37(3) (2004) 179.
3. D. Kim, M. Kim, S. U. Park, K. S. Nam, D. Y. Chang, S. C. Kwon, D. S. Shin, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 34 (2001) 49.
4. K. O. Legg, M. Graham, P. Chang, F. Rastagar, A. Gonzales, B. Sartwell, Surf. Coat. Technol., 81 (1996) 99.
5. R.S. Lima, B.R. Marple, J. of Thermal Spray Technol., 16 (2007) 40.
6. Y.-H. Yang, C.-Y. Park, W.-J. Lee, S.-J. Kim, S.-M. Lee, S. Kim, H.-T. Kim, Y.-S. Oh, J. Kor. Inst. Surf. Eng., 46 (2013) 258.
7. B. Flitney, Sealing Technology, October (2007) 8.
8. P. Ctibor, K. Neufuss, F. Zahalka, B. Kolman, Wear, 262 (2007) 1274.
9. H. Kim, C. Lee, Y. Kweon, Surf. Coat. Technol., 139 (2001) 75.
10. Y. Jung, S.-J. Moon, H. Yoo, The Plant Journal, 6 (2010) 63.
11. J. Knuuttila, P. Sorsa, and T. Mäntylä, J. of Thermal Spray Technol., 8 (1999) 249.
12. C. L. Li, H. X. Zhao, T. Takahashi, M. Matsumura, Mater. Sci. Engin., A308 (2001) 268.
13. M. Oksa, E. Turunen, T. Varis, Thermal Spray 2004: Advances in Technology and Applications (ASM International) No. 5 (2004) 120.
14. Y. Wang, S. L. Jiang, Y. G. Zheng, W. Ke, W. H. Sun, J. Q. Wang, Surf. Coat. Technol., 206 (2011) 1307.
15. S. Liscano, L. Gil, M. H. Staia, Surf. Coat. Technol., 188-189 (2004) 135.
16. "Copper Accelerated Acetic Acid Salt Spray Testing Method" ASTM B368 (2014).
17. R. Chattopadhyay, Surface Wear: Analysis, Treatment, and Prevention. Materials Park, OH: ASM Int., (2001) 228.
18. B. Wielage, U. Hofmann, S. Steinhäuser, and G. Zimmermann, Surf. Coat. Technol., 2 (1998) 136.
19. S. Ahmaniemi, P. Vuoristo, T. Mäntylä, Surf. Coat. Technol. 151-152 (2002) 412.
20. R. B. Badachhape, M. K. Gharpurey, A. B. Biswas, J. Chemical and Engin. Data, 10(2) (1965) 143.
- [21] C-H Cheng, H-H Lin, IEEE Transactions on Adv. Packaging, 31(1) (2008) 100.