

## Capstan용 용사코팅의 내마모 특성 향상 방안

어순철 · 이정립 · 이영근  
충주대학교 재료공학과

### A Methodological Study of the Wear-Resistant Property Improvement on the Thermal Spray Coatings for Capstan

Soon-Chul Ur, Jung-Il Lee and Young-Geun Lee  
Department of Materials Engineering, Chungju National University,  
Chungju, Chungbuk, 380-702, Korea  
(Received January 13, 2000)

**Abstract** Thermal spray coating process has proven to be effective at producing hard, dense, wear resistance coatings on the relatively mild substrates. Among several spraying techniques, HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) and plasma coating processes, which are preferentially used for the wear resistance application such as capstans, have been applied in this study. The effects of pre-treatment, in-process and post-treatment parameters on the wear and mechanical properties of WC+12%Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder coatings have been investigated and correlated with the microstructures. The results indicated that the carbide coating was more preferable to the oxide coatings and the post-treatments consisting of vacuum annealing and sealing on carbide coatings led to significant improvements in wear resistance, adhesive strength and coating phase stabilization over the other processing techniques in this application.

#### 1. 서 론

세라믹 용사기술은, 기계적·물리적 성질이 우수하지만 용융점이 높고 기계가공성이 좋지 않은 WC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zirconia 등의 세라믹 재료를 고온의 화염 또는 플라즈마로 순간 용융시키고, 용융된 입자를 매우 빠른 속도로 가속시켜, 금속 등의 모재위에 0.1~1.0 mm 두께의 후막층을 형성시키는 표면처리기술로서, 값싼 모재위에 다양한 특성을 갖는 세라믹 재료의 후막층을 형성시켜 내부식성, 내마모성, 내산화성, 절연성, 단열성 등의 표면 성질을 크게 개선시킬 수 있는 기술이며, 모재의 형상이나 크기에 관계없이 간편하게 응용할 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>1,2,3</sup> 그러나 용사코팅은 모재의 표면과 기계적으로만 접합되고 용사입자간 상호용착이 잘 이루어지지 않아 부착력이 작으며, 세라믹 용사재는 보통 금속기지에 비해 열팽창계수가 현저히 낮기 때문에 열응력(thermal stress)에

의해 소재내부에 미세균열을 일으킬 가능성이 있고, 공정 특성상 기공의 생성이 불가피하여 치밀한 조직을 얻기가 어려운 단점이 있어<sup>2,4</sup> 이를 개선하기 위한 연구가 국내외에 걸쳐 활발히 진행되고 있다.

전선, 강선재 제조의 신선공정 또는 섬유제조산업에서 야기되는 문제중의 하나는 선재 또는 thread의 고속이동에 의한 capstan 이나 thread guide 등의 기계부품의 마모현상이다. Capstan 표면은 신선공정 중 wire의 마찰장력을 수반한 고속이동에 견디어야 하고, guide로부터 선재가 이탈이 되지 않도록 최적의 조도를 유지해야 하는 조건이 요구되어진다. 특히 capstan용 코팅의 경우 Cu 등의 연금속 신선작업시 선재의 소성변형으로 인한 접촉면적의 증가와 interlocking 효과가 예상되고, 여기에 선재 신선에 의한 전단응력이 작용되어 용사입자가 쉽게 분리되고 나아가 선재 부위에 대한 자리매김 (erosion)현상이 발생하고 있어, 본 연구에서는 이를 개선하기 위

한 방법으로 용사입자조직의 치밀화, 상의 안정화 및 잔류기공의 봉공처리(sealing)를 시행하여 그 물성의 변화를 조사하였다.

## 2. 실험방법

Capstar에 주로 사용되는 S45C 탄소강을 모재로 사용하였으며, 2.54 cm $\Phi$ ×2.5 cm의 기본시험편(내마모 시험 및 제반물성시험)과 12 mm $\Phi$ 의 인장시험용 시험편을 반으로 절단한 접착시험용(ASTM D2714-68) 시험편을 제작하였다. Coating분말로는 WC+12% Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + bonding material(NiCrAl)을 사용하였으며, 기준 시험편은 표 1과 같이 정의하였다. 다만 bare matrix에 용사하는 시험편은 기준시험편에 B를 유첨하였다.

용사방법으로는 carbide용사의 경우 HVOF 방법과 plasma 방법을 사용하였고, oxide용사의 경우에 HVOF법은 연소중 산화분위기로 인해 상변화의 우려가 있으므로, plasma법을 사용하였다.<sup>2)</sup> 여기에서 alumina coating용 bond coat의 재료로는 NiCr/Al95/5 (Metco443)를 사용하였다.

코팅전, 모재는 산세처리 및 alumina powder blasting 등의 전처리를 실시하였으며, 모재와의

compatibility(열팽창계수, 탄성계수 등의 부합성)를 향상시키고 표면경도를 향상시키기 위한 시도의 하나로 일부 시험편에 가스 침탄을 실시하였다. 침탄처리 시험편명은 기본시험편명에 C를 유첨하였다.

여러 가지 용사 방법<sup>2,4,5)</sup> 중, 본 연구에서는 capstar에 요구되어지는 코팅 조직과 품질에 적합한 HVOF 법 및 plasma 법을 사용하였다. 용사법의 효율을 극대화시키기 위하여, 화염의 온도, 용융입자의 비산속도, 용사분위기, power, 가스배합율, specimen rotation velocity등의 용사조건변수<sup>6)</sup>를 검토하여 최적공정조건을 사용하였다. 본 실험에 적용된 용사 공정 변수는 표 2(a), (b)와 같다.

각 시험편의 후처리는 과도한 산화방지를 위해 진공로를 사용하였으며, 세라믹 용사층의 조직치밀화를 기하되 모재의 열화를 최대한 방지하기 위하여 가급적 낮은 온도로 예상한 1000°C에서 5시간의 열처리를 실시하였으며, 급격한 냉각에 의한 계면의 불안정화를 방지하기 위해 노냉을 실시한 후, 계면특성분석

Table 1. Specimen designation

Specimen	Coating Materials	Process	Remarks
HWCO	WC+12%Co	HVOF	
HCRC	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	HVOF	
PWCO	WC+12%Co	Plasma	
PCRC	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	Plasma	
PALO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Plasma	

Table 2(b). HVOF 용사 parameter

공정변수	용사재료	
	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	WC-12%Co
Barrel Length	8	8
Oxygen Pressure (psi)	158	160
Oxygen Flow(scfh)	1800	1800
Fuel Pressure (psi)	107	110
Fuel Flow (gph)	5.5	6.0
spray distance (mm)	380	380
용사각도 (degree)	90	90
좌우이송속도 (mm/sec)	200	200
robot 이송폭(평면)	8	8

Table 2(a). Plasma 용사 parameter

공정변수	용사재료			비고
	WC-12%Co	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	bond+alumina	
Arc Gas Press.(Ar)	50 psi	50 psi	50 psi	
Aux Gas Press.(He)	100 psi	100 psi	100 psi	
Powder Gas Press(Ar)	(20) psi	40 psi	(20) psi	
Ampere (A)	800	800	900	
Voltage (V)	40	40	40	
Hopper RPM	3.00	3.00	3.00	
Spray Distance (mm)	60	60	60	
용사각도(degree)	90±5°	90±5°	90±5°	
좌우이송속도(mm/sec)	100	100	100	
robot 이송거리(mm)	3	3	3	상승

과 조직치밀도를 조사하였다. 진공열처리 시편명은 기본 시편명에 1000을 유첨하였다. 또한 용사공정 특성상 잔류하는 기공은 요구되는 기계적 성질을 저하시키므로 코팅조직의 치밀화를 위하여, epoxy봉공처리를 실시하였다. 봉공처리 시편명은 기본시편명에 E를 유첨하였다.

용사시편 및 후처리 시편에 대한 제반 기계적 성질평가를 위해, 전식마모시험(pin-disk 마모시험), 접착력시험(ASTM D2714-68) 및 미세경도시험(Hv)을 실시하였고, 물성시험 및 조직점사를 위해, 광학현미경, XRD, SEM 및 EDX분석을 실시하였다. 마모시험은 전식 pin-disk 마모시험기를 사용하였으며, 실험조건으로는 SUS 316재질의 4 mm $\Phi$  pin을, 회전속도 850 rpm, load 3 Kgf, range는 20 mV로 설정하였으며, 각회별로 20분간격 작동한 후 무게감소량과 마찰계수의 변화를 관찰하였다. 마찰계수 사용식은  $F = \mu N$ 을 사용하였다. 여기서 F=하중, N=수직하중,  $\mu$ = 마찰계수이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 capstan용 모재의 재료로는 S45C 또는 S40C가 사용되고 있으며, 코팅재로는 내마모특성 향상을 목적으로 WC+Co, bond coating + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 등이 적용되고 있다. 최근자료에 의하면 Cr-C계 용사 시편의 대기 중 열처리 시 600°C, 800°C, 1000°C에서 50시간 열처리한 경우 제반 기계적 성질의 향상이 보고된 바 있으나,<sup>7)</sup> 본 연구에서는 대기중 1000°C에서 5시간 열처리한 결과 표면에 심한 산화층이 형성되고 코팅층이 분리되는 등의 문제점이 관찰되었다. 따라서 이와 같은 과도한 산화를 방지함과 동시에, 조직의 치밀화를 위하여 1000°C에서 5시간 내외의 진공열처리를 실시한 후, 계면특성분석

과 미세조직을 조사하였다.

금속선재의 신선공정 중 capstan에는 선재 접촉부의 용사입자가 쉽게 분리되고 나아가 자리매김 현상이 발생하고 있는데, 이 원인 중의 하나가 선재 접촉부에 집중응력이 작용하여 모재의 탄성변형 또는 국부 소성변형으로 인해 코팅층과의 계면부합성을 상실하여 코팅층이 국부 분리될 수 있다는 가정 하에 코팅층 하부 모재의 표면 경도를 향상시키는 방안을 고려하였으며, 모재의 표면처리방안으로 1 mm 내외의 침탄층을 입힌 후 coating하는 방안을 시도하였다. 그러나 침탄효과에 따른 용사층의 기계적성질의 변화는 거의 확인 할 수 없었다. 또한 내마모특성을 향상시키고 봉공효과를 높이기 위한 방안으로 Pb 용침 및 epoxy 봉공처리<sup>4)</sup>를 실시하였다. 기공에 Pb를 용침시키기 위해 Pb 분말층을 형성시킨 후 진공열처리(500°C, 2 hr)를 시도하였으나, SEM 및 EDX 분석결과 Pb의 침투효과가 거의 없었으며, 따라서 본 실험에서의 봉공처리는 epoxy sealing방법을 사용하였다.

#### 3.1. 경도시험 및 접착강도 시험

각 시편에 대한 경도시험결과는 표 3과 같이 HVOF법에 의한 carbide용사가 alumina용사보다 높은 것으로 나타났고, WC와 Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> 모두 HVOF법에 의한 용사가 plasma법에 의한 것보다 경도값이 훨씬 높은 것으로 관찰되었다. 침탄 전후의 경도값의 변화는 미미한 것으로 코팅층의 경도에 영향이 없는 것으로 관찰되었다. Cr carbide의 경우에 진공열처리 후 경도값이 다소 증가하였으나, WC의 경우에는 실험오차를 고려할 때, 변화가 거의 없는 것으로 관찰되었다.

접착강도시험(ASTM-D2714) 결과 carbide 용사코팅은 30 MPa 이상을 보인 반면, alumina 용사코팅

Table 3. 경도시험 결과

Bare Matrix+Coating		Carburization+Coating		Coating+Vacuum Heat Treat	
시편	경도(Hv)	시편	경도(Hv)	시편	경도(Hv)
HCRC-B	1046.4	HCRC-C	1021.8	HCRC-1000	1127.5
PCRC-B	841.7	PCRC-C	851.4	PCRC-1000	859.2
HWCO-B	1501.7	HWCO-C	1570.8	HWCO-1000	1580.5
PWCO-B	480.3	PWCO-C	520.4	PWCO-1000	519.2
PALO-B	905.6	PALO-C	840.4	PALO-1000	-

Table 4. 접착강도 시험 결과

시편명	PALO-B	HWCO-B	HWCO-1000	HCRC-B	HCRC-1000
접착강도(MPa)	230	503	515	525	530

은 18 MPa로 관찰되었다. 그러나 본 시험법에 의한 접착강도는 코팅 분리 계면의 크기에 관계없는 값으로서 실제 접착강도를 나타내지 못한다는 가정하에 코팅분리 단면을 확대 복사하여, 국부적으로 coating 층이 분리된 면적을 tracing 하여 코팅분리 단면을 추정하여 실접착강도를 계산하여 표 4에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 carbide계열의 용사는 전반적으로 접착강도가 우수한 반면 alumina 용사코팅은 상당히 낮게 관찰되었다. 또한 경도 실험에서 나타난 결과와 유사하게 plasma용사에 의한 carbide계열의 용사접착강도도 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 접착강도 시험시 일부 시편에서 에폭시 층만 분리되는 경우가 있었는데, 이는 에폭시 접착계면의 평활도 정도에 따라 순수인장이 아닌, 일부 계면에 전단용력이 작용된 것으로 사료되었다.

진공열처리시편의 접착강도시험은 carbide계열(HCRC, HWCO)에만 실시하였으며, 경도 실험을 병행한 결과, 진공열처리 후 HCRC시편은 접합강도 및 경도가 다소 증가되었음을 보여주고 있으며, 이는 용사조직의 치밀화에 의한 것으로 추정되었다. 그러나, HWCO의 경우에는, 실험오차를 고려할 때 접착강도의 실질적인 향상이 이루어졌다고 보기는 어렵다고 판단되었으며, 이는 해당 열처리온도가 WC계열에 대한 조직치밀화 온도로서는 다소 낮은 때문인 것으로 추정되었다. 또한 여기에 조직치밀화 효과와 열처리시 열팽창계수 차이에 의한 계면의 결합력 감소가 상호 상쇄된 영향도 배제할 수 없었다. 더 높은 온도에서 WC용사 시편을 후처리할 경우 모재의 상변화 또는 계면 박리 등의 열화요소가 있으므로 신중한 검토가 요구되리라 사료된다.

### 3.2. 미세 조직시험 및 XRD 시험 결과

SEM을 이용한 미세조직 관찰결과 그림 1~2, 5~6과 같이, carbide(HWCO, HCRC)의 경우 HVOF용사가 플라즈마에 의한 용사보다 치밀한 조직을 보여주고 있으며, alumina용사는 그림 9와 같이 기계적 성질에 비해 조직이 치밀한 것으로 관찰되었다. SEM



Fig. 1. SEM Micrograph of HWCO-B.



Fig. 2. SEM Micrograph of PWCO-B.

image 분석을 통한 개략적인 기공율 측정결과 그림 1~9와 같이 PALO, HCRC, HWCO에는 기공이 10 vol.% 미만으로 나타났고, PWCO 및 PCRC는 10%를 상회하는 것으로 나타났다. 침탄시편의 경우 침탄층에 의한 조직의 변화는 미미한 것으로 관찰되었다. 후처리 시편의 경우에는 HCRC-1000 및 HWCO-1000시편의 계면특성을 분석한 바, 그림 3~4, 7~8과 같이, 코팅층의 치밀화 및 기공의 수축이 관찰되었으며, 잔류기공은 대략 5%로 계산되었다. Epoxy로 도포 후 100°C에서 10시간 동안 균열치리를 하고 봉공치리를 한 단면을 광학현미경으로 관찰하였으나,

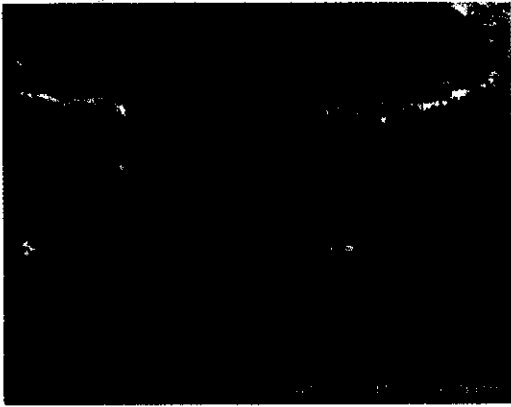


Fig. 3. SEM Micrograph of HWCO-C.

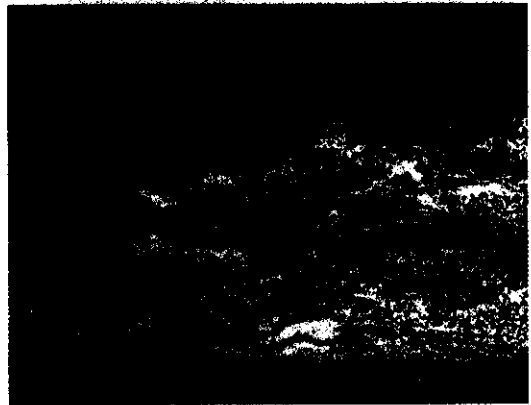


Fig. 6. SEM Micrograph of PCRC-B.

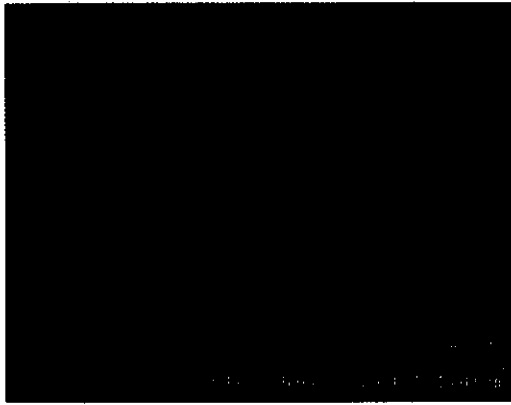


Fig. 4. SEM Micrograph of HWCO-1000.

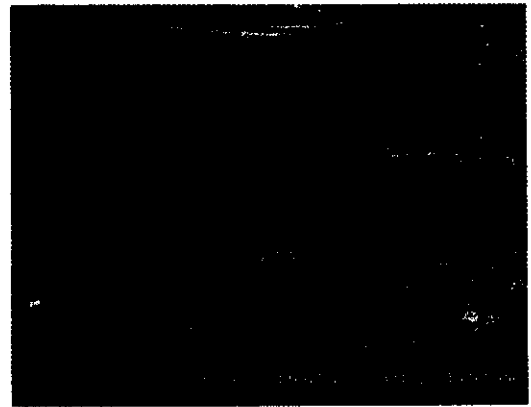


Fig. 7. SEM Micrograph of HCRC-C.

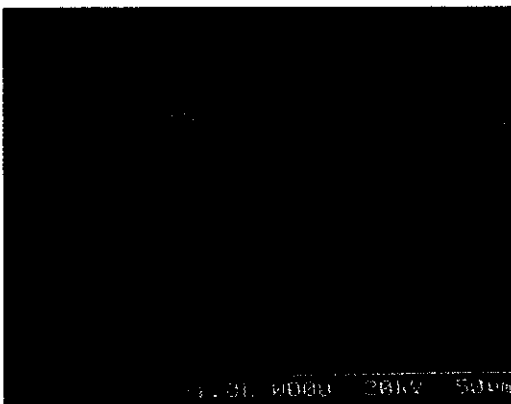


Fig. 5. SEM Micrograph of HCRC-B.

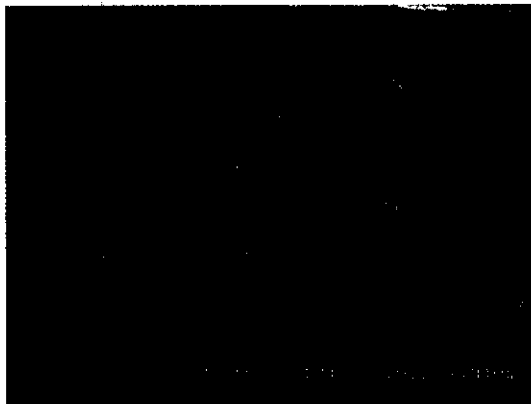


Fig. 8. SEM Micrograph of HCRC-1000.

epoxy의 투명성 때문에 관찰이 용이하지 않았으며, SEM 관찰결과에서도 epoxy 등의 부도체에서 흔히 보여지는 charging효과가 충분치 않아 봉공여부를 확

인하기가 어려웠다.

HCRC, HCRC-1000 시편에 대한 XRD 실험결과, 그림 10과 같이 열처리 전후의 XRD pattern에 큰

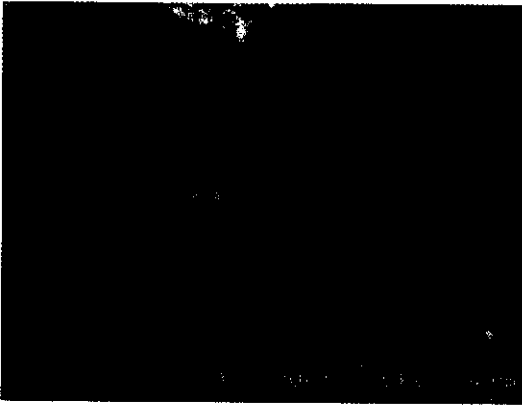


Fig. 9. SEM Micrograph of PALO-B.

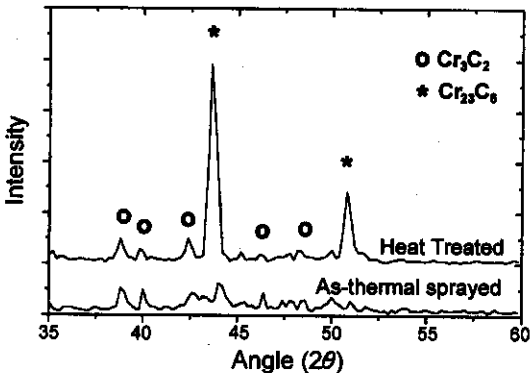


Fig. 10. XRD pattern of HCRC.

변화가 확인되었으며, 열처리에 의한 peak sharpening 효과뿐만 아니라 carbide phase의 안정화를 확인할 수 있었다. As-sprayed 시편의 경우 Cr carbide의 phase는  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_{23}C_6$ 으로 존재하나, 열처리시 준안정상의  $Cr_3C_2$ 가 안정상의  $Cr_{23}C_6$ 로 상변화<sup>8)</sup>가 진행됨을 알 수 있었다. 이와 같은 사실은 열처리 전후의 SEM조직의 비교분석에서 뒷받침되고 있는데, 그림 5와 7에 나타난 바와 같이 열처리 전의 조직에서는 coating층 내에 검은색의 입자부분( $Cr_3C_2$ )이 확연히 구별되나, 열처리한 후에는, 그림 8과 같이, 상의 구별이 없어져  $Cr_{23}C_6$ 으로 상변화를 하였음을 추정할 수 있었다. 이와 같은 결과를 토대로 HCRC시편의 열처리시 조직치밀화 및 상의 안정화가 이루어지며 이들이 접착력 및 경도값 향상에 기여한다는 것을 알 수 있었다.

반면, HWCO, HWCO-1000시편에 대한 XRD 결과는 그림 11과 같이 열처리 전후의 XRD

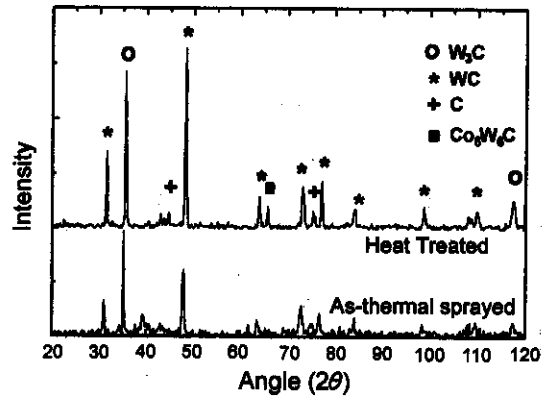


Fig. 11. XRD pattern of HWCO.

pattern에 큰 변화가 없는 것으로 관찰되었다. 여기에서 열처리에 의한 peak sharpening은 확인할 수 있었으나 phase의 안정화는 확인하기가 어려웠다. WC의 상으로는  $W_3C$ , WC로 존재하며, Co는 순수 phase 보다는  $Co_6W_6C$ 의 상태로 존재하는 것을 알 수 있었다. 그러나 열처리시 일부 carbide가 분해되어 단상의 carbon으로 해리됨이 관찰되었다. 이와 같은 결과는 HWCO 시편이 이 온도에서의 열처리 전후에 접착력 및 경도값이 크게 변하지 않음을 뒷받침하고 있다.

### 3.3. 마모시험 결과

As sprayed, heat treated, epoxy 봉공처리 시편에 대한 pin-disk 시험에 의한 마찰계수를 표 5에 나타내었다. 결과와 같이 carbide 계열은 전반적으로 마찰계수가 낮은 반면 alumina 계열은 상당히 높은 것으로 관찰되었다. Plasma용사에 의한 carbide용사층의 마찰계수는 HVOF법에 의한 것에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 HVOF법에 의한 carbide용사결과는 HWCO계열이 HCRC계열보다 마찰 특성이 다소 우수한 것으로 관찰되었으며, epoxy 봉공처리 후의 내마모시험결과는 HCRC의 경우 마찰계수의 감소가 확인되었으나 HWCO에는 큰 차이가 없었다. 또한 진공열처리 후의 마찰계수는 개선이 되지 않았거나, 오히려 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 시편의 조도의 영향 또는 그림 12와 같이 pin이 시편에 소착되어 영향을 미친 것으로 추정되었다.

Table 5. Pin-disk 마모시험 결과

Specimen	마찰계수( $\mu$ )			비고
	초기	안정화초기	안정화 말기	
PALO-B	0.50	0.36	0.38	
PALO-C	0.54	0.46	0.46	
PWCO-B	0.36	0.36	0.37	
PWCO-C	0.37	0.33	0.30	
HWCO-B	0.22	0.22	0.21	
HWCO-E	0.26	0.24	0.26	
HWCO-1000	0.23	0.24	0.24	
HCRC-B	0.25	0.23	0.24	
HCRC-E	0.17	0.16	0.18	
HCRC-1000	0.23	0.27	0.30	
HCRC-1000E	0.24	0.26	0.26	

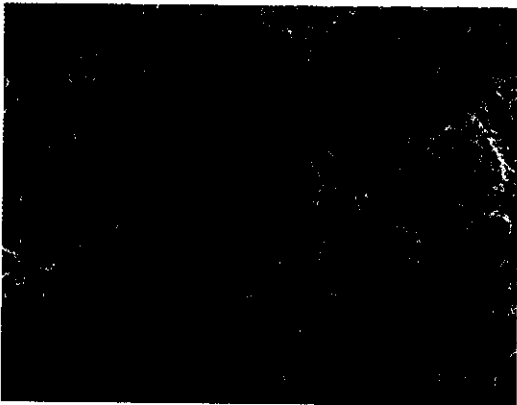


Fig. 12. SEM micrograph of as-abrasive tested specimen (HCRC-B).

마모시험에 따르는 무게감소율에 의한 carbide의 내마모특성은 그림 13과 같이 HVOF 법에 의한 용사가 plasma 법에 비해 상대적으로 우수한 것으로 확인되었다. 또한 as-sprayed alumina 용사코팅층은 마모시험 중 심한 자리파임 현상을 보였다. HVOF법에 의한 carbide용사결과는 HWCO계열이 HCRC계열보다 다소 우수한 것으로 관찰되었으며, epoxy 봉공처리 후의 내마모 시험결과는 처리 전에 비해 큰 차이가 없었다. 이와 같이 기계적 특성평가에서 예측된 마모특성의 효과가 크지 않은 것은 그림 12와 같이 일부 표면에 pin이 소착되어 실질적인 무게 감소량에 영향을 미친 영향으로 추정 할 수 있었다. 따라서, 보다 정확한 마모시험결과를 위하여는 test시 실제 pin 무게의 감소량 측정을 병행할 필요성을 있다

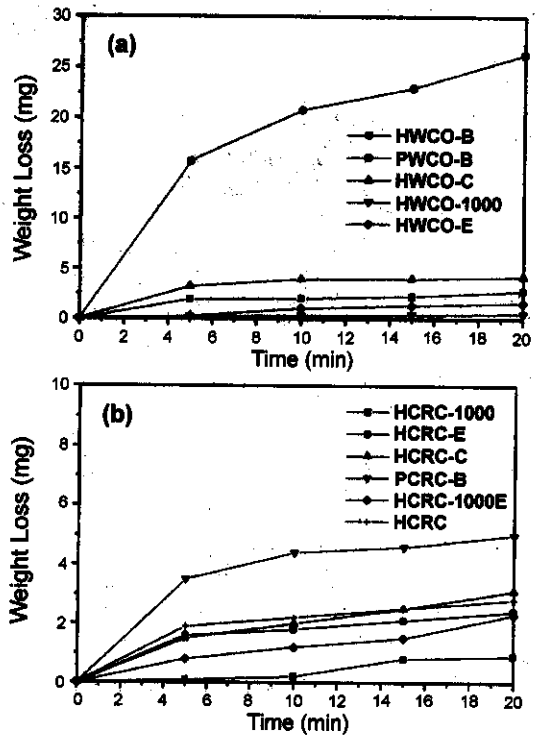


Fig. 13. weight loss as a function of time during pin-disk abrasive test. (a) WC (b) CRC

는 것을 알 수 있었다.

제반 기계적 성질, 내마모 시험, 조직시험 등을 통하여 볼 때, capstan에는 HVOF법에 의한 WC 용사코팅이 우수한 특성을 나타내리라 예상할 수 있으나, 경제성을 고려할 때 HVOF 법에 의한 Cr carbide의 용사가 바람직하다고 사료되며, post-treatment로서 진공열처리와 epoxy-sealing을 통하여 상안정화와 조직치밀화를 유도하여 내마모성을 향상시키는 방안이 효율적이라 사료된다.

#### 4. 결 론

1. HVOF법에 의한 Carbide 계열( $Cr_3C_2$ , WC)의 용사코팅이  $Al_2O_3$  코팅보다 기계적 성질이 우수한 것으로 나타났고, carbide의 용사는 HVOF법에 의한 용사가 plasma법에 비해 기계적 성질이 훨씬 우수한 것으로 관찰되었다. HCRC시편은 진공 열처리 후 조직치밀화에 의해 접합강도 및 경도가 향상되었으나, HWCO시편의 경우에는 변화가 거의 없었다.

2. 미세조직 분석결과, carbide 용사 경우 HVOF법에 의한 용사가 plasma에 의한 것 보다 치밀한 조직을 보여주고 있으며, post-treatment후 조직 및 접합계면의 치밀화, 기공의 수 및 기공의 감소가 관찰되었다. 진공열처리 후 HCRC 시편은, 준안정상의  $Cr_3C_2$ 가 안정상의  $Cr_{23}C_6$ 로 상변화가 진행되어 이들이 접착력 및 경도값 향상에 기여한다는 것을 알 수 있었다. HWCO시편은 열처리 후 상변화를 확인하기가 어려웠으며, 이에 따른 기계적 성질의 변화 또한 거의 없었다.

3. 마모시험결과, carbide의 내마모특성은 HVOF법에 의한 용사가 plasma용사에 비해 상대적으로 우수한 것으로 확인되었다. Carbide코팅은 전반적으로 마찰계수가 낮은 반면 alumina코팅은 상당히 높은 것으로 관찰되었으며, alumina 코팅은 시험 중 심한 마모 현상을 보였다. Plasma용사에 의한 carbide용사 코팅의 마찰계수는 HVOF법에 의한 것에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, HVOF법의 경우 HWCO계열의 마찰계수가 HCRC계열보다 다소 낮게 나타났다. Epoxy 봉공처리 후의 내마모시험결과는 Cr carbide의 경우 다소의 개선이 확인되었다.

4. Capstan에는 HVOF법에 의한 WC 용사코팅이 우수하리라 예상되나, 경제성을 고려할 때 HVOF법에 의한 Cr carbide의 용사가 바람직하다고 사료되며, post-treatment로서 진공열처리와 epoxy-sealing을 통하여 상안정화와 조직치밀화를 유도하여 내마모성을 향상시키는 방안을 제시하였다.

### 참고문헌

1. S. M. Meier, D. K. Gupta and K. D. Sheffler : JOM, Mar. (1981) 50.
2. 황순영, 성병근, 김문철 : 한국분말야금학회지, 3(2) (1996) 79.
3. 서동수 : 월간세라믹스, 5 (1992) 72.
4. 현도빈 외 : 한국과학기술연구원 연구보고서, UCE1424-5888 (1996) 159.
5. 이예근 : 월간세라믹스, 5 (1992) 68.
6. P. Vouristo, K. Niemi, A. Makela, and T. Matyla: Thermal spray coatings: Research, Design, and Applications, Proc. of 5th Nat'l Thermal Spray Conf., ASM Int. (1993) 173.
7. 김병희, 서동수, 한국재료학회지, 7(11) (1997) 934.
8. W. C. Leslie, The Physical Metallurgy of Steels, McGraw-Hill (1985) 370.