

폭발용사에 의한 내에로전성 서멧 피막 코팅에 관한 연구

A Study on the Erosion-Resistant Cermet Film Coating using the Detonation Spray Method

김 현 근*, 남 인 철*, 오 재 환**, 김 영 식***

* 한국해양대학교 대학원 재료공학과

** 삼공사(주) R&D부

*** 한국해양대학교 기계소재공학과

1. 서 론

폭발용사는 폐쇄된 관내에 연료와 적당량의 산소를 충전하여 점화시킴으로서 초고속 충격파를 수반하는 폭발현상을 이용하여 세라믹과 같은 고용점의 용사피막을 코팅하는 기술이다. 이 용사법은 용사입자의 비행속도가 산소·아세틸렌 혼합기체를 사용할 경우 음속의 2~4배에 달하기 때문에 모재에 대한 투묘효과가 대단히 높아 밀착성이 매우 우수한 피막을 얻을 수 있는 용사법이다.

폭발용사와 플라즈마 용사의 차이는 화염의 온도는 플라즈마 쪽이 훨씬 높고, 화염의 유속은 폭발용사 쪽이 훨씬 높다. 탄화물계 서멧 용사의 경우 화염의 온도가 너무 높으면 탄화물 세라믹스의 분해가 격렬하게 되고, 유속이 낮아지면 입자가 공기 중의 산소와 접촉하는 시간이 길게되어 탄화물 중의 탄소가 산화하게 되어 탄화물 서멧의 특성을 저하시킨다.^{(1)~(2)}

폭발용사는 그 개발 역사가 짧아 각종 용사재료를 이용한 피막 코팅 방법과 코팅 피막 특성에 대한 자료가 축적되어 있지 않은 실정에 있다. 본 연구에서는 내식성·내마모성이 여타의 재료에 비해 탁월한 것으로 평가된 탄화물 서멧 재료를 사용하여 폭발용사로 피막 코팅을 실시하여 이에 대한 여러 가지 특성을 조사하였다. 이러한 결과들은 동일재료를 이용한 기존의 플라즈마 용사피막과도 비교·고찰하였다.

2. 실험방법

용사에 사용한 금속 모재는 높은 강도와 내에로전성을 가지며 내산성, 내공식성이 탁월한 SUS329S1급 2상 스테인리스 강재로서 두께 12mm의 판재를 이용하였다. 용사코팅용 서멧 재료로서는 내마모성, 내에로전성, 내식성 특성이 가장 우수한 것으로 알려진 WC계와 Cr₃C₂계를 선택하였다. Table 1은 이들 서멧 재료의 화학성분과 입자의 크기를 나타낸 것이다. 소지금속은 용사에 앞서 그 표면을 조면화하기 위해 Al₂O₃ #46으로 그리트 블라스팅(Grit Blasting)을 실시하였다.

폭발용사장치로서는 연속폭발시스템 (CDS gun : Continuous Detonation System Gun)을 사용하였다. 연료기체는 산소-프로판 혼합기체를 사용하였으며, 클리닝 기체는 질소를 사용하였다. 용사거리의 연료혼합비율, 혼합기체의 유량, 클리닝 기체의 유량은 일정하게 하고 용사조건 중에서 가장 크게 영향을 미치는 용사거리를 변화시켜, WC계와 Cr₃C₂계 서멧 재료에 대해 각각 3조건씩 총 6가지 조건의 시험편을 제작하였으며, 비교재로서 폭발용사와 똑같은 동일재료를 이용하여 플라즈마용사 코팅 시험편을 제작하였다. Table 2는 폭발용사 시험편의 표시와 그에 따른 용사조건을 나타낸 것이며, Table 3은 비교재인 플라즈마용사 시험편의 표시와 그에 따른 용사조건을 나타낸 것이다.

블라스트 에로전 시험은 블라스트 장치를 이용하여 6mmφ의 노즐을 통해 250kPa의 압력으로 블라스트재를 용사피막 표면에 분사하여 탈락된 피막의 무게를 10⁻⁴g 단위까지 측정하여 평가하였다. 블라스트 각도는 30°, 노즐로부터 용사피막 표면까지의 거리는 100mm로 하였다. 블라스트 재료는 Al₂O₃ #46으로 1분간 분사하였다.

어브레시브 에로전 시험은 ASTM-G65-91 표준에 의거하여 건식고무바퀴 마모시험법에 의해 평가하였다.

용사피막의 캐비테이션 에로전 시험은 표준 ASTM G32를 개량한 개량형 캐비테이션 시험법을 이용하여 평가하였다.⁽³⁾

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 Al_2O_3 #46 입자를 이용하여 1분간 블라스트 에로전 시험 후 그 결과를 나타낸 것이다. 여기서 떨어져나간 피막은 시험기간 동안의 무게감량을 측정하여 용사재료 분말의 비중 값을 이용하여 환산한 것이다. 이 결과에 의하면 폭발용사의 경우에는 WC계(W1, W2, W3) 피막과 Cr_3C_2 계(C1, C2, C3) 피막사이엔 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 동일재료를 이용한 폭발용사피막과 플라즈마 용사피막(PW, PC) 사이에서는 큰 차이를 보이고 있다. 특히 WC계의 경우에는 플라즈마 용사시 내어로전성이 크게 저하하고 있음을 보이고 있다.

Fig. 2는 어브레시브 에로전 시험 결과를 나타낸 것이다. 이 결과는 200회전 어브레시브 시험 동안 무게 감량을 측정하여 용사분말의 비중 값을 고려하여 계산한 값이다. 이 결과에 의하면 폭발용사의 경우에는 WC계 피막이 Cr_3C_2 계 피막에 비해 우수한 내어로전성을 보이고 있다. 동일 분말재료에 의한 폭발용사피막과 플라즈마용사피막을 비교하면 플라즈마 용사피막의 내어로전성이 크게 저하하고 있음을 보이고 있다. 그리고 동일계 재료의 경우 용사거리가 200mm에서 가장 우수한 내어로전성을 보이고 있다. 또한 모재와의 어브레시브 에로전성을 비교하면 WC계 피막재료를 이용한 폭발용사피막은 모재보다 내어로전성이 우수하지만, Cr_3C_2 피막의 경우나 플라즈마용사피막은 모재보다 저하된 특성을 보이고 있다. 위의 결과로부터 용사피막의 어브레시브 에로전 특성은 피막의 경도 및 조직특성과 밀접한 관련을 갖고 있음을 알 수 있다. 즉 조직이 치밀하고 경도가 높은 피막은 어브레시브 에로전성이 그만큼 우수하여 WC계를 이용한 200mm거리의 폭발용사피막이 가장 우수한 내어로전을 보이고 있다.

Fig. 3은 캐비테이션 에로전 시험결과를 나타낸 것이다. 이 결과는 자연 해수 중에서 4시간 동안 캐비테이션 시험 후 무게감량으로부터 계산한 것이다. 이 결과에 의하면 모든 용사피막에서는 모재보다 큰 에로전이 나타나고 있으며, 폭발용사의 경우가 플라즈마용사의 경우보다 더 우수한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 이 시험법에 의한 결과는 어브레시브 에로전 시험 결과와는 반대로 WC계 폭발용사피막이 Cr_3C_2 계 피막보다 큰 에로전이 나타나고 있음을 보이고 있다.

WC계 폭발용사피막과 Cr_3C_2 계 피막 사이에 어브레시브 에로전성과 캐비테이션 에로전성에 있어서 서로 반대되는 결과를 나타내는 원인을 규명하기 위해 캐비테이션이 일어난 면의 SEM분석을 실시하였다. WC계 폭발용사피막의 경우에는 다수의 보이드(Void)가 나타나 있는 반면 Cr_3C_2 계 폭발용사피막에서는 보이드가 나타나 있지 않으며, 양쪽 모두에서 입자가 떨어져 나간 입계면과 시어립(Shear lip)의 양상을 보이고 있다. 캐비테이션 에로전 현상은 피로균열의 발생과 입계면을 따르는 전파거동에 의해 발생하는 현상으로 보고되고 있다. 따라서 캐비테이션 에로전은 피로균열의 발생장소인 미세한 응력집중부가 많으면 그 만큼 많이 일어난다고 생각할 수 있다. WC계 폭발용사피막은 미용용 상태의 WC입자가 용융상태로 용사된 NiCr의 기지조직과 복합된 구조로 되어 이 계면에서 응력집중이 일어나 캐비테이션 에로전이 많이 일어나나, Cr_3C_2 계 폭발용사피막은 Cr_3C_2 입자와 기지 금속이 다 같이 용융상태의 입자로 적층되어 그 계면에서의 응력집중 효과가 나타나지 않기 때문에 에로전량이 작게 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결론

내식, 내마모용으로 널리 사용되고 있는 WC계와 Cr_3C_2 계의 탄화물계 서멧 재료를 고강도, 고내식성의 SUS329J1급 2상 스테인리스강재 표면에 폭발용사법과 플라즈마 용사법에 의해 피막을 형성하였다. 이 피막에 대한 블라스트 에로전, 어브레시브 에로전 및 캐비테이션 에로전 특성을 여러 가지 조건에서 조사한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

1. 폭발용사시 산소와 연료와의 혼합비(1.4:1), 혼합기체의 유량(48 l/min)의 조건에서 용사거리 200mm에서 가장 우수한 조직과 내 부식성, 내 에로전성을 갖는다.
2. 어브레시브 에로전성은 폭발용사에 의한 WC계 서멧 피막은 소지금속보다 더 우수한 특성을 나타내나, WC계의 플라즈마 용사피막과 Cr_3C_2 계 폭발용사 피막 및 Cr_3C_2 계 플라즈마 용사피막은 소지금속보다 더 저하된 특성을 나타낸다.
3. 캐비테이션 에로전성은 모든 용사조건에서 소지금속보다 저하하며, 어브레시브 에로전성과는

반대로 Cr₃C₂계 폭발용사 피막이 WC계 폭발용사 피막보다 더 우수한 특성을 나타낸다.

5. 참고문헌

- (1). 表面改質技術總攬編集委員會 : 表面改質技術總攬. (1993). p 719~747
- (2). Tani K., Nakahira A. : Application of HVOF Sprayed WC Cermets Coating for Paper Mills. P of the 15th International Thermal Sprays Conference. (1998) Nice France, p 1097
- (3). 김영식, 김영식 : 티타니아 세라믹 용사피막의 強度向上에 관한 연구, 대한용접학회지 Vol.10 No.4 (1992) p 181

Table 1. Chemical Compositions of Spraying Materials (wt%)

	C	Cr	Ni	Fe	W	Nominal particle size
WC-NiCr	5.90	20.25	4.65	<2.0	RE	-45 + 15 μ m(-325mesh + 15 μ m)
Cr ₃ C ₂ -NiCr	9.5	70.5	20			-45 + 11 μ m(-325mesh + 11 μ m)

Table 2. Specimen designation and Spraying Conditions for Detonation Spraying

Specimen designation	Powder	Oxy : Propane Mixing Ratio	Flow Rate of Mixture Gas	Cleaning Gas & its Flow Rate	Spraying Dist (mm)
W1	WC-NiCr	1 . 4 : 1	48 l/min	N ₂ , 20 l/min	200
W2	WC-NiCr	1 . 4 : 1	48 l/min	N ₂ , 20 l/min	250
W3	WC-NiCr	1 . 4 : 1	48 l/min	N ₂ , 20 l/min	300
C1	Cr ₃ C ₂ -NiCr	1 . 4 : 1	48 l/min	N ₂ , 20 l/min	200
C2	Cr ₃ C ₂ -NiCr	1 . 4 : 1	48 l/min	N ₂ , 20 l/min	250
C3	Cr ₃ C ₂ -NiCr	1 . 4 : 1	48 l/min	N ₂ , 20 l/min	300

Table 3. Specimen designation and Spraying Conditions for Plasma Spraying

Specimen designations	Powder	Gun Model	Plasma Gas Flow (l/min)	Ampere (A)	Voltage (V)	Powder Feeding Rate (gr/min)	Spraying Distance (mm)
PW	WC-NiCr	GE731	Ar 100 H ₂ 8	400	57	60	75
PC	Cr ₃ C ₂ -NiCr	GH732	Ar 100 H ₂ 8	500	68	42	62

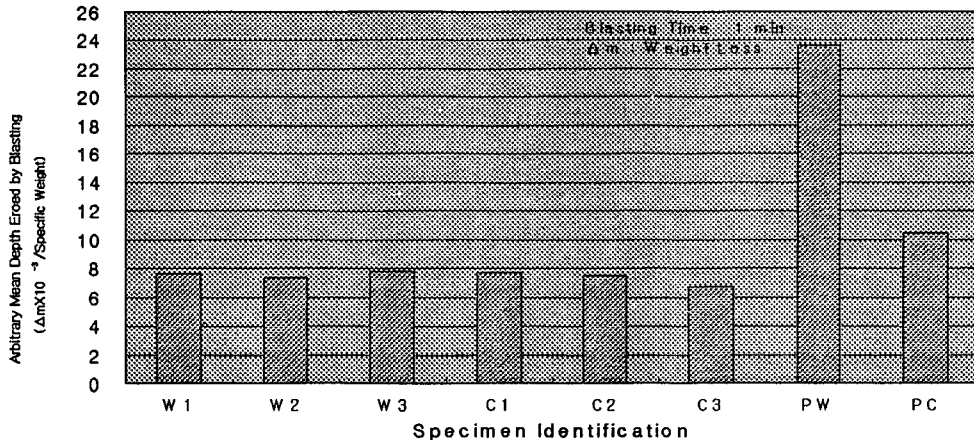


Fig. 1 Result of Blast Erosion Test

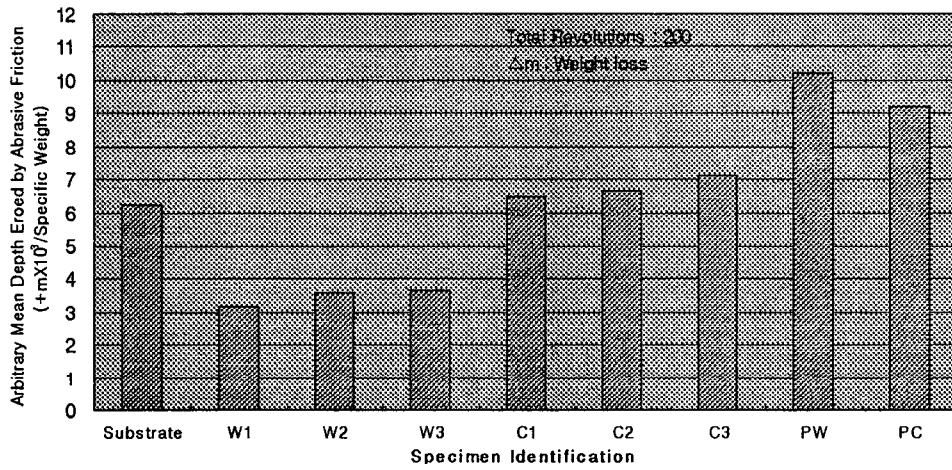


Fig. 2 Result of Abrasive Erosion Test

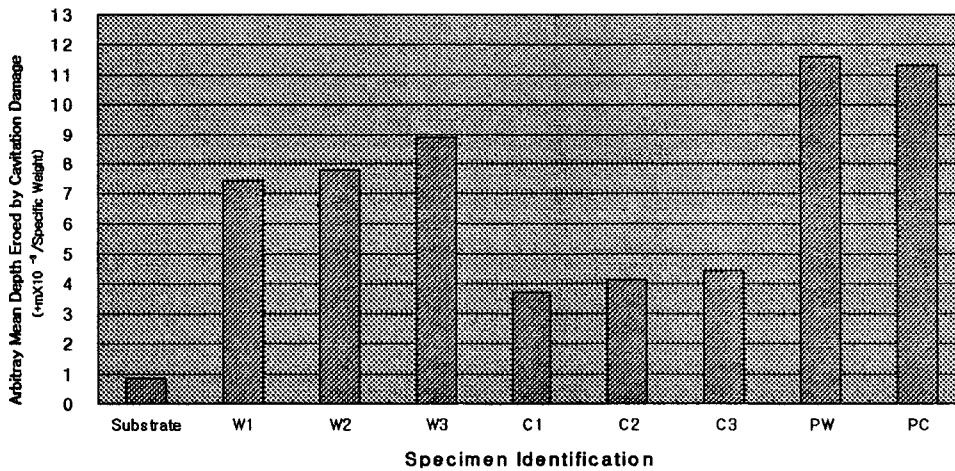


Fig. 3 Result of Cavitation Erosion Test