CORROSION SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol.11, No.6(2012), pp.263~269

구리합금에 대한 WC-27NiCr 초고속화염용사 코팅층의 해수내 캐비테이션 특성 평가

한 민 수[1]·김 민 성[2]·장 석 기[1]·김 성 종[1,†]

[1]목포해양대학교 기관시스템 공학부, 전라남도 목포시 해양대학로 91
[2](주)디섹, 경상남도 거제시 아주동 1번지

(2012년 12월 03일 접수, 2012년 12월 24일 수정, 2012년 12월 24일 채택)

Evaluation of Cavitation Characteristics in Seawater on HVOF Spray Coated Layer with WC-27NiCr Material for Cu Alloy

Min-Su Han[1], Min-Sung Kim[2], Seok-Ki Jang[1], and Seong-Jong Kim[1,†]

[1]Faculty of Marine Engineering, Mokpo Maritime University, Jeonnam, 530-729, Korea
[2]DSEC, 1, Aju-dong, Geoje-si, Gyeongnam, 656-714, Korea

(Received December 03, 2012; Revised December 24, 2012; Accepted December 24, 2012)

Copper alloys are commonly applied to ship's propellers, pumps and valves which are serviced in seawater due to their good castability and corrosion resistance. In the environment of high flow velocity, however, erosion damage predominates over corrosion damage. In particular, the cavitation in seawater environment accelerates surface damage to copper alloys, resulting in degradation of products and economic losses and also threatening safety. The surface was coated with WC-27NiCr by high velocity oxygen fuel(HVOF) spraying technique to attain durability and cavitation resistance of copper alloys under high velocity/pressure flow. The cavitation test was performed for the WC-27NiCr coating deposited by HVOF in seawater at the amplitude of 30 μm with seawater temperature. The cavitation at 15 ℃ caused exfoliation of the coating layer in 17.5 hours while that of 25 ℃ caused the exfoliation in 12.5 hours. When the temperature of seawater was elevated to 25 ℃ from 15 ℃, more damage was induced by over 160%.
Although WC-27NiCr has good durability, corrosion resistance and eletrochemical stability, the cavitation damage rate of the coating layer could remarkably increase at the elevated temperatures under cavitation environments.

Keywords *: copper alloy, high velocity oxygen fuel(HVOF), cavitation, WC-27NiCr coating, exfoliation*

1. 서 론

산업의 고도화로 선박, 조력 및 원자력 발전설비 등은 가혹한 부식환경과 함께 재료의 높은 내구성과 신뢰성을 요구한다. 이에 따라 중요한 기계부품에 대하여 원가를 절감하면서도 제품의 경쟁력을 확보할 수 있는 방안이 연구되고 있다.[1)] 그중 표면 금속용사코팅 기술은 적절한 용사재료의 선정을 통해 코팅층의 성능을 인위적으로 제어할 수 있어 모재 선정에 있어 원가절감뿐만 아니라 표면 기능 향상으로 내열성, 내마모성 및 부식환경 등의 영향에서 자유로울 수 있다. 다양한 용사기법 중 초고속화염용사(high velocity oxy-gen fuel ; 이하 HVOF) 기술은 연료와 산소를 혼합하여 연소시킴으로써 고온과 함께 고속으로 용사재료를 분사시켜 코팅 계면의 결합력이 강하며, 기공이 적고, 조직이 치밀하여 그 응용분야가 대단히 넓다.[2)-4)] HVOF에 사용되는 다양한 용사재료 성분 중에서 표면 경화용 코팅재료로는 높은 경도와 강도를 갖는 WC 강화상과 우수한 인성을 갖는 Co를 결합한 WC-Co계 복합소재[5)-7)]와 내열성과 내식성이 우수하고 Ni과 함께 WC를 석출시켜 내마모성을 향상시킨 Ni을 사용한 비자성 WC-Ni계 복합소재[8)-10)]가 주로 사용된다.

본 연구에서 모재로 사용된 ALBC3 합금은 인성이 풍부하고 내식성이 우수하여 대형 주조재 선박용 기자재, 해양플랜트 등 조선해양 관련 기자재 산업에 폭 넓게 사용될 수 있다. 그러나 재료의 특성상 가혹한 해수환경에 장시간 노출되면 캐비테이션 부식과 빠른 유속에 의한 침식 손상이 쉽게 발생한다.[10)~12)] 이러한 복합적인 손상은 제품의 수명과 안전을 위협하고 많은 유지보수 비용을 초래한다.

본 연구에서는 주조재인 동합금에 WC-27NiCr 재료로 초고속화염용사 코팅을 실시하여 15 ℃와 25 ℃의 온도를

† Corresponding author: ksj@mmu.ac.kr

변수로 하여 자연 해수환경에서 캐비테이션 실험을 실시하여 표면 코팅층의 내구성을 평가하였다.

2. 실험방법

연구에 모재로 사용된 Cu 합금인 ALBC3(Cu : 80~82 wt%, Al : 9~10 wt%, Fe : 3~4 wt%, Ni : 4~5 wt%) 합금에 표면 내구성 향상을 위해 WC-27NiCr을 코팅재료로 하여 HVOF 코팅을 실시하였다. 코팅 전 모재의 표면의 거칠기를 일정하게 하기 위하여 에머리 페이퍼 600번으로 연마하였다. 실험에 사용된 코팅재료의 화학적 조성은 Table 1에 나타내었으며, HVOF의 최적화된 용사조건은 Table 2에 나타내었다. HVOF 코팅층의 특성을 파악하기 위해서 표면층 촬영을 하여 코팅층의 두께, 경도를 측정하였고, EDS, XRD 촬영을 실시하여 성분 분석을 실시하였다. 그리고 표면에 대한 캐비테이션 특성을 파악하기 위해 천연해수 15 ℃와 25 ℃의 온도변수에서 코팅층이 손상되어 모재가 발견될 때 까지 2시간 30분 간격으로 실험을 진행하였다. 캐비테이션 특성 평가에 사용된 장비는 압전(Piezo electric) 효과를 이용한 진동발생 장치(cavitation erosion tester)이며 초음파 진폭은 30 μm으로 일정하게 유지하여 실험하였다. 시험편 표면 손상정도를 파악하기 위해 표면 Scan, 광학현미경 촬영, SEM촬영, 3D 현미경 촬영, 무게 감소량 변화를 계측하여 온도변화에 따른 가혹한 부식-캐비테이션 환경에서 운용되는 동합금의 내캐비테이션 특성을 평가하고자 하였다.

3. 실험내용 및 고찰

Fig. 1은 WC-27NiCr 코팅층의 횡단면과 표면을 광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 일반적으로 용사 코팅 분말은 용융상태에서 분사되어 재료표면에 충돌하며 lamellar 형태의 층상구조를 나타낸다. 횡단면의 경우는 기공이나 불순물 및 미용융입자가 부분적으로 미소하게 관찰되었다. 코팅층 횡단면 내부에는 용사코팅층의 전형적인 결함인 내부 기공들이 존재하고 이러한 기공들은 일반적으로 용사코팅 시 고온의 화염에 의하여 용융된 액상 입자가 빠른 속도로 모재에 충돌하여 판상 혹은 방사형으로 퍼지게 되고 여기에 후속 용융입자가 적층될 때 생성되며, 보다 미세한 기공은 고온의 화염 중에서 용융입자에 고립된 가스가 모재에 달라붙고 후속 응고 과정이 진행될 때 고립 가스의 증발에 의해 용사층 내에서 형성된다.[13] 코팅표면 관찰에서는 여러 기공들이 관찰되었고 완벽히 용융되지 않은 분말 입자들이 구형을 이루면서 코팅층을 형성하고 있다. 코팅층의 두께는 185.5 μm 이였으며 경도는 680 Hv로 모재의 경도 261 Hv 보다 2.6배 정도 높은 값을 나타냈다.

Fig. 2는 WC-27NiCr 코팅층 표면에 대한 XRD 분석 결과를 나타낸 것이다. WC peak가 가장 많이 나타났고, 다음으로 Ni이 검출되었다. 일반적으로 WC-27NiCr 코팅은 고온 부식환경에 노출될 경우 산소와의 반응을 통해 형성시키는 탄화물 등으로 안정화된 화합물의 상태로 용사코팅층 내에 분포하여 내식성을 향상시키는 것으로 알려져 있다.

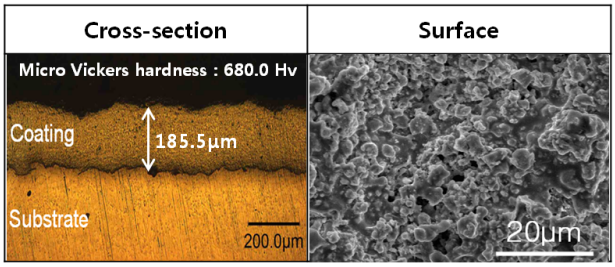


Fig. 1. Observation of the cross-section and surface for HVOF coating specimens.

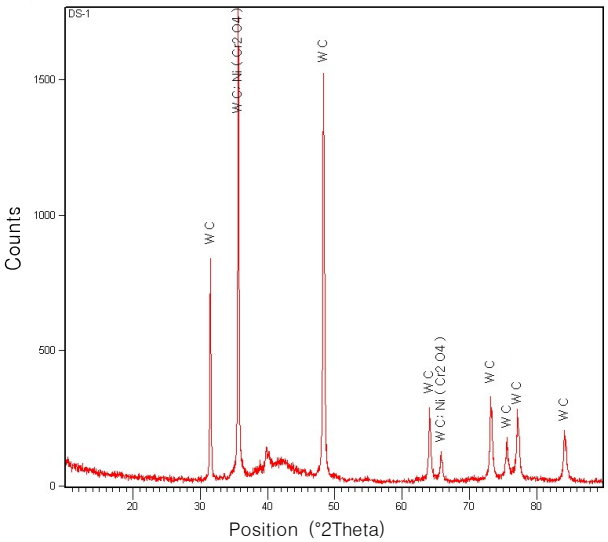


Fig. 2. The XRD analysis of WC-27NiCr coating surface by HVOF spray coating process.

Table 1. Chemical composition of the HVOF coating materials

Component (wt%)	Cr	Ni	C	W
WC-27NiCr	20	7	5	68

Table 2. Spray condition of HVOF coating for WC-27NiCr

Powder	Spray rate [g/min]	Spray Distance [mm]	Feeder speed [rpm]	Gun Barrel [inch]
WC-27NiCr	76	380	150	4

이와 같은 산화크롬(chromium oxide)은 미용융 입자의 경계(inter-boundary)에 형성되는데 이는 분사 시 또는 적층된 후 냉각과정에서 외부로부터의 산소확산에 기인한다.[14] 표준 JCPDS 데이터를 기준으로 하여 결정된 각각의 결정상은 Table 3에 나타낸 바와 같이 측정된 WC(Tungsten Carbide)의 결정격자는 육방정(Hexagonal)이며 금속바인더를 구성하는 Ni(Nickel dichromate(Ⅲ))은 사방정(Tetragonal) 결정격자를 갖는다. XRD 분석 결과, WC, Ni의 금속간 화합물이 측정된 스펙트라(spectra) 내에서 가장 높은 피크를 나타냈으며 Cr의 산화물이 관찰되었다.

Fig. 3은 WC-27Ni4Cr 분말의 성분 분포를 나타내는 EDS mapping으로 코팅 횡단면에 대한 분석결과를 나타낸 것이다. 밝은 영역은 바인더로 사용된 Ni, Cr 성분은 WC 입자 사이에 존재하나 Cr의 경우 많은 부분에서 편석이 존재하고, Ni의 경우는 고르게 분포하는 것으로 관찰된다. Ni은 FE-SEM 사진에서 다소 밝은 영역으로 Cr결핍영역과 대부분 일치하는 경향을 보인다. C의 경우도 한곳에 편석이 관찰되고 코팅층 표면쪽에 많이 분포하고 있으며 용사공정 시 고온에서의 산화 및 외부 산소의 코팅층 내부로의 확산에 기인하여 다량의 산화물을 포함하고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 WC-27NiCr 코팅층 횡단면에 대하여 Spot EDS 분석결과를 나타냈으며, 측정한 곳은 코팅층과 모재와의 계면을 중심으로 촬영하였다. Spectrum 1은 밝은 회색의 코팅층으로 대부분을 이루는 조직이다. 화학조성 분석결과, W를 89.3 wt% 정도 함유하고 있으며, C를 10.7 wt%로 구성되어 있다. 즉, WC조직이 코팅층의 대부분을 구성하고 있는 것으로 관찰되었다. Spectrum 2은 진한 회색의 코팅층으로 화학조성 분석결과, Cr를 71.09 wt%, C를 16.81 wt%, W를 11.17 wt%, Ni를 0.93 wt%로 검출 되었으며 이는 코팅층에서 Cr의 특성이 크게 나타날 것으로 사료된다. Spectrum 3은 모재와 인접한 영역이며, Cu가 86.58 wt%, Ni가 7.54 wt%, C가 2.82 wt%, W가 2.81 wt%, Cr이 0.25 wt%로 검출되었다. 대부분 Cu함량이 높은 것은 모재에 인접하여 모재부분에 많은 영향이 있었던 것으로 판단된다. 모재와 인접한 코팅층에는 Spectrum 2에 비해 Ni함량이 상대적으로 높게 나타난 것으로 보아 금속 바인더 역할을 하는 Ni 때문인 것으로 사료된다. 코팅층의 전체적인 성분이 W이 주가 되고 Ni, Cr, C의 원소 함유량이 조금씩 변화하는 것으로 관찰되었다. 이와 같이 W을 다량 함유하는 조직은 WC상 또는 용적 비행시 탈탄으로 인해 생성된 W_2C상인 것으로 사료된다. W과 C의 함량이 높은 영역은 일반적으로 다른 영역에 비해 상대적으로 높은 경도를 나타내며 이러한 조직이 고르게 분포될 경우 고경도의 코팅층을 형성시킨다.[15]

Fig. 5는 15 ℃ 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF 용사법으로 제작된 WC-27NiCr 코팅 시험편에 대해 캐비

Table 3. The result of crystal analysis for WC-27NiCr coating surface

Phase	Crystallographic parameters(Å)		Bravais lattice
Tungsten Carbide (WC)	a	2.9063	Hexagonal
	b	2.9063	
	c	2.8375	
	α, β	90.0000	
	ɣ	120.0000	
Nickel dichromate(Ⅲ) ($Ni(Cr_2O_4)$)	a	5.8369	Tetragonal
	b	5.8369	
	c	8.4301	
	α,β,ɣ	90.0000	

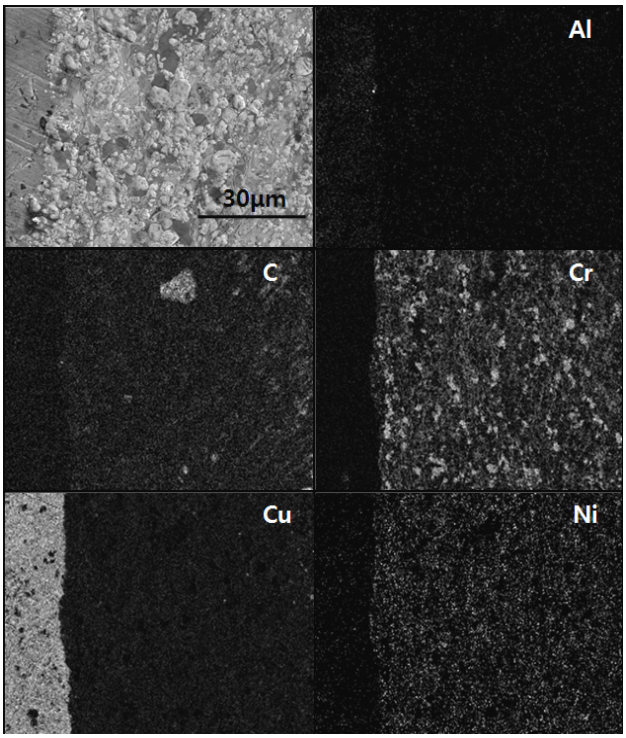
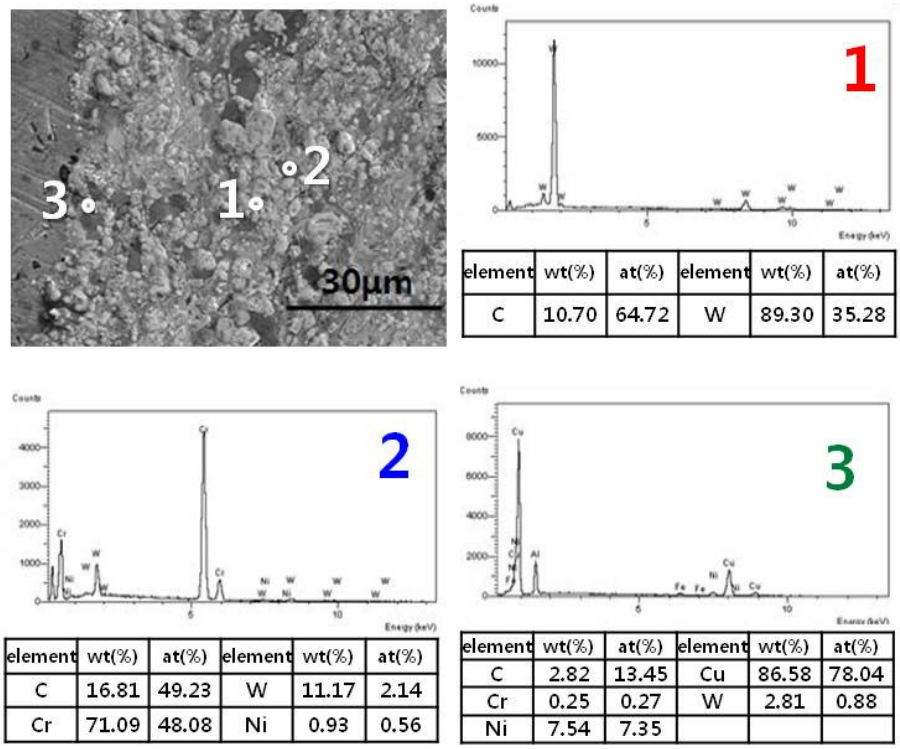


Fig. 3. Analysis for chemical elements of cross-section by mapping analysis for WC-27NiCr coating.

테이션 실험 후 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 10시간까지는 표면 손상이 관찰되지 않았으나, 12.5시간을 기점으로 표면의 손상이 발견되었다. 캐비테이션 손상은 혼(horn)의 형상을 따라 손상이 발생하였으며 상대적으로 중심부는 영향을 적게 받은 것으로 나타난다. 시간이 지나면서 코팅층의 손상이 증가하였고 캐비테이션 영향부의 중앙은 캐비티의 충격압이 가장 강하기 때문에 요철 형상이 지속적으로 제거된다. 이로 인해 거칠기가 상대적으로 감소하나 캐비테이션에 따른 손실이 크기 때문에 코팅층의 두께는 가장 얇게 된다. 20시간 동안 캐비테이션을지



element	wt(%)	at(%)	element	wt(%)	at(%)
C	10.70	64.72	W	89.30	35.28

element	wt(%)	at(%)	element	wt(%)	at(%)
C	16.81	49.23	W	11.17	2.14
Cr	71.09	48.08	Ni	0.93	0.56

element	wt(%)	at(%)	element	wt(%)	at(%)
C	2.82	13.45	Cu	86.58	78.04
Cr	0.25	0.27	W	2.81	0.88
Ni	7.54	7.35			

Fig. 4. Analysis for chemical elements of cross-section by spot EDS spectrum for WC-27NiCr coating.

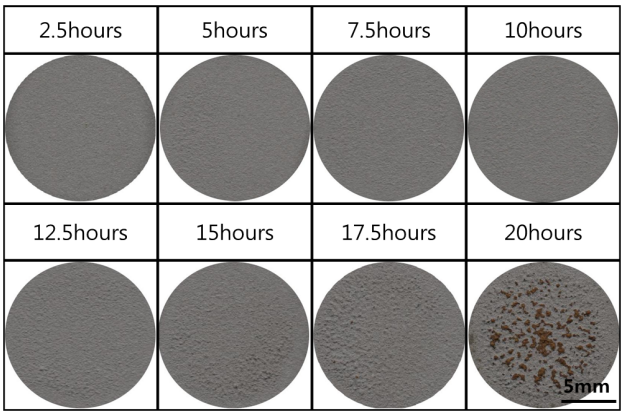


Fig. 5. Comparison of the damaged behavior for WC-27NiCr HVOF coating in sea water of 15℃.

속한 경우, 코팅층이 박리되어 모재가 노출되었으며 모재 표면에서의 손상이 발생하였음을 확인 할 수 있다. 장시간 동안 캐비테이션 실험을 실시하였음에도 불구하고 거의 표면 손상이 관찰되지 않는 이유는 WC-27NiCr의 낮은 기공율 및 높은 경도를 가지고 화학적으로도 대단히 안정적이며 인성이 우수하기 때문에 캐비테이션 특성이 매우 양호한 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 코팅/모재 간의 계면에서의 접합강도가 우수하기 때문으로 사료된다. 접합강도는 고온에서 수행되는 용사과정에서 용융 액적이 비행중의 산소와 반응하여 형성시키는 산화물 및 화합물이 생성, 코팅층의 균질성, 치밀도 및 기공도 그리고 전착 후의 코팅/모재 간의 열팽창 계수 및 냉각속도에 크게 의존한다.[18] 이와 같이 HVOF 용사기술을 이용하여 코팅된 Cr과 Fe 그리고 C 등의 원소를 포함하고 있으므로 용사비행 시 대기 중의 산소 또는 가스와의 반응에 의한 화학적 변화를 수반한다. 뿐만 아니라 용사재료 내의 다양한 원소들이 복합적으로 화합한 금속간 화합물은 코팅층과 열적/구조적 차이에 의해 취약한 영향을 나타내어 코팅층의 박리에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[19] 결과적으로 코팅층의 치밀도, 기계적 특성 그리고 접합강도가 상대적으로 높기 때문에 우수한 캐비테이션 저항성을 갖는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 25 ℃ 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF 용사법으로 제작된 WC-27NiCr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 표면은 육안으로 관찰 시 손상이 더욱 빨리 진행되었으며, 7.5시간부터 horn 가장자리에서 먼저 손상이 발생하였다. 12.5시간이 되면서 코팅층 전체적으로 손상이 진행되어 모재가 노출되기 시작하였으며, 15시간이 되는 시점에서 코팅층이 전체적으로 박리되었고, 모재 손상이 관찰되었다. 온도 변수 적용 시 온도가 증가할수록 보다 활성적인 거동으로 표면 손상도가 증가함을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7은 15 ℃ 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF

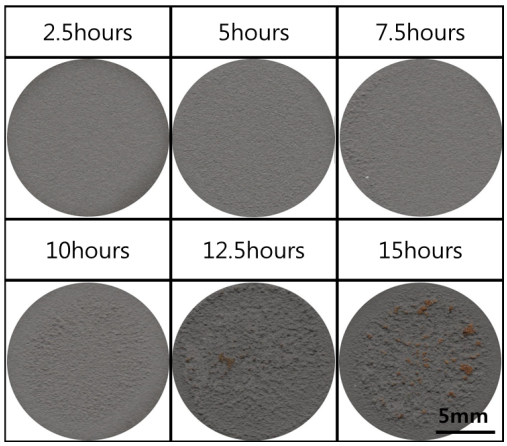


Fig. 6. Comparison of the damaged behavior for WC-27NiCr HVOF coating in sea water of 25℃.

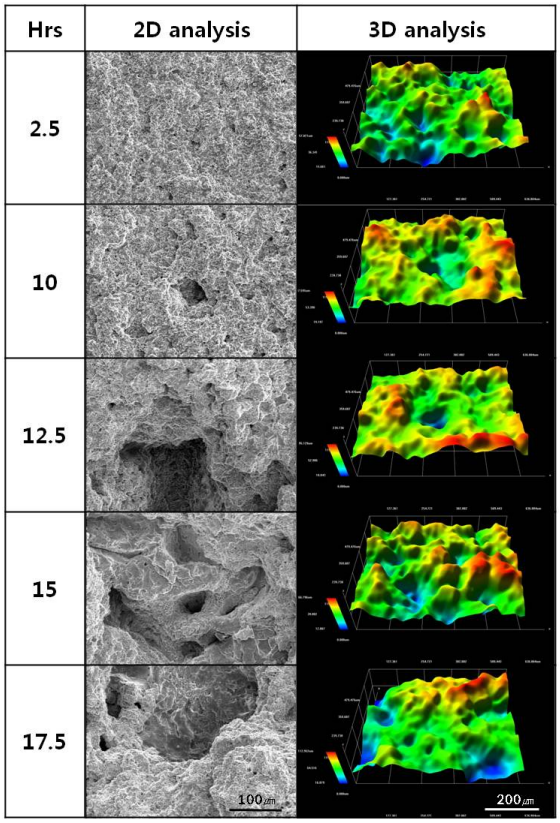


Fig. 7. 2D/3D analysis of the damaged behavior with cavitation time for WC-27NiCr HVOF coating in 15℃ sea water.

용사법으로 제작된 WC−27NiCr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 주사전자현미경과 3D 현미경을 통해 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 모재의 용사피막층은 용융입자가 충돌하여 적층되었고 각 적층 입자들 간에 적층계면의 기공이 관찰되었다. 용사층내의 기공들은 용사 시 흡수되어 입자 내에 존재하는 가스가 외부로 분출됨

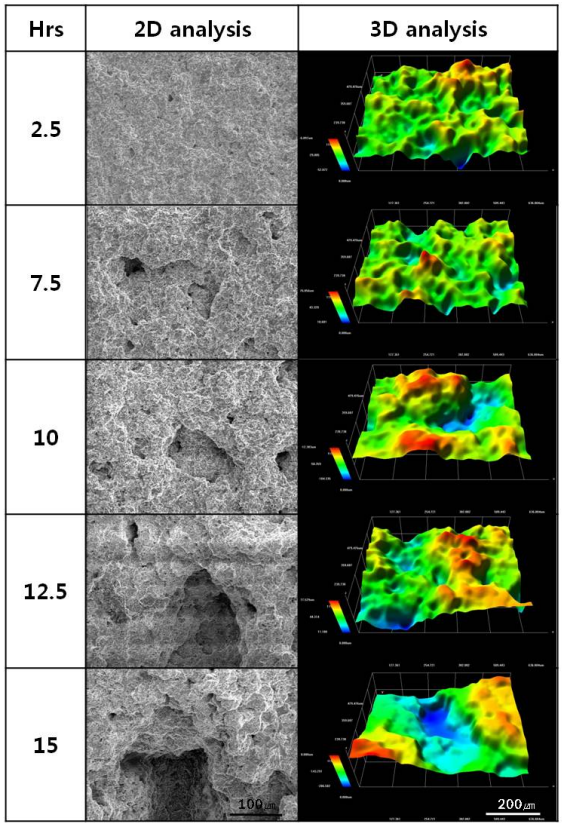


Fig. 8. 2D/3D analysis of the damaged behavior with cavitation time for WC-27NiCr HVOF coating in 25℃ sea water.

으로써 형성된 것으로 사료된다. 2D/3D 관찰 모두에서 2.5시간부터 시험편에 손상이 관찰되었고 실험시간이 증가함에 따라 코팅층이 캐비테이션의 영향으로 기공이 성장하고 손상깊이도 크게 증가함을 알 수 있다. 12.5시간에는 코팅층이 확연하게 큰 캐비테이션에 기인한 표면 침식이 발생하였다. 15시간까지 캐비테이션 실험을 한 사진은 코팅의 기공이 더욱 성장하였으며, 큰 기공내에 작은 기공들이 확인되었다. 한편, 17.5시간 이상의 경우 코팅층 계면에서 박리현상이 발생하여 모재가 노출되었다. 이와 같이 캐비티의 충격에너지는 코팅층의 박리 및 모재 손상에 크게 기여한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 25 ℃ 해수환경 하에서 ALBC3 합금에 HVOF 용사법으로 제작된 WC−27NiCr 코팅 시험편에 대해 캐비테이션 실험 후 주사전자현미경과 3D 현미경을 통해 표면의 손상변화를 각 적용시간에 따라 관찰한 것이다. 2D/3D 관찰 모두에서 2.5시간에서는 코팅층이 캐비테이션 영향으로 손상된 기공이 조금씩 발생하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 5시간, 7.5시간 실시 후 손상이 진행되어 기공이 점점 커지면서 성장하고 손상 깊이도 계속적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 12.5시간에는 코팅층에 확연하게 캐비테이션으로 인한 표면 침식으로 모재가 노출되었다. 15시간의 경

우, 코팅의 박리가 성장하여 ALBC3 합금 모재가 큰 면적으로 노출되었으며, 모재가 캐비테이션 침식현상에 의해 표면에 침식한 층이 발견되었다. 결과적으로 15 ℃보다 25 ℃의 조건에서 높은 온도에 기인한 활성적인 반응에 의해 더욱 캐비테이션 손상이 빠르게 진행됨을 확인하였다.

Fig. 9는 WC-27NiCr 코팅에 대한 캐비테이션 실험 후 측정한 손상깊이를 상호 비교한 것이다. 15 ℃의 경우 손상깊이는 캐비테이션 시간이 15시간 이후부터 크게 증가하는 경향을 나타내었고 25℃의 경우 캐비테이션 시간이 7.5시간 이후부터는 빠르게 손상 깊이가 증가하였다. 이것으로 온도가 상승할수록 코팅층의 표면 손상깊이는 증가하여 온도와 캐비테이션 손상과는 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 또한 손상은 초기에 기공의 형태로 손상되어 깊이방향으로 진행하였다.

Fig. 10은 15 ℃ 해수 내에서 ALBC3 합금에 WC-27NiCr 재료로 코팅된 시험편에 대한 캐비테이션 실험 후 무게감소량(weight loss) 및 단위 시간당 무게감소율(cavitaiton rate)을 나타낸 것이다. 캐비테이션 무게 감소율은 각 시간별 무게감소량에 대한 지속시간을 나눈 것을 의미한다. 해수용액 하에서 캐비테이션 손상은 시간에 비례하여 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같이 캐비테이션 손상은 해수환경 하에 노출된 경우, 캐비테이션의 물리적인 손상과 부식현상이 복합적으로 작용하여 가속화 되는 상승효과를 나타낸다.[16] 캐비테이션이 17.5시간 지속되었을 때, 코팅층이 박리되어 모재가 노출되었으며 캐비테이션 손실은 급격하게 증가하였다. 각 적용 시간에서 감소량은 5시간은 0.0072 g, 10시간의 경우, 0.0415 g, 15시간의 경우, 0.0529 g으로 측정되었다. 그리고 박리현상이 발생된 17.5, 20시간 구간에서는 0.0627 g과 0.0754 g으로 무게 감소량은 상승하였다. 이는 지속적으로 캐비테이션 손상이 발생함으로써 코팅층이 박리되고 모재에 충격압이 전달됨으로써 상대적으로 코팅층 표면 손상이 감소하게 되어 급격한 손상이 발생되지 않은 것으로 판단된다. 즉 코팅층이 박리된 이후 모재의 캐비테이션 발생 초기에는 캐비티 충격압에 의해 모재 표면의 경화현상으로 손상이 지연된 것으로 사료된다.[17] 뿐만 아니라, WC-27NiCr 코팅에 대한 무게감소율은 초기에 높은 값을 나타낸 후 완만하게 증가하였으며 이후 15시간 구간에서 급격히 낮아졌다가 박리가 시작된 17.5시간을 기점으로 다시 증가하였다.

Fig. 11은 25 ℃ 해수 내에서 ALBC3 합금에 WC-27NiCr 재료로 코팅된 시험편에 대한 캐비테이션 실험 후 무게감소량 및 단위 시간당 무게감소율을 나타낸 것이다. 실험 초기 캐비테이션 거동은 5시간과 10시간의 경우, 무게감소량은 각각 0.0295 g, 0.0677 g이며 무게 감소율은 0.0059 g/h, 0.0068 g/h로 2.5시간 이후부터 일정한 기울기로 캐비테이션에 따른 무게감소량이 증가하고 있으며 전체적인 경향은

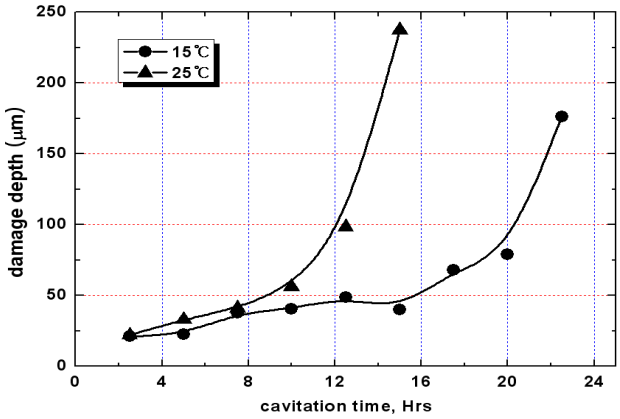


Fig. 9. Comparison of the damaged depth change for WC-27NiCr with cavitation temperature parameters in sea water.

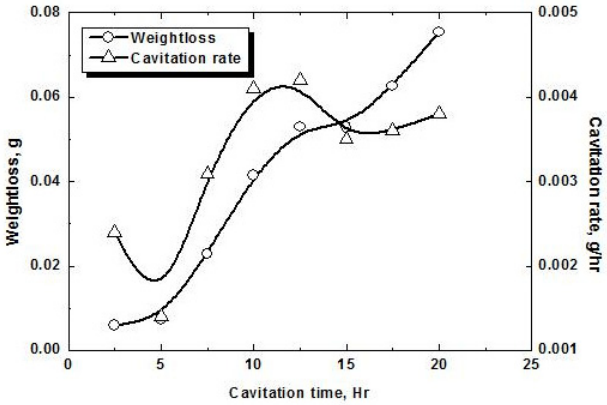


Fig. 10. Variation of weight loss and cavitation damage rate for WC-27NiCr coating in sea water of 15℃.

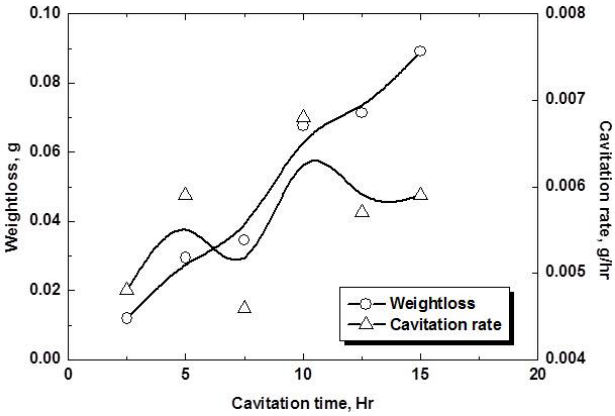


Fig. 11. Variation of weight loss and cavitation damage rate for WC-27NiCr coating in sea water of 25℃.

15 ℃ 조건과 유사하였다. 반면, 무게감소량의 차이에서 25 ℃조건이 15 ℃코팅보다 현저하게 낮은 캐비테이션 저항성을 나타냈음을 알 수 있다. 온도 변수로 확인한 결과 15 ℃의

5시간, 10시간 그리고 15시간에서의 감소량은 25 ℃의 조건에서 각각 409.7%, 163.1% 그리고 168.4% 높게 측정되었으며 캐비테이션에 대한 저항성은 상대적으로 매우 낮은 것으로 판단된다. 반면, 코팅은 해수환경 하에서 캐비테이션이 20시간 이상 지속하였을 때 코팅층의 박리로 인해 모재가 노출되었다. 이후 피막과 모재의 계면에서 접합강도가 급격하게 감소하고 캐비티의 충격압이 전달됨으로서 박리현상이 발생하였다. 즉, 캐비테이션이 진행되면서 손상된 표면의 거칠기가 증가하므로 캐비티가 상호 충돌하여 소멸하는 완충효과(cushion effect)가 발생하며, 캐비테이션을 발생시키는 horn과 이에 대향하는 시험편 표면과의 이격거리가 손상이 발생함에 따라서 증가하기 때문에 캐비티의 충격에너지 소모가 증가하는 것으로 사료된다. 이에 따라 20시간 이후, 피막이 박리된 후 계면 접합강도가 감소하여 코팅층의 박리가 용이하기 때문에 무게감소율이 다소 증가하는 경향을 나타냈다.

4. 결 론

해양환경 하에서 사용되는 ALBC3 합금의 내구성 향상을 위한 목적으로 HVOF 코팅기술을 이용하여 WC−27NiCr 코팅된 재료에 대하여, 30 μm의 초음파 진폭을 이용한 캐비테이션 특성 평가를 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 코팅 층이 박리되어 모재가 노출되는데 까지 소요된 캐비테이션 실험 시간은 해수온도 15 ℃의 경우 17.5시간, 25 ℃의 경우 12.5시간으로 해수온도 15 ℃의 조건이 더 높은 내구성을 나타냈다.

2) 코팅 층의 표면손상으로 인한 깊이의 증가는 해수온도 15 ℃의 경우 15시간으로 25 ℃의 경우 7.5시간에 비해 2배나 큰 저항성을 보였다.

3) 15 ℃에서 25 ℃로 해수온도가 높아지면 무게감소량은 5시간 이후부터 캐비테이션 발생시간에 따라 160%이상 400%까지 증가하는 경향을 보였다.

결과적으로 WC−27NiCr 코팅의 화학적 안정성 및 내식성이 양호하고 높은 경도와 인성을 나타내고 있을지라도 해수온도가 상승할수록 캐비티의 활동성이 증가하기 때문에 코팅 층의 손상이 현저히 증가될 수 있다.

참 고 문 헌

1. G. B. Kwon, D. H. Cho, Y. K. Chang, and Y. N. Park, *J. Kor. Inst. Surf. Eng*., **35**, 5 (2002).
2. T.-Y. Cho, J.-H. Yoon, K.-S. Kim, K.-O. Song, S.-J. Youn, H.-G. Chun, and S.-Y. Hwang, *Corros. Sci. Tech*., **6**, 159 (2007).
3. J. E. Cho, B. G. Seong, S. Y. Hwang, and K. Y. Kim, *Corros. Sci. Tech*., **31**, 495 (2002).
4. R. Thrope, H. Kopech, and N. Gagne, *Adv. Mater. Proc*., **157**, 27 (2000).
5. B. M. Kim, S. Y. Hwang, H. S. Choe, and C. H. Lee, *Kor. J. Met. Mater*., **41**, 695 (2003).
6. K. S. Kim, N. K. Baek, J. H. Yoon, T. Y. Cho, S. J. Youn, S. K. Oh, S. Y. Hwang, and H. G. Chun, *J. Kor. Inst. Surf. Eng*., **39**, 179 (2006).
7. S. G. Kang, T. G. Suh, and S. H. Paek, *J. Corros. Sci. of Kor*., **12**, 11 (1983).
8. J. M. Guilemany, N. Espallargas, P. H. Suegama, and A. V. Benedetti, *Corros. Sci*., **48**, 2998 (2006).
9. T. S. Sidhu, S. Prakash, and R. D. Agrawal, *Surf. Coat. Tech*., **201**, 792 (2006).
10. A. G. Petersen, D. Klenerman, and W. M. Hedges, *Corrosion*, **60**, 187 (2004).
11. Annual Book of ASTM standards G32-92, p. 110, (1992).
12. J. T. Chang, C. H. Yeh, J. L. He, and K. C. Chen, *Wear*, **255**, 162 (2003).
13. Zhang Yun-qian, Ding Zhang-Xiong, and Fan Yi, *Hot Worki. Tech*., **39**, 25 (2010).
14. S. Matthews, B. James, and M. Hyland, *Corros. Sci*., **51**, 1172 (2009).
15. K.-J. Euh, S.-B. Kang, and B.-Mo Yang, *Kor. J. Met. Mater*., **45**, 292 (2007).
16. Heon-Young Ha, Chan-Jin Park, and Hyuk-Sang Kwon, *Corros. sci*., **49**, 1266 (2007).
17. Y. Sekine and H. Soyama, *Surf. Tech*., **203**, 2254 (2009).
18. S. Mattnew, B. James, and M. Hyland, *Corros. Sci*., **51**, 1172 (2009).
19. A. A. Bouudi, M. S. J. Hashmi, and B. S. Yilbas, *J. Mater. Proces. Tech*., **173**, 44 (2006).