

쇼트피닝 시간에 따른 동합금의 조직특성 및 전기화학적 특성의 변화

한민수* · 현광용** · 김성종***†

*, *** 목포해양대학교 기관시스템공학부, ** 일본 나고야대학교

Effects of Shot Peening Time on Microstructure and Electrochemical Characteristics for Cu Alloy

Min-Su Han* · Koang-Yong Hyun** · Seong-Jong Kim***†

*, *** Division of Marine System Engineering, Mokpo Maritime University, Haeyangdaehak-ro 91, Mokpo-si, Jeonnam, Korea

** Department of Materials, Physics and Energy Engineering, Graduate School of Engineering Japan, Nagoya University, Furo-cho, Japan

요 약 : 본 연구에서는 내식성이 우수한 동합금에 대하여 내구성 향상을 위해 쇼트피닝 시간을 변수로 표면 개질하여 전기화학적 특성과 조직 변화를 관찰하였다. 그 결과 쇼트피닝 후 표면에 전체적으로 요철이 발생하였으며, 시간이 증가할수록 커버리지 향상에 따른 균질화 현상이 관찰되었다. 또한 쇼트피닝된 모든 시험편에서 경도가 향상되었으며, 쇼트피닝 시간이 3.5분일 때 52%의 경도향상을 나타냈다. 그리고 이때 전기화학적 특성은 쇼트피닝을 실시하지 않은 경우와 유사하였다.

핵심용어 : 쇼트피닝, 표면개질, 동합금, 내식성, 내구성

Abstract : In this study, shot peening technique was employed with shot peening time for durability improvement and surface modification of copper alloy to investigate the electrochemical characteristics and microstructural variations. As a result of shot peening, roughness was distributed over the surface, and homogenization phenomenon was observed with increasing shot peening time due to the enhancement of coverage. The results revealed that hardness increased for shot peened specimens and particularly 3.5 mins of shot-peening time represented a hardness improvement of 52%, showing similar electrochemical characteristics to that of the un-peened surface.

Key Words : Shot peening, Surface modification, Copper alloy, Corrosion resistance, Durability

1. 서 론

산업사회의 고도성장과 새로운 에너지원을 발굴하는 과정에서 기계부품 및 설비분야는 대형화 추세이며, 내구성 향상은 대단히 중요한 이슈가 되었다. 이로 인해 경제성과 성능을 모두 갖춘 경쟁력 있는 제품을 만들기 위해 고주파 열처리, 침탄법, 질화법, 단조, 피닝, 용사코팅 기술과 같은 다양한 표면개질 방법이 연구되고 있다. 특히 가공 공정이 간단한 쇼트피닝 기술은 금속으로 된 쇼트볼(shot ball)을 재료표면에 고속으로 분사시켜 압축잔류응력을 형성시키는

기술이다. 쇼트볼의 충격압에 의해 재료표면에 가공경화층을 형성시키고, 이때 쇼트볼이 충돌한 표면 직하부에 압축 잔류응력이 최대로 형성되게 된다(Wohlfahrt, 1984; Harada, 2008). Tange는 재료 표면에 형성된 압축잔류응력은 내구성, 피로강도 및 방열성 등을 향상시켜 재료의 수명을 연장할 수 있음을 확인하였다(Tange and Takamura, 1990). 박 등은 쇼트피닝에 의한 스프링강의 피로수명을 2배 이상 증가됨을 확인하였고(Park and Ryu, 2005), 타 연구자의 연구에 따르면 다단쇼트피닝 가공을 통해 표면부의 압축잔류응력을 상승시켜 피로수명을 연장하였다(Lee and Kim, 1999). Aoki와 Verpoort는 쇼트피닝 기술 효과를 극대화하기 위하여 쇼트볼의 투사량과 속도 및 쇼트볼의 강도 등을 변화시키는 등 꾸준히 연

* First Author : mp949@mmu.ac.kr, 061-240-7230

† Corresponding Author : ksj@mmu.ac.kr, 061-240-7226

구되어 왔다(Aoki et al., 1990; Verpoort and Gerdes, 1989).

본 논문에 사용된 동합금(ALBC3)은 대형 냉각해수 펌프의 임펠러 또는 조류발전용 블레이드에 사용 가능한 주조재이다. 동합금은 내식성과 주조성이 우수하지만 내구성과 강도가 낮아 해수환경에서 고속으로 장시간 사용할 경우, 유속으로 인한 캐비테이션 손상과 침식 등의 물리적 손상과 전기화학적 부식 손상으로 제품 수명이 급격히 감소한다(Im, 2011; Petersen et al., 2004; Park et al., 2013).

본 연구에서는 내식성이 뛰어난 동합금에 쇼트피닝 시간을 변수로 하여 표면개질시커 조직특성과 전기화학적 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 동합금은 ALBC3이며, 화학조성을 Table 1에 나타내었다. ALBC3합금은 Al과 Ni이 다량 함유된 합금으로 강도와 연성이 양호하여 주조성이 뛰어나다. 또한 Al과 Cu가 해수에 장기간 노출되면 산화물인 $Cu_2(OH)_3Cl$, $Cu(OH)Cl$ 의 자생보호 피막이 약 900~1000 nm의 두께로 형성되어 내마모성, 내피로성 및 내식성이 우수하다. 동합금에 쇼트피닝을 위해 시험편 표면적을 2 cm × 2 cm 제작하였다. 시험편 표면을 에머리 페이퍼로 2000번까지 연마 후 아세톤으로 탈지하였으며, 증류수로 세척하여 건조한 상태에서 쇼트피닝을 실시하였다.

쇼트피닝장비는 고압의 압축공기를 노즐로 분사하는 공기식 투사 장치를 사용하였다. 노즐 내부 직경이 7.9 ∅, 분사노즐 직경 0.4 mm이며, 경도가 50.6~54.5 H_{RC}인 쇼트볼(conditioned stainless steel cut wire shot, STS304, SCCW16)을 사용하였다. 쇼트볼의 화학적 조성은 Table 2와 같다. 노즐과 시험편의 거리는 10 cm, 쇼트볼 분사압력은 4 bar로 고정하고 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0 min 그리고 20.0 min의 시간을 변수로 실험하였다. 이후 모재와 쇼트피닝된 시험편에 대하여 10곳에 대한 마이크로 비커스 경도기로 경도를 측정하였다. 또한 시험편 표면 및 단면을 주사전자현미경(SEM) 및 3D 현미경으로 관찰하여 그 특성을 평가하였다. 이때 현미경 관찰을 통해 커버리지(coverage)를 확인하였다. 커버리지는 쇼트볼이 투사되어 물체의 표면을 타격한 밀도를 백분율(%)로 표현한 것으로 쇼트피닝의 시간에 큰 영향을 받는다. 커버리지 측정방법은 다양하지만 일반적으로 사용되는 현미경을 통한 육안 검사법을 활용하였다(Jones, 1964). 그리고 모재와 쇼트피닝된 시험편을 천연해수 상태에 표면적 0.332 cm²을 노출하여 각 조건별 양극분극(anodic polarization) 실험을 통한 전기화학적 거동을 평가하였다. 이때 개로전위를 기준으로 -0.25 V에서 2.0 V까지 2 mV/sec

의 주사속도로 실시하였고 기준전극으로 은/염화은 전극(Ag/AgCl)을, 대극은 백금전극을 사용하였다.

Table 1. Chemical composition of ALBC3 alloy

Component	Cu	Al	Fe	Ni	Zn
wt(%)	Balance	9.30	3.66	4.39	0.34
Component	Sn	Pb	Si	Mn	-
wt(%)	0.01	0.013	0.17	0.55	-

Table 2. Chemical composition of stainless steel cut wire shot

Component	Fe	C	Cr	Ni
wt(%)	71.207	0.072	18.43	8.512

2. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 ALBC3 합금에 대하여 쇼트피닝 이후 표면 경도 측정 결과를 나타낸 것이다. 모재(쇼트피닝을 실시하지 않은 시험편)의 표면경도는 290 Hv이며, 쇼트피닝 기술을 적용한 모든 시험편은 현저한 경도상승 효과를 나타냈다. 쇼트피닝은 경질재료에 비해 동합금과 같은 연질재료의 피로강도 개선 효과가 크다(Ebenau et al., 1990). 쇼트피닝 시간이 초기 0.5분의 경우에 표면 경도 증가량은 77.2 Hv로 모재 대비 27% 정도 상승하였다. 3.5분의 경우, 표면 경도 증가는 150.9 Hv로 모재 대비 52%의 경도상승 효과가 나타났다. 이후 경도가 감소하다가 최대 경도값을 나타낸 10분은 162.1 Hv 상

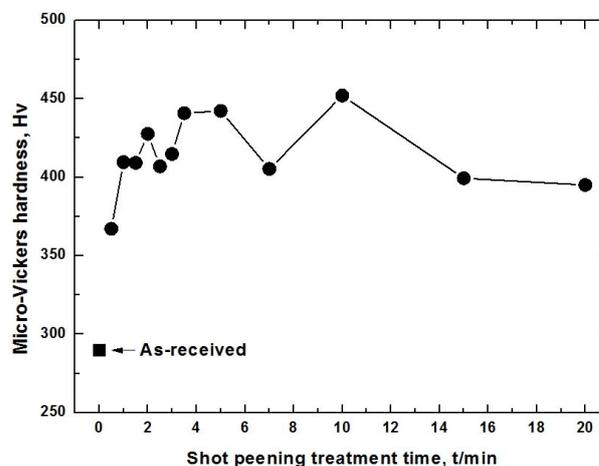


Fig. 1. Effect of peening time on hardness after shot peening for ALBC3 alloy.

쇼트피닝 시간에 따른 동합금의 조직특성 및 전기화학적 특성의 변화

승하여 56%의 개선효과를 나타냈다. 특히 쇼트피닝은 주조재 표면의 공공과 같은 결함조직과 편석 등이 가공과정에서 주변영역과 중첩되어 제거되거나 균질화되며, 조직학적으로도 수많은 전위(dislocation)를 형성시킴으로써 경도 향상 효과를 나타낸 것으로 판단된다. 그러나 10분 이후에는 지속적인 경도 저하가 나타났다. 이러한 현상은 오버피닝(overpeening)에 의한 경화조직의 탈리현상에 기인한 것으로 사료된다. 이것은 Verpoort가 언급한 오버피닝 시 발생하는 미소균열의 위험성 때문이다(Verpoort and Gerdes, 1989). 즉 쇼트피닝의 커버리지(coverage)가 한계를 초과하면 쇼트볼 타격에 의한 홈

과 홈의 경계에 미소균열이 발생하게 되고 이러한 결함이 표면부의 홈과 상승작용으로 표면 경화층을 탈리시켜 재료 강도를 저하시키게 된다. 결과적으로 다양한 시간 변수에 따른 ALBC3 합금의 쇼트피닝 기술 적용 시 10분의 경우가 가장 우수한 경도 개선을 나타냈지만 오버피닝 없이 경도 상승효과를 최적화하기 위해서는 대략 1분 이상 7분 미만의 시간이 적당할 것으로 사료된다.

Fig. 2는 ALBC3 합금에 대하여 쇼트피닝 이후 표면을 주사전자현미경(SEM)과 3D 현미경으로 관찰한 것이다. 쇼트피닝된 모든 시험편에서 쇼트볼의 충돌로 표면이 변형되어 모재와 큰 차이를 나타냈다. SEM과 3D 현미경 관찰을 통한 조건별 커버리지를 판단하기 어려웠다. 통상 커버리지의 한계는 100%이지만 실제적으로 98% 이상을 측정하기는 어렵기 때문이다(Eckersley, 1991). 쇼트피닝 시간이 2분인 경우 매우 짧은 시간동안 투사하였음에도 불구하고 전체적으로 요철(dent)의 형성분포가 균일하며 요철 경계에 융기된 형상이 명확히 관찰되었다. 이후 쇼트피닝 시간이 증가함에 따라 쇼트볼 타격 밀도가 높아져서 충격에너지가 증가하여 요철 형상이 평탄해지는 균일화 현상을 보였다. 가장 큰 표면 경도 상승을 나타내었던 10분의 경우, 3D 현미경 관찰에서도 표면 요철형상이 적고 평탄하며 요철 사이로 미소균열이나 기공의 흔적이 관찰되지 않았다. 이는 초기 쇼트볼의 충격으로 융기되었던 요철 조직이 지속적인 쇼트볼 충돌로 인해 평탄해진 것으로 사료된다. 그리고 이러한 과정에서 조직이 일부 탈리되는 현상이 나타나게 된다. 10분에서 최대경도 값을 나타낸 후 다시 감소하는 경향은 소성조직의 탈리에 기인한 결과로 판단된다.

Fig. 3은 ALBC3 합금에 대하여 쇼트피닝된 시험편에 대하여 3D 현미경으로 측정된 손상깊이를 비교한 것이다. 손상깊이는 0.5분의 경우 34.0 μm 에서 3.5분 39.8 μm 로 증가하였으며, 최대손상깊이를 나타낸 5.0분은 45.2 μm 로 대체적으로 상승하는 경향을 나타냈다. 5.0분까지 손상깊이가 증가하는 것은 현미경 사진에서 관찰하였듯이, 연성재료의 표면 소성층을 형성하는 과정에서 일정수준의 커버리지에 도달하기 전까지는 요철 경계의 융기현상이 증가하였기 때문으로 사료된다. 7.0분 이후로 손상깊이는 37.6 μm 에서 10분은 37.1 μm , 그리고 20분은 35.0 μm 로 상대적으로 낮은 값을 나타냈다. 이것은 오버피닝으로 쇼트피닝 적용 시 7.0분부터 요철이 탈리됨으로써 다소 평탄해졌기 때문으로 사료된다.

Fig. 4는 ALBC3 합금의 쇼트피닝된 시험편의 횡단면 조직을 관찰한 것이다. 주조조직 만이 나타나는 모재에는 내식성이 우수한 α 상(phase), 마르텐사이트 조직으로 주로 부식에 의해 손상이 발생하는 β 상 그리고 층상정(lamellar) 혹은 구상 조직을 갖는 κ 1상이 관찰된다(Eckersley, 1991; Hong

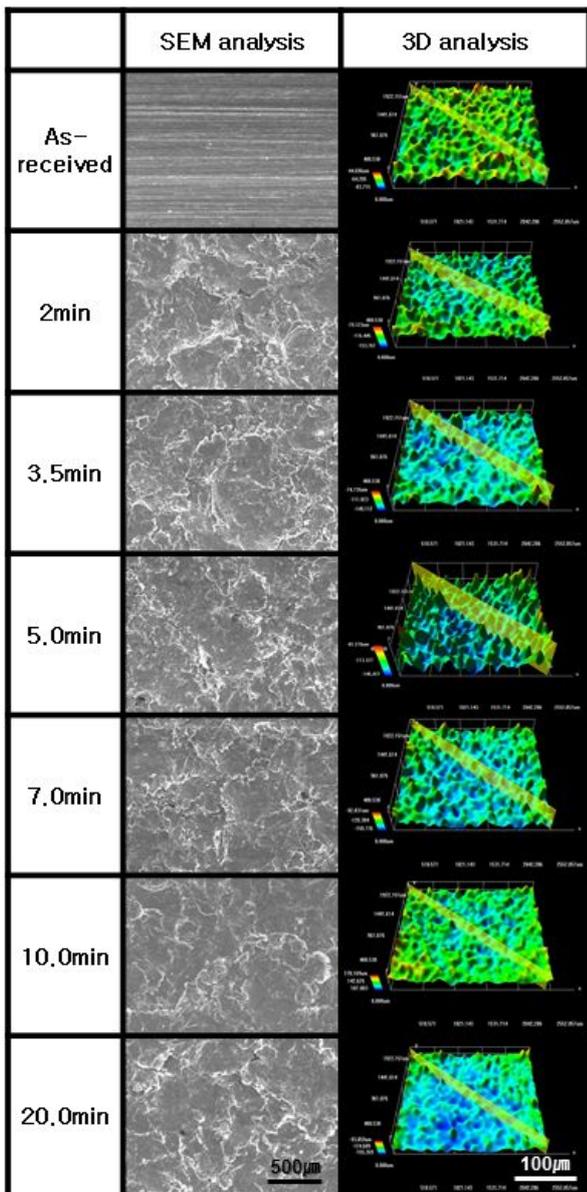


Fig. 2. Surface morphologies and 3D analysis after shot peening for ALBC3 alloy.

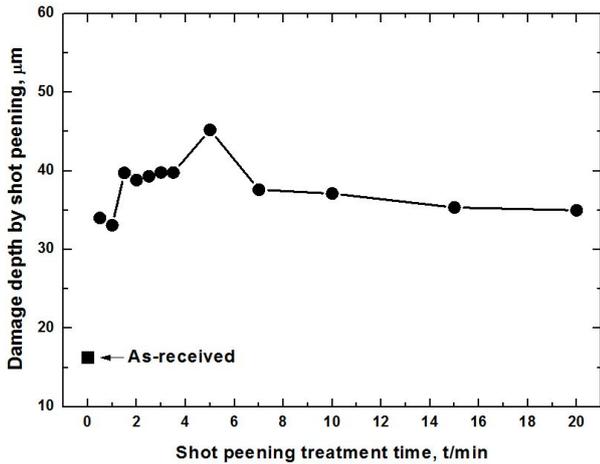


Fig. 3. Damage depth after shot peening for ALBC3 alloy.

et al., 2004). 쇼트피닝 가공을 하면 쇼트볼에 의해 재료 표면이 소성변형 되어 요철이 형성되는 과정에서 α상과 β상의 조직이 혼재된 양상을 보이게 된다. 시간이 0.5분~2.5분의 경우 조직 변형 흔적 깊이가 얇거나 표면에서 연속적이지 못하다. 또한 시간이 3.0분~5.0분의 경우 조직 변형 흔적이 연속적으로 이어진 부분이 상대적으로 증가하였으나 소성변형에 의한 조직 변형 깊이는 깊지 않았다. 즉 소성변형 영역이 표면에 전체적으로 분포한 것으로 예측된다. 시간이 10.0분 이상 증가함에 따라 조직 변형 흔적은 상대적으로 깊게 관찰되었으나 표면에서 연속적이지 못하였다. 이러한 변형된 조직 흔적은 오버피닝으로 표면의 요철과 소성변형 층이 탈리되기 때문에 사료된다. 쇼트피닝에 있어서 조직 변형 층이 균일하고 연속적일 때 조성이 균질해지고 압축잔류응력이 전면에 고르게 분포되어 내구성이 우수하고 부식에 대한 저항성도 우수하다. 횡단면 사진으로 볼 때 3.0분~3.5분의 경우가 상대적으로 표면의 조성이 균질한 것으로 사료된다.

Fig. 5는 ALBC3 합금에 대하여 쇼트피닝 이후 해수용액 내에서 양극분극 거동을 평가한 것이다. ALBC3 합금은 해수 환경 하에서 내식성이 매우 우수하며 Al 성분 첨가에 따른 전류밀도가 감소하는 경향을 나타낸다. 쇼트피닝에 의한 결정조직의 미세화는 결정입계 면적이 증가하면서 전체적으로 금속의 내식성이 저하하게 된다. 그러므로 쇼트피닝에 따른 기계적 특성 향상은 기대할 수 있으나 전기화학적 특성 저하가 발생할 수 있다. Fig. 5(a)에 나타낸 바와 같이 모재와 쇼트피닝 적용 시간이 0.5분과 1.0분 경우, 대략 0.2 V부터 모재 대비 다소 높은 전류밀도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 쇼트피닝을 적용한 시험편은 $10^{-2} A/cm^2$ 의 영역에서 전류밀도의 감소현상 없이, 거의 지속적으로 모재와 전류밀도 차이를 나타내며 증가하였다. 그러나 전류밀도의 상

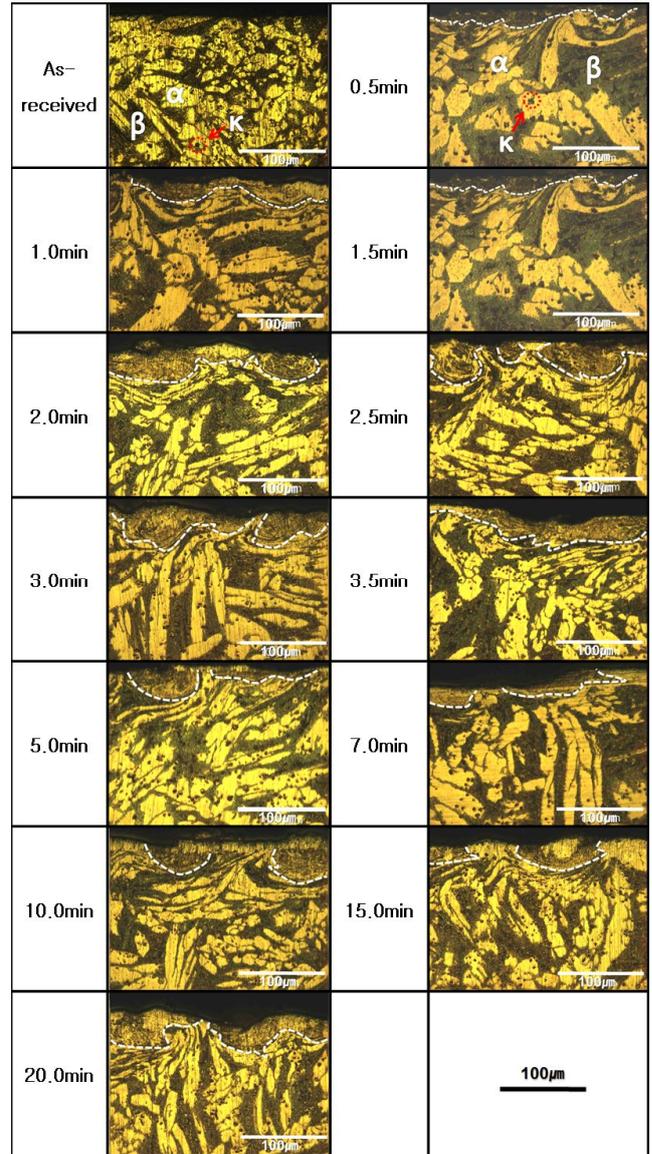


Fig. 4. Microstructure of cross section after shot peening for ALBC3 alloy.

승 정도는 모재와 비교하여 큰 차이를 나타내지 않으며 특히, 임계전류밀도 이전의 영역에서는 모재와 거의 동일한 양극분극 거동을 나타냈다. 상대적으로 전류밀도가 증가하여 모재 보다 낮은 부식 저항성을 나타내나 기계적 특성 향상 정도와 전류밀도의 차를 감안할 때 쇼트피닝 적용에 의한 제품의 내구성 향상이 기대된다. 그 외 (b), (c) 그리고 (d)에서 제시하고 있는 양극분극 거동을 살펴보면, 쇼트피닝 적용시간에 따른 전기화학적 특성 변화는 크지 않은 것으로 판단되며, 전류밀도는 거의 유사한 값을 유지하였다. 모재를 포함하는 모든 쇼트피닝 조건의 양극분극 거동에서 대략 0.25 V~0.4 V의 범위 내에 전류밀도가 감소하는 경향을 나

쇼트피닝 시간에 따른 동합금의 조직특성 및 전기화학적 특성의 변화

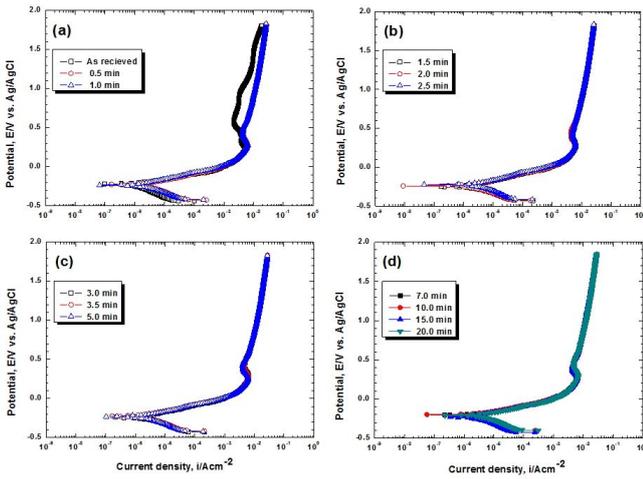


Fig. 5. Comparison of the anodic polarization trends in seawater after shot peening for ALBC3 alloy.

타냈다. 이후 전위가 상승함에 따라서 양극 표면에서의 용해반응은 급격하게 증가하므로 쇼트피닝에 의한 전기화학적 특성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 ALBC3 합금에 대하여 쇼트피닝 이후 해수용액 내에서 Tafel 분석 결과인 부식전위와 부식전류밀도를 비교한 그래프이다. 전체적으로 모재와 비교하여 부식전위는 거의 유사한 값을 나타냈다. 반면, 전류밀도는 모재와 비교하여 전체적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며 쇼트피닝 적용시간이 짧은 0.5분~5.0분까지는 부식전류밀도는 약간의 상승과 하락을 반복하였으며 7.0분 이후 점진적으로 증가하였다. 그러나 부식전류밀도 값은 전체적으로 증가하는 경향을 나타냈으나, 그 차이가 매우 작기 때문에 전기화학적 거동의 변화는 거의 유사한 것으로 판단된다. 결과적으로 대단히 미세한 전기화학적 거동 변화는 요철의 형성에 따른

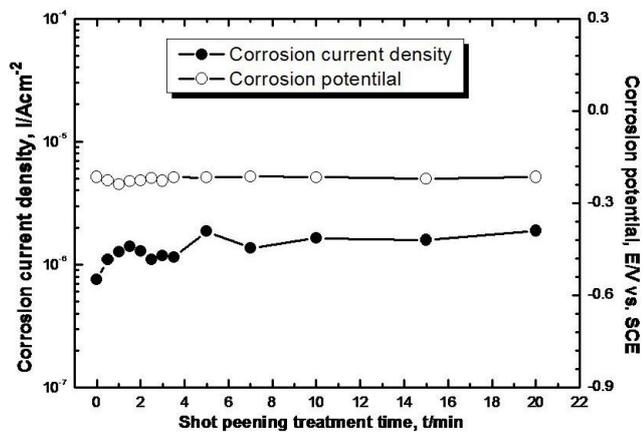


Fig. 6. Results of Tafel analysis in seawater after shot peening for ALBC3 alloy.

표면 거칠기에 의한 영향도 있으며, 그로 인해 7.0분 이후는 커버리지 증가에 따른 표면 균질화로 이러한 변화가 없어진 것으로 판단된다.

Fig. 7은 ALBC3 합금의 쇼트피닝된 시험편에 대한 양극분극 실험 후 SEM과 3D 현미경으로 표면손상을 관찰한 결과이다. SEM 관찰에서 모재는 쇼트피닝된 시험편에 비해 전반적으로 전면부식 보다 국부부식에 의한 손상이 지배적인 것으로 관찰되었다. 어둡고 깊게 손상된 부분이 양극 용해반

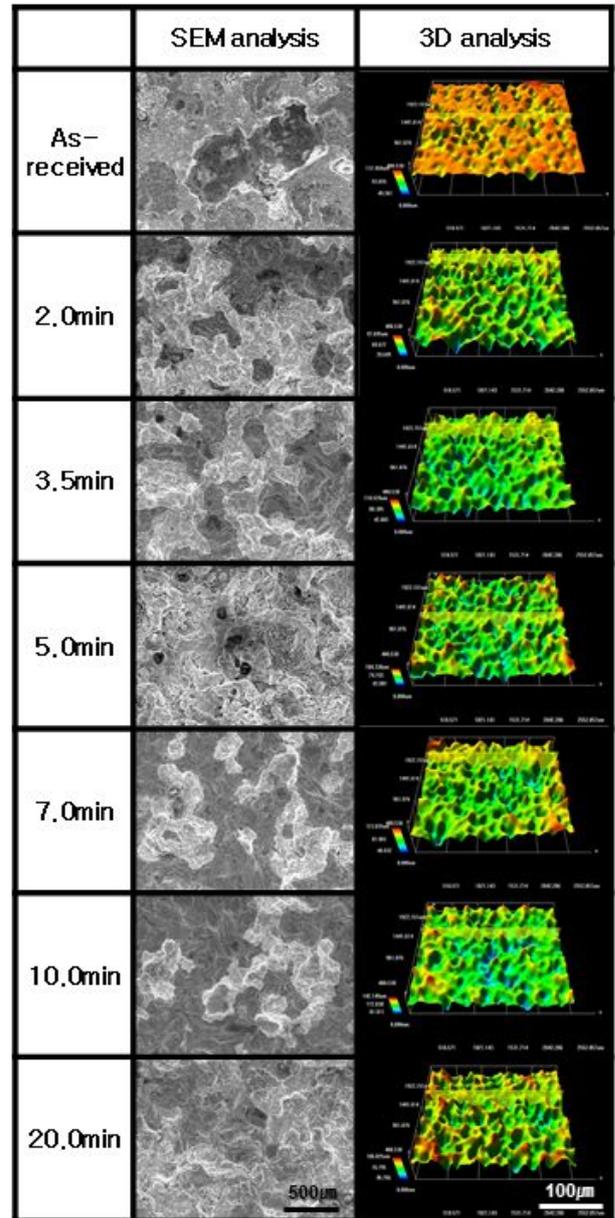


Fig. 7. Surface morphologies and 3D analysis after potentiostatic experiment in sea water for shot peened ALBC3 alloy.

응에 의해 ALBC3 합금이 탈리된 국부부식의 흔적이며, 주위에 부분적으로 나타난 흰색의 작고 둥근 부분이 용해반응에 의해 국부부식이 진행되는 과정으로 판단된다. 3D 현미경 관찰에서도 국부적인 공식(pitting corrosion)이 뚜렷하게 발생하여 전반적으로 쇼트피닝된 시험편 보다 큰 손상깊이를 나타냈다. SEM 관찰에서 쇼트피닝 2.0분의 경우 어두운 영역은 국부부식이 발생한 영역이라 할 수 있다. 주위의 밝은 영역은 용해 반응에 의한 전면부식의 흔적으로 쇼트피닝 과정에서 형성된 표면 요철이 양극 용해반응 과정에서 먼저 부식되어 전면부식을 증대시킨 부위로 사료된다. 이 조건에서는 다른 쇼트피닝 적용시간 조건에 비해 국부부식에 의한 손상이 가장 크게 관찰되는데 이는 쇼트피닝 시간이 짧아 충분한 압축잔류응력이 형성되지 않았기 때문으로 판단된다. 3.0분의 경우 국부부식이 감소하였다가 3.5분~5.0분까지 다시 증가하는 경향을 보였다. 3.5분의 경우 앞선 경도 분석에서 우수한 기계적 특성을 나타낸 영역으로 적용시간 증가로 압축잔류응력이 증가하였으며, 압축잔류응력 형성에 의한 균일한 조직 형성으로 국부부식은 감소하고 전면부식이 증가한 것으로 사료된다. 이후 7.0분~10분의 경우 용해반응에 의한 전면부식이 지배적 이었으며, 20분에서는 국부부식이 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같이 쇼트피닝 시간 증가에 따라 동일한 양극분극 실험 조건에서 용해속도와 부식거동의 차이는 압축잔류응력의 크기와 분포의 영향으로 판단할 수 있다. 쇼트피닝 적용에 따른 전기화학적 부식거동에 미치는 요소들은 표면조직과 화학조성의 균일화, 요철형상의 분포, 결정립의 면적 등 매우 다양한 요소에 의해 미세하게 변화한다. 3D 현미경 관찰에서 쇼트피닝된 시험편의 경우 전체적으로 표면의 거칠기 변화는 거의 없는 것으로 측정되며 전체적으로 활성 용해반응이 발생하여 유사한 경향을 나타냈다. 본 연구에서는 양극분극 거동을 통해 큰 차이를 확인할 수 없었으나 표면 조직관찰을 통해서 각 시간대별 용해반응 속도를 비교하고 부식거동 단계를 추측할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 8은 ALBC3 합금의 쇼트피닝된 시험편에 대하여 양극분극 실험 후 표면 손상깊이를 관찰한 결과이다. 손상깊이는 모재에서 87.6 μm 로 가장 높은 값을 나타냈으며 이후 급격하게 감소하여 0.5분~5.0분 사이에 다소 증감을 반복하는 경향을 나타냈다. 이후 7.0분~20분의 경우, 큰 변동 없이 거의 일정한 경향을 나타내면서 20분 조건에서 미세하게 증가하는 경향을 나타냈다. 전체적으로 손상깊이는 쇼트피닝된 시험편은 모재와 비교하여 낮은 값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 모재와 쇼트피닝된 시험편의 부식거동이 다르기 때문으로 판단된다. 모재의 경우, 평탄한 표면에서 양극분극에 따른 용해반응으로 인해 조직 내 내식성이 상대적으로 열악

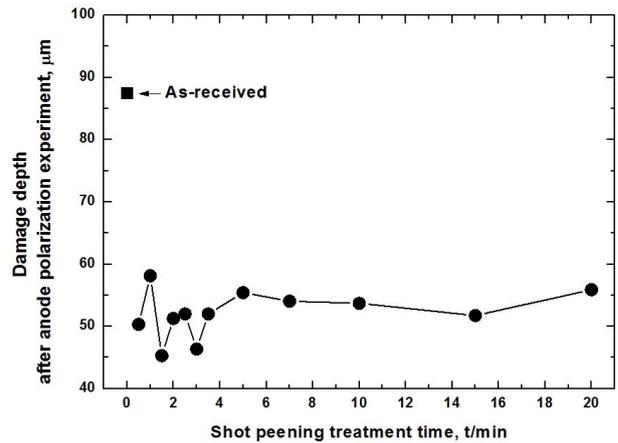


Fig. 8. Damage depth after potentiostatic experiment in sea water for shot peened ALBC3 alloy.

한 영역에서 우선적으로 부식이 진행되고 그로 인해 국부부식 손상의 형태를 야기하였기 때문에 손상깊이는 깊게 나타났다. 반면, 쇼트피닝된 시험편은 압축잔류응력 형성에 기인한 가공경화 효과로 표면 조직 및 조직 직하 영역에서 소성변형이 발생하였다. 이로 인해 조직들이 혼합되어 조직의 미세화와 균질화가 모두 발생하였기 때문이다. 이러한 균질화는 화학조성의 균질화로 각 조직별 전위차가 감소하여 미소 갈바니 부식의 민감성도 감소하였기 때문으로 사료된다 (Muller et al., 1981). 분극 실험 과정에서 극심한 활성 용해반응이 발생하였으며, 쇼트피닝된 시험편의 경우, 부식형태는 국부부식보다는 대체적으로 전면부식이 관찰되었다.

4. 결 론

ALBC3 합금에 대하여 다양한 쇼트피닝 적용시간에 따른 경도측정, 조직관찰, 전기화학적 특성을 평가하였으며 최적 쇼트피닝 적용시간 결정을 위한 연구 결과는 다음과 같다.

1) 표면 경도 측정 결과, ALBC3 합금의 표면경도는 10.0분 조건에서 모재 대비 최대 56% 향상되었으며 3.5분 이후에 다소 일정하게 감소하는 경향을 나타냈다. 그리고 대략 1.0분~7.0분에서 양호한 값을 나타냈다. 그러나 오버피닝 발생하지 않는 최적의 쇼트피닝시간은 3.5분으로 판단되며, 이때 52%의 경도향상을 나타냈다.

2) SEM과 3D 현미경을 활용한 표면관찰 결과, ALBC3 합금에 대하여 쇼트피닝 후 표면에 전체적으로 요철이 발생하였으며 시간이 증가할수록 커버리지 향상에 따른 균질화 현상이 관찰되었다. 이러한 균질화 현상은 소성변형 영역 및 화학조성의 변화를 수반하여 조직특성이 변하게 된다.

3) 동전위 분극 실험 결과, 모재와 비교하여 쇼트피닝된

시험편의 부식전류밀도는 약간 저하하는 경향을 나타냈다. 그러나 모재는 국부부식으로 인한 손상이 크게 나타났으나 쇼트피닝된 시험편의 경우 전면부식 거동을 보였다.

감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임. (No. 2011-09-대-01-039)

참 고 문 헌

- [1] Aoki, H., E. Nagashima and T. Miura(1990), Effect of Shot Peening Conditions on Fatigue Strength of Carburized Steel, Proceeding of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, pp. 513-518.
- [2] Ebenau, A., D. Lphe, O. Vohringer and E. Macherauch(1990), Influence Shot Peening on the Microstructure and the Bending Fatigue Strength of Bainitic-austenitic Nodular Cast Iron, Proceeding of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, Vol. 1, pp. 389-398.
- [3] Eckersley, J. S.(1991), Shot Peening Plays a Vital Roll in Rejuvenation of Aging Aircraft, Shot Peening Theory and Application, Institute for Industrial Technology International, France, pp. 241-255.
- [4] Harada Y.(2008), Application in Joining of Shot Pinning Technology, The Journal of Transaction of Material Processing, Vol. 17, No. 8, pp. 541-549.
- [5] Hong, S. M., M. K. Lee, G. H. Kim, K. H. Kim, W. W. Kim and S. I. Hong(2004), Improvement of the Resistance to Cavitation Erosion by the Formation of β' Martensite in Flame-quenched Cu-9Al-4.5Ni-4.5Fe Alloys, Journal of the Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 37, No. 4, pp. 234-241.
- [6] Im, M. H.(2011), Cavitation Characteristics on Impeller Materials of Centrifugal Pump for Ship in Sea Water and Fresh Water, Corrosion Science and Technology, Vol. 10, No. 6, pp. 218-224.
- [7] Jones, D.(1964), American Society for Metals, Metal Handbook, 8th ed., Vol. 2, pp. 398-405.
- [8] Lee, S. H. and H. S. Kim(1999), The Effect of 2-Step Shot Peening on the Fatigue Behavior of Spring Steel, Transactions of the KSME A, Vol. 23, No. 1, pp. 140-147.
- [9] Muller, M. P., C. Verpoort and G. H. Gessinger(1981), The Influence of Shot Peening on the Fatigue and Corrosion Fatigue Behavior of an Austenitic-Ferritic Stainless Steel, Proceeding of the 1st International Conference on Shot Peening, Paris, Vol. 1, pp. 479-484.
- [10] Park, I. C., K. Y. Hyun, J. C. Park, S. K. Jang and S. J. Kim(2013), Proceeding of the Korean Society of Marine Environment & Safety in Spring, Mokpo, pp. 209.
- [11] Park, K. D. and H. J. Ryu(2005), A Effect of Shot Peening for Fatigue Life of Spring Steel for Vessel Application, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 29, No. 4, pp. 426-435.
- [12] Petersen, A. G., D. Klenerman and W. M. Hedges(2004), Evaluation of the Effect of Carbon Dioxide Corrosion Inhibitors on Cavitation Damage Caused during the Ultrasound Test, Corrosion, Vol. 60, No. 2, pp. 187-194.
- [13] Tange, A. and N. Takamura(1990), Relation between Shot-peening Residual Stress Distribution and Fatigue Crack Propagation Life in Spring Steel, Proceeding of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, Vol. 1, pp. 243-253.
- [14] Verpoort, C. M. and C. Gerdes(1989), Influence of Shot Peening on Material Properties of Turbine Blades, Shot Peening Theory and Application, Institute for Industrial Technology Transfer International, France, pp. 11-70.
- [15] Wohlfahrt, H.(1984), The Influence of Peening Conditions on the Resulting Distribution of Residual Stress, Proceeding of the 2nd International Conference on Shot Peening, Chicago, pp. 316-331.

원고접수일 : 2013년 07월 23일

원고수정일 : 2013년 08월 23일

게재확정일 : 2013년 10월 25일