

탄화규소/7091알루미늄 복합재료의 부식거동

강 우 승

인하공업전문대학 금속재료과
(2012년 5월 7일 접수, 2012년 8월 9일 수정, 2012년 8월 13일 채택)

Corrosion Behavior of Silicon Carbide/7091 Aluminum Matrix Composites

Wooseung Kang

Dept. of Metallurgical & Materials Engineering, Inha Technical College, Incheon 402-752, Korea
(Received May 7, 2012; Revised August 9, 2012; Accepted August 13, 2012)

The effects of volume fraction (15-30%) of SiC particulate reinforcements on the corrosion behavior of SiCp/7091 Al composites in the 3.5% NaCl solution were studied by electrochemical techniques and scanning electron microscopy. The results showed that the amount of SiC particulate reinforcements did not cause much difference in the corrosion behavior of SiCp/7091 Al composites but the corrosion rate was proportional to the amount of SiCp reinforcement. And numerous pits and severe dissolution of the matrix was observed probably due to the discontinuities and galvanic effects between Al matrix and SiC reinforcements.

Keywords : composites, reinforcements, corrosion potential, polarization resistance, pitting

1. 서 론

자동차, 항공산업 등과 같은 역학구조물에서 신소재의 적용을 통해 한정된 에너지 자원을 보다 효율적으로 사용하고, 에너지 사용의 효율성을 향상시키려는 노력들이 많이 이루어지고 있다. 예를 들어 연비를 향상시키기 위해 가볍고 고강도의 물성을 가진 알루미늄 기반의 재료가 많은 관심을 받고, 연구개발 되어 왔다

알루미늄합금은 낮은 밀도의 특성 때문에 경량이 요구되는 에너지 절감재료로 적합하나 고온에서의 약한 기계적 성질로 인해 사용이 많이 제한되었다. 이러한 알루미늄 합금의 고온 기계적 성질은 우수한 기계적 특성과 열 안정성을 갖춘 탄화규소 (SiC)와 같은 보강재료 (reinforcements)의 활용으로 향상될 수 있었다. 기계적 물성의 강조로 인하여 알루미늄기반 복합재료의 제조공정, 미세구조 등의 변수에 따른 기계적 성질 변화에 대한 많은 연구결과가 보고 되었지만,¹⁾⁻³⁾ 부식에 대한 연구는 알루미늄 합금재료⁴⁾⁻⁵⁾와 비교하여 상대적으로 미흡하며 아직도 많은 연구가 필요하다.

본 연구에서는 7091 알루미늄합금에 탄화규소 입자를 보강 재료로 첨가하여 제조한 복합재료의 3.5% NaCl 용액에서의 보강재료의 부피 비율 (volume fraction)에 따른 부식 거동에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

7091알루미늄 합금에 탄화규소 입자 (SiCp)를 부피 비율 (volume percentage)로 15~30% 첨가한SiCp/7091 Al 복합재료를 시편으로 사용하였다. 7091 알루미늄 합금의 조성은 Table 1에 나타내었다. 시편은 분말야금 공정으로 제조되어T6 열처리를 하였으며, 전기화학 시험 전 시험 용액에 노출될 부분은 연마, 초음파 세정 및 건조과정을 거쳐 준비하였다.

전기화학 시험은 자연해수와 유사한 조건인 3.5% NaCl 용액에서 EG&G PAR Potentiostat/Galvanostat Model 273 부식 측정계를 이용하였으며, 기준전극 (reference electrode) 으로 포화 칼로멜전극 (saturated calomel electrode), 상대전극 (counter electrode)으로는 탄소전극을 각각 사용하였다.

부식전위 (E_{corr})는 24시간 정도의 시간범위에서 시간에 따른 변화를 관찰하였다. 최소 3개의 시편을 반복 측정하여 평균적인 부식전위 값을 얻었다.

Table 1. The composition of the base metal 7091 Aluminum alloy

Element	Zn	Cu	Co	Al
weight %	6.5	1.5	0.4	balance

* Corresponding author: wkang651@inhac.ac.kr

시간에 따른 부식전위의 측정 직후 분극저항 (polarization resistance) 시험을 행하였다. 스캔 속도는 0.1 mV/sec으로 하였으며, 스캔범위는 $-0.02 \text{ V} \sim +0.02 \text{ V}$ (vs. E_{corr})로 하였다.

양극 분극 (anodic potentiodynamic polarization) 시험은 부식전극 대비 $-0.250 \sim +1.600 \text{ V}$ (vs. SCE)의 범위에서 0.2 mV/sec의 스캔속도로 실시하였다.

전기화학 시험 후 시편을 증류수로 세정하여 건조시킨 후 SEM (scanning electron microscopy)을 이용하여 미세구조의 변화를 관찰, 분석하였다. 미세구조관찰과 더불어 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)를 이용하여 부식부분의 성분분석을 행하였다.

이러한 전기화학시험과 더불어 일부 시편은 3.5% NaCl 용액에 30일 동안 침적 후 그 결과를 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

SiCp의 부피 비율(volume fraction)에 따른 부식전위 (E_{corr} , corrosion potential) 및 분극저항 (R_p , polarization resistance) 값의 변화를 Table 2에 정리하였다. 참고로, 알루미늄 복합재료로 많이 사용되고 있는 SiCp/6061Al 시편의 전기화학 시험 결과⁶⁾를 Table 3에 나타내었다. SiCp/6061Al 시편과 비교해 볼 때 SiCp/7091Al 시편이 부식전위측면에서 보다 활성적인 것을 알 수 있다. 알루미늄 복합재료는 SiCp의 부피 비율(volume fraction)에 따라 부식전위의 값들이 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 SiCp/2024 Al 복합재료에서도 유사하게 관찰되었다.⁷⁾⁻⁸⁾ 반면에, 분극저항은 SiCp의 부피 비율(volume fraction)이 증가함에 따라 감소되었다. 따라서 부식속도 (corrosion rate)는 SiCp의 부피 비율이 증가함에 따라 비

례적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 휘스커 (whisker) 형상의 탄화규소를 보강재료로 첨가한 SiCw/6061 Al 복합재료에서도 유사하게 관찰되었다.⁹⁾

한편, 시편을 3.5% NaCl 용액에 30일 동안 침적 후 무게 변화를 측정한 결과 SiCp의 부피 비율(volume fraction)에 따른 뚜렷한 차이점은 관찰 되지 않았다.

3.5% NaCl 용액에서의 양극 분극 (Anodic Potentiodynamic Polarization) 시험결과는 SiCp의 부피 비율 (volume fraction)에 관계없이 유사한 경향을 보였으며, SiCp의 부피 비율이 20%인 시편의 양극 분극 (Anodic Potentiodynamic Polarization) 시험 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보는 것처럼 시편들이 부식전극 보다 약 100 mV 이상의 전위로 분극 되었을 때 전류밀도가 급격히 증가하기 시작하여 약 -300 mV 부터는 전류밀도의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 약 -739 mV (vs. SCE) 이상에서는 시편의 분극과 더불어 기지(matrix)가 심하게 용해(dissolution)되는 현상과 가스발생이 동시에 관찰되었다.

시편의 전기화학 시험 전, 후 표면구조 변화의 분석을 위하여 SEM (Scanning Electron Microscopy)관찰을 행하였다. Fig. 2 (a) 및 (b)는 각각 탄화규소 입자 (SiCp)의 부피 비율이 20, 30%인 시편의 시험 전 표면상태이다. 부피 비율이 30%인 경우가 20%인 경우에 비해 탄화규소의 입자들이 보다 큰 형태로 응집되어 있는 것을 관찰할 수 있다. Fig. 3 (a)는 시험 초기에 기지 (matrix)에 국부적으로 형성된 공식 (pits)을 보여 주고 있다. Fig. 3 (b)-(d)는 공식들이 점차로 성장, 확대되어 기지 (matrix)가 부식, 붕괴된 다양한 형태의 미세구조를 보여주고 있다. Fig. 4는 Fig. 3의 시편이 용해 (dissolution)된 부분의 성분을 EDS

Table 2. Ecorr & Polarization Resistance of SiCp/7091 Al composites in 3.5 wt.% NaCl

Amount of SiC (vol.%)	Ecorr (V)	Rp (k-ohms cm ²)
15	-0.879	2.17
20	-0.839	1.31
30	-0.861	0.46

Table 3. Ecorr of SiCp/6061 Al composites in 3.5 wt.% NaCl

Amount of SiC (vol.%)	Ecorr (V)
15	-0.721
20	-0.707
30	-0.739

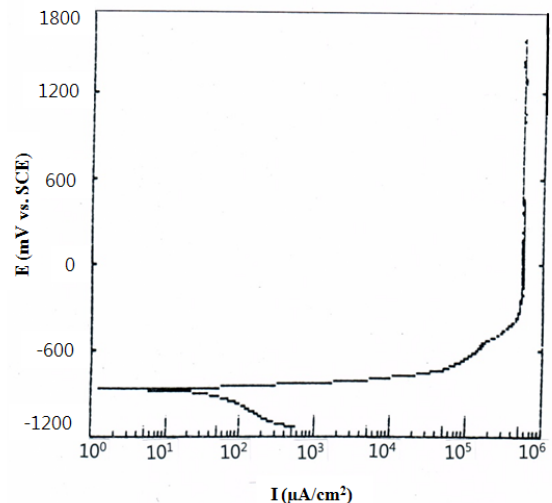


Fig. 1. Anodic Potentiodynamic Polarization curve of 7091 Al with 20 vol. % of SiCp in 3.5% NaCl solution.

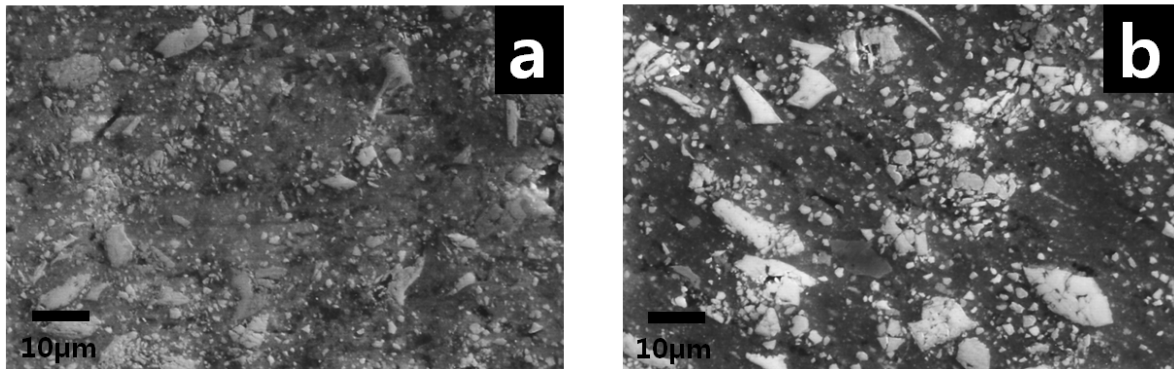


Fig. 2. Scanning electron micrograph of 7091 Al composite with (a) 20 vol.% SiCp and (b) 30 vol.% SiCp.

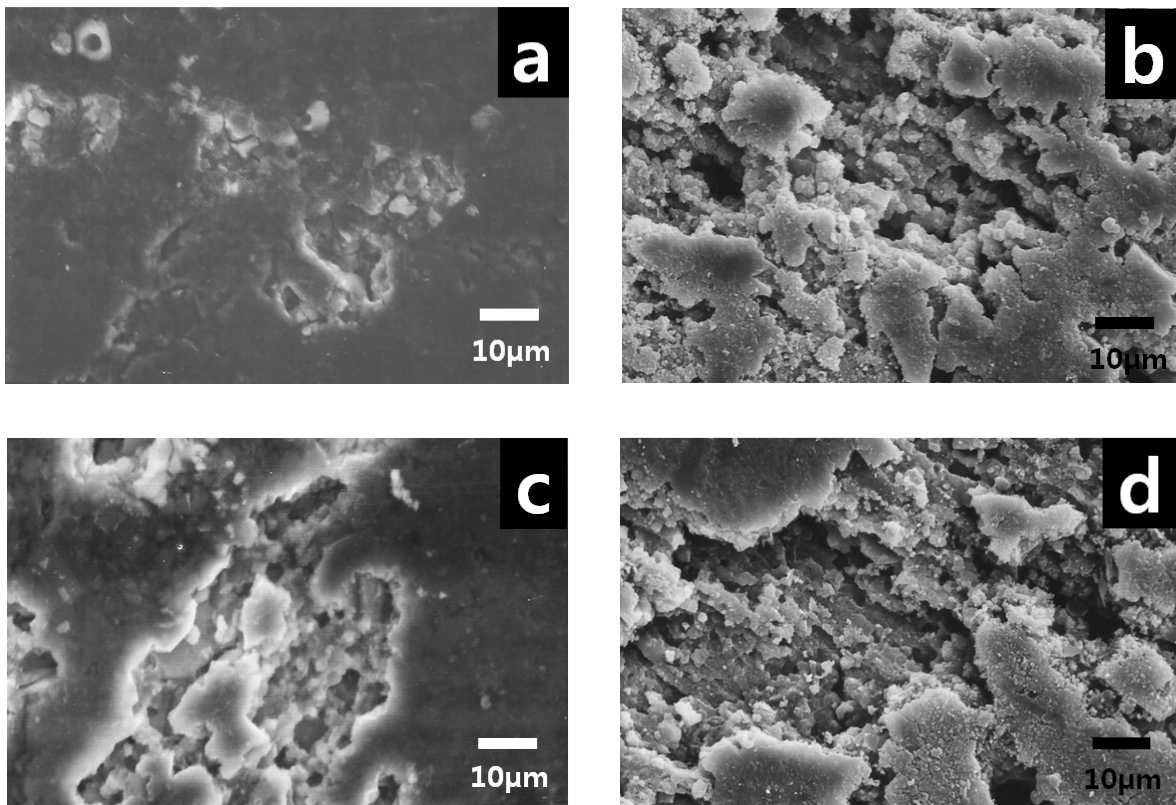


Fig. 3. Scanning electron micrograph of 7091 Al composite with 20 vol.% SiCp after polarization in 3.5 % NaCl (a) pitting, (b) (d) severe dissolution.

(Energy Dispersive Spectroscopy)로 분석한 데이터이다. 부식, 용해된 부분에서 기지(matrix)의 주요성분인 Cu, Zn, 보강재 성분인 Si, 부식용액의 Cl 성분 등이 검출되었다. Fig. 5는 시편을 30일 동안 3.5% NaCl 용액에 침적 후 관찰한 미세구조이다. 전기화학에 의해 변화된 미세구조 보다는 비교적 표면전체에 걸쳐 얇고 균일하게 부식된 것을 알 수 있다. SiCp의 부피 비율이 15 및 30%인 시편의 경우도 20%인 경우의 Figs. 3 및 5 처럼 유사한 경향을 보여 시편

의 미세구조 변화는 SiCp의 부피 비율에 크게 영향을 받지 않았다.

시험초기의 국부적인 공식(pits)들의 발생은 보강재로 사용된 탄화규소 입자 (SiCp)가 기지 (matrix)상에 불연속점들을 형성하여¹⁰⁾ 부식이 보다 용이하게 발생할 수 있는 조건을 제공함과 동시에 기지와 보강재 사이의 갈바닉 효과 (galvanic effects)¹¹⁾⁻¹²⁾의 복합적인 요인에 영향을 받아 부동태 피막 (passive film)의 붕괴에 의한 것으로 추정 된다.

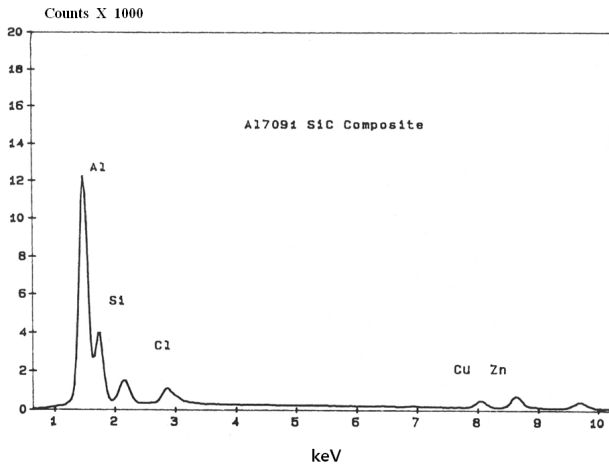


Fig. 4. EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) spectra for the dissolved areas in Fig. 3.

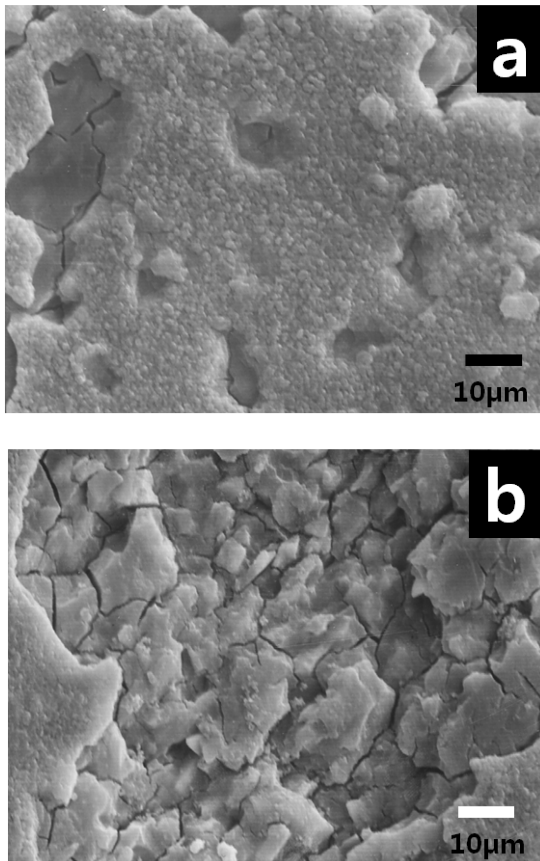


Fig. 5. Scanning electron micrograph of 7091 Al composite with 20 vol.% SiCp after immersion test for 30 days in 3.5 wt% NaCl showing (a) pittings and (b) dissolution.

4. 결 론

Aluminum 7091에 탄화규소를 보강재료로 사용하여 제조된 복합재료에 있어서 탄화규소의 양 (부피 비율)은 SiCp/Al7091 복합재료의 부식전위에 뚜렷한 영향은 미치지 않는 것으로 분석되었다. 하지만 탄화규소의 양에 따라 분극저항 (polarization resistance)과 부식속도 (corrosion rate)에는 다소 영향을 미쳤다. 분극저항은 탄화규소의 양이 증가함에 따라 감소하여, 부식속도는 탄화규소의 양에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 알 수 있었다.

전자현미경에 의한 미세구조 관찰로부터 기지(matrix)와 보강재 (reinforcements) 사이의 불연속영역 및 갈바닉 효과 (galvanic effects)로 인해 공식 (pittings) 발생과 이들의 성장, 확대로 기지가 심하게 용해, 부식된 것을 관찰, 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. C. E. Da Costa, F. Velasco, and J. M. Torralba, *Rev. Metal. Madrid*, **36**, 179 (2000).
2. M. Hutchings, S. Wilson, A. T. Alpas, T.W. Clyne (ed.), *Comprehensive Composite Materials*, **3**, Elsevier Science Ltd., UK, 501 (2000).
3. A. Pardo, M. C. Merino, S. Merino, F. Viejo, M. Carboneras, and R. Arrabal, *Corros. Sci.*, **47**, 1750 (2005).
4. G. Huang, *Corros. Sci. Tech.*, **31**, 215 (2002).
5. B. Yoon, H. Kim, W. Chang, and Y. Kweon, *Corros. Sci. Tech.*, **5**, 196 (2006).
6. H. Sun, E. Koo, and H. G. Wheat, *Corrosion*, **47**, 742 (1991).
7. C. HE, C. LIU, F. Li, and Q. KAI, *J. Mater. Sci. Technol.*, **18**, 261 (2002).
8. R. L. Deuis, L. Green, C. Subramanian, and J. M. Yellop, *Corrosion*, **53**, 880 (1997).
9. K. D. Lore and J. S. Wolf, Proc. Meeting of the Electrochemical Society, Denver, CO, October (1981).
10. A. J. Trowsdate, B. Noble, S. J. Haris, I.S. R. Gibbins, G. E. Thomson, G. C. Wood, *Corros. Sci.*, **38**, 177 (1996).
11. P. P. Trzaskoma, E. McCaffery, and C. R. Crowe, *J. Electrochem. Soc.*, **130**, 1804 (1983).
12. D. M. Aylor and P. J. Moran, *J. Electrochem. Soc.*, **132**, 1277 (1985).