

논문

용탕단조법에 의한 Ni, Ni-Cr 다공질 발포금속 강화 AC4C 합금기 복합재료에 관한 연구

김억수[†]

울산대학교 첨단소재공학부

Characterization of the Ni and Ni-Cr Porous Metal Reinforced AC4C Matrix Composites Fabricated by Squeeze Casting

Eok-Soo Kim[†]

The school of Materials Science and Engineering, University of Ulsan

Abstract

The microstructure and mechanical property of the Ni and Ni-Cr porous metal reinforced AC4C matrix composites fabricated by squeeze casting were investigated. In this study Ni, Ni-Cr porous metals which are estimated to be easy to fabricate by squeeze casting are used as strengtheners for composite materials. As a matrix material, Al-7wt.%Si-0.3wt.%Mg(AC4C) has been used. In case of Ni/AC4C and Ni-Cr/AC4C composite, 750°C melt temperature and minimum 25MPa squeezing pressure are needed to produce sound composite materials. The observation of interfacial reaction zone at various heat treatment condition shows that at solutionizing temperature of above 520°C, the interfacial reaction zone increases proportionally with heat treatment time and the reaction products formed by interfacial reactions are mainly composed by Al₃Ni and Al₃Ni₂ phases.

Key words : Squeeze casting, Porous metal, Composite, Intermetallic compound.

(Received March 4, 2005; Accepted April 18, 2005)

1. 서 론

자동차가 우리나라의 중요한 수출품이 됨에 따라 그 생산대수가 급격히 증가되어 성장기에서 성숙기로 접어드는 경향을 보이고 있다. 한편 최근 교토의정서의 비준통과로 세계적인 배기가스 규제 움직임의 가속화로 저연비 차량의 요구가 본격화되고 있으며, 또한 소비자의 욕구를 만족시키기 위해서는 고효율화가 되어야 함과 동시에 쾌적성(진동과 소음저감)과 안정성을 향상시키지 않으면 안되는 상황에 놓여있다. 자동차의 중량과 연비 사이에는 직접적인 관계가 있으며, 통상 차체의 무게를 1 kg 감소시킬 경우 자동차 연비가 0.01 km/l 향상된다고 보고 되고 있다. 따라서 자동차 부품이 기존의 철계 중심에서 경량, 강인 소재로 대체되어야 하며 이러한 요구조건을 만족시켜 줄 수 있는 대체소재로 알루미늄 복합재료가 대두되고 있다.

실제로 일본 등 선진국에서는 오래전 피스톤, 콘로드, 실린더 라이너, linerless 엔진블럭, 로크암, 브레이크 디스크 등에 알루미늄 복합재료 주물이 적용되고 있고 현재는 보다 저렴하고 생산성 향상이 가능한 방향으로 연구가 추진되고 있다. 국내 완성차 업계에서도 이러한 외국 동향을 충분히 숙지하고 있었음에도 불구하고 복합재료 부품의 양산제조기술 미확보에 따른

양산품질 불안정, 차량의 원가상승 등의 이유로 복합재료 적용 부품의 사용이 늦어지게 되었으나 최근 자동차 시장의 개방과 환경문제, 고성능을 요구하는 소비자의 욕구 등을 고려할 때 복합재 부품개발이 가속화 되지 않으면 안 될 입장에 놓여 있다. 국내에서는 최근까지 자동차 엔진 및 변속기 주변부품을 중심으로 경량화 재료인 알루미늄이나 마그네슘의 적용 및 개발이 활발하게 진행되어 왔으나 경량화 및 쾌적성, 안전성이 크게 영향을 미치는 브레이크 부품에는 철계를 사용 중이다. 이들 부품들은 고온, 고마모, 고하중 등을 받는 관계로 알루미늄이나 마그네슘 등의 단일 경량금속 합금으로는 요구특성을 만족시킬 수 없으므로 경량세라믹 또는 강화 금속과의 복합화가 필요하다. 주조법에 의한 복합재료 부품 제조방법에는 강화 예비성형체 또는 발포체를 사용하여 부분 복합화하는 방법과 용침법, 교반주조법 등을 이용한 전체 복합화 방법이 있다[1-3]. 콘로드 등 고하중을 받는 부품은 전체 복합화가 필요하고 실린더라이너, 브레이크 디스크, 피스톤의 top ring 부 등 내마모성 및 내열성이 요구되는 부품은 표면부위 또는 특정부위만 복합화하는 것이 전체 복합화에 따른 재료의 인성저하를 막고, 기지금속에 비하여 고가인 강화제 사용을 절감할 수 있어서 제조원가 절감이 가능하며, 기계가공 문제를 해소할 수 있다. 국내에서는 그동안 피스톤의 top ring부 복합화 개발에 이어

[†]E-mail : esgim@mail.ulsan.ac.kr, osgim@korea.com

SiC 입자강화 알루미늄 복합체인 Dulalcan ingot를 사용한 브레이크 디스크 개발이 완성차 업체를 중심으로 일부 진행중에 있지만 너무 경한 SiC입자에 의한 패드재 손상과 SiC입자의 분리, 디스크 전체를 강화시키는데 따른 인성부족 등이 실용화를 어렵게 하고 있다[4-8].

따라서, 본 연구에서는 용탕단조법을 이용하여 SiC 입자강화 알루미늄 복합재 사용시 문제가 되고 있는 브레이크 디스크를 대상으로 Al-7wt.%Si-0.3wt.%Mg(AC4C) 합금기 Ni 및 Ni-Cr 발포금속을 이용하여 강화재 분리 현상과 인성저하 문제, 가공성 문제 및 제조원가 절감 문제 등을 해결하고자 하였다. 특히, Ni기 발포금속은 고압주조에 의하여 기지금속인 알루미늄이 침투될 때 계면에서 금속간화합물 층을 형성하여 내마모성을 향상시켜 주며 열처리를 통하여 금속간화합물 생성량을 조절할 수 있다. 또한 Ni 발포체의 Vf는 자유로운 조절이 가능하여 복합화 소재에 대한 내마모성의 정량적인 조절이 가능하도록 하는 장점이 있다. 따라서 발포체 금속강화 알루미늄 복합재를 브레이크 디스크에 적용하였을 때 상대제인 패드재의 손상을 극소화 하면서 제동시 소음감소 및 제동안정성을 향상시킬 수 있어 부드럽고도 강력한 제동특성을 부여할 수 있다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 기지금속은 주조용 합금으로 널리 이용되고 있는 Al-7wt.%Si- 0.3wt.%Mg(AC4C) 알루미늄 합금이며 그 화학적 조성은 Table 1과 같다. 강화 소재로는 체적율이 5%이고 평균 공경(孔徑)이 0.6 mm인 Ni 및 Ni-Cr 두 종류의 다공질 발포금속이 사용되었다. 다공질 발포금속은 비교적 균일한 크기의 pore가 일정간격으로 형성되어 있었으며 3차원적으로 엉켜있는 망상구조를 하고 있었다. 발포체의 크기는 가로 600 mm, 세로 45 mm 및 두께 5.1 mm이었다. 다공질 발포금속의 제조는 먼저 쉽게 제거가 가능한 발포수지(polyurethane foam)로 원하는 다공질 금속부재가 얻어질 수 있도록 소정의 가공율을 갖는 형상으로 성형한다. 그리고 여기에 카본 등의 도전성 재료를 피복하고, 그 후 그 도면의 산화막을 환원처리하여 제거함으로써 최종제품을 얻는다. Fig. 1(a)는 Ni (b)는 Ni-Cr 다공질 발포금속 형상을 나타낸다. Figure에서 보는 바와 같이 발포금속은 비교적 균일한 크기의 pore가 일정간격으로 형성되어 있으며, 3차원적으로 엉켜있는 망상구조를 하고 있다.

2.1 주조시험

주조시험은 유압프레스를 이용하여 용탕온도를 750, 850 및 950°C로 가압력을 10, 25, 50 및 100 MPa로 변환시켜 실험을 행하였다. 가압유지 시간은 시험편의 응고시간을 고려하여 90초동안 유지하였다. 강화재로 이용된 다공질 발포금속은 직경 ϕ 86로 절단하였고 예열없이 주조직전 350°C로 예열된 금형에 설치한 후 주탕, 가압하여 복합재를 얻었다. 제조된 복합재료는

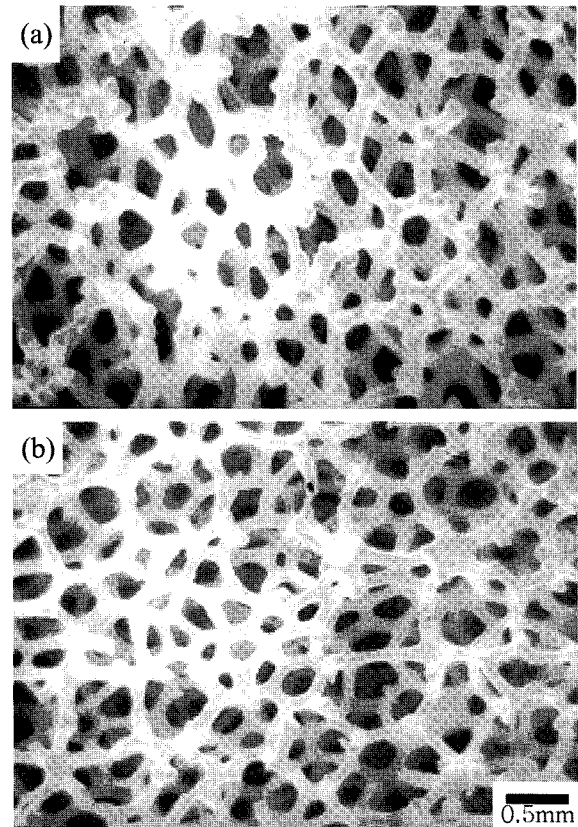


Fig. 1. SEM view of Ni and Ni-Cr porous metal. (a) Ni porous metal (b) Ni-Cr porous metal

520°C에서 7시간 동안 열처리를 행한 후 160°C에서 6시간동안 시효처리를 행하여 주조시험편과 함께 기계적 특성을 평가하고 미세조직을 관찰하였다.

2.2 인장시험 및 파단면 관찰

주조시험을 통해 750°C에서 25 MPa로 제조된 복합재를 Fig. 2(a,b)와 같이 ASTM B 557-84M 규격을 따라 가공하였으며 제조상태 및 열처리 상태에 따라서 Instron 8501을 이용해 cross head speed 1mm/min의 속도로 인장시험을 행하였다. 시험편의 파단면은 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였으며, 균열생성원인을 조사하기 위해 파단면을 절단한 후 폴리싱하여 광학현미경으로 관찰하였다.

2.3 열팽창계수

열팽창시험은 Shimadzu thermal analysis TA-501을 이용하여 행하였으며 시편치수는 Fig. 2(c)와 같이 직경 ϕ 5, 길이 20 mm로 가공하여 주조상태와 열처리한 시편에 대해 각각 측정 비교하였다.

2.4 내마모시험

Table 1. Chemical composition of AC4C alloy (wt.%).

Material	Si	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Ti	Al
AC4C	7.2	0.3	<0.001	0.016	0.32	<0.001	0.15	Bal.

본 연구에서 사용한 내마모시험기는 pin type이었으며 시험편은 Fig. 2(d)와 같이 $\phi 10 \times 70$ mm로 가공하였으며, 상대재료는 #600mesh의 사포를 사용하였다. 내마모시험은 1.3 및 2.3 m/sec의 활주속도에서 행하였으며 시험편은 시험전에 알코올에 깨끗이 건조하여 0.0001 g까지 무게를 측정하고, 시험 후에도 세척한 후 건조하여 무게를 측정하여 시험편의 내마모량을 구하였다.

2.5 계면반응층 관찰

제조된 복합재 시험편을 기지금속의 용체화 처리 온도인 520°C에서 1~24시간까지 유지시킨 후 수냉하여 반응층을 형성시킨 후 열처리 시간에 따라 얻어진 시료를 폴리싱하여 광학현미경으로 반응층을 관찰하고, X-ray 및 주사전자현미경으로 반응층을 분석하였다.

3 실험결과 및 고찰

3.1 복합재의 주조성 및 조직특성

Fig. 3 및 Fig. 4는 Ni 및 Ni-Cr발포금속을 강화재로 이용해 750°C의 일정주조 온도에서 가압력을 변화시켜 제조한 복합재의 미세조직을 나타내었다. 기지조직은 Al-Si 이공정합금의 전형적인 조직인 초정 α 수지상에 공정Si이 미세분산된 조직으로 용탕단조에 의해 비교적 미세균일한 조직을 보이고 있다. 다공질 발포금속과의 복합화 양상은 가압력이 10 MPa인 경우 발포금속의 계면 및 edge에 용탕 미침투 영역이 존재하고 있는 것을 볼 수 있고, 압력이 25 MPa 이상으로 증가하게 되면 용탕은 강화재 edge부분까지 완전히 침투하여 건전한 복합재를

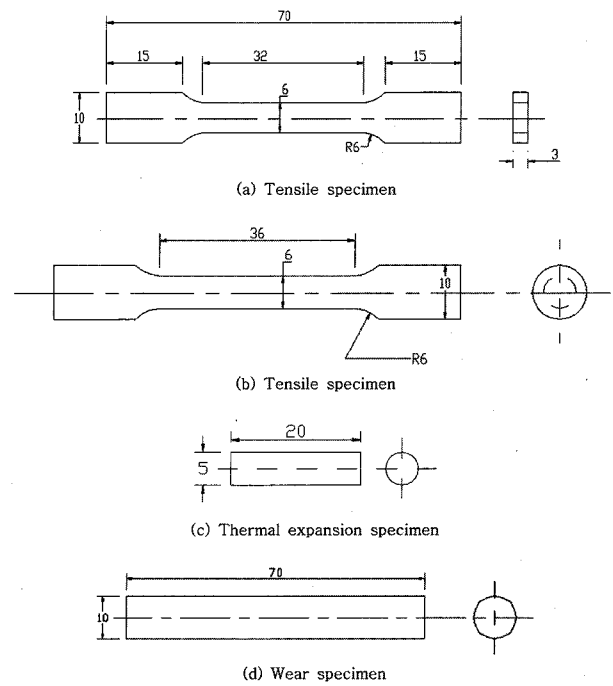


Fig. 2. Shape and dimension of various specimens.

얻을 수 있었다. 따라서, 발포금속을 강화재로 이용할 경우 건전한 복합재를 얻기 위해서는 750°C의 주조온도에서 25 MPa 이상의 가압력이 필요함을 알 수 있었다. Fig. 3에서 Ni/AC4C 복합재료의 경우 주조시 기지금속과 강화재 계면에 반응층이 형성되어 있음을 볼 수 있었고, 이 반응층은 가압력에

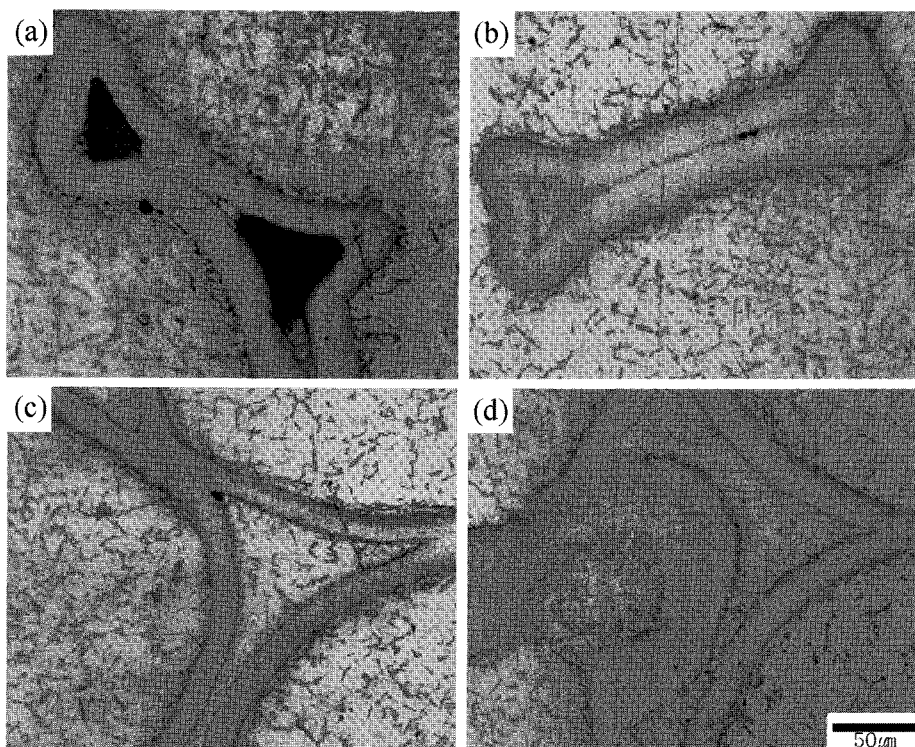


Fig. 3. Microstructure of Ni/AC4C composites with changing pressure. (a) 10 MPa (b) 25 MPa (c) 50 MPa (d) 100 MPa

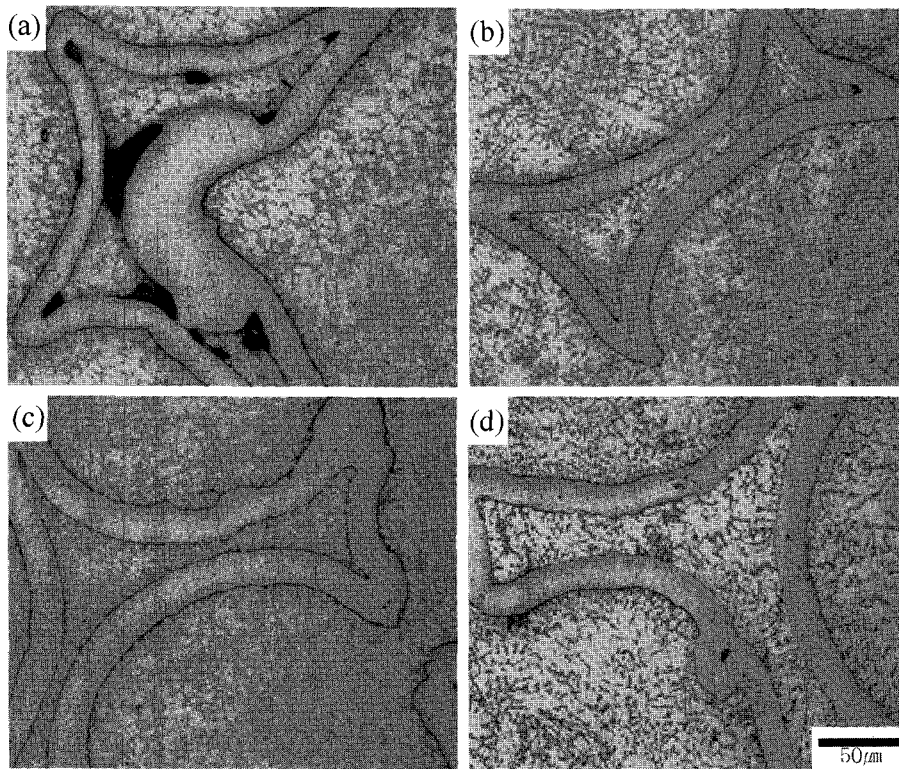


Fig. 4. Microstructure of Ni-Cr/AC4C composites with changing pressure. (a) 10 MPa (b) 25 MPa (c) 50 MPa (d) 100 MPa

의 경우에는 가압력에 관계없이 계면반응층이 형성되지 않았다. 주조온도를 850°C 및 950°C로 변화시키고, 주조압력을 25 MPa로 하여 주조시험한 결과에서도 Ni/AC4C 복합재료는 두조건외의 발포금속 강화복합재 모두 주조온도에 관계없이 유사한 두께로 계면 반응층이 형성되어 있는 반면 Ni-Cr 발포금속의 경우에는 계면반응층을 관찰할 수 없었다.

3.2 복합재의 계면반응층 관찰 및 분석

3.2.1 Ni/AC4C 복합재료

주조시험을 통해 750°C, 25 MPa에서 제조된 Ni 및 Ni-Cr/AC4C 복합재료의 계면반응층 형성 및 관찰을 위해 기지금속의 용체화처리 온도인 520°C에서 1,3,5,7,10 및 24시간동안 열처리를 행하였으며 그 결과를 Fig. 5에서 나타내었다. Figure에서 보듯이 Ni의 경우 열처리 시간에 비례하여 계면반응층은 증가하는 경향을 보여주었고, 열처리 시간이 1시간 지나면 알루미늄 기지금속과 인접한 부분에 두꺼운 흰색 반응층과 Ni 강화재에 인접해 있는 짙은 회색의 얇은 계면반응층의 2층으로 분리되어 있음을 볼 수 있었다. 또한 열처리 초기에는 흰색 반응층이 빨리 성장하지만 3시간을 전후하여 성장속도가 둔화된 반면 회색 반응층은 시간이 경과하면서 일정하게 성장하는 경향을 보여주었다. 24시간 경과 후에는 흰색반응층의 두께는 약 13 µm, 회색 반응층은 약 9 µm까지 성장하였다. Fig. 6은 520°C에서 7시간 열처리한 후 계면반응층을 EDX로 Al과 Ni에 대해 라인 분석한 결과를 나타낸 것이다. Figure에서 알 수 있듯이 계면반응층은 뚜렷하게 두층으로 형성되어 있으며, 반응층이 바뀔 때마다 Al 및 Ni의 양이 급격하게 감소 또는

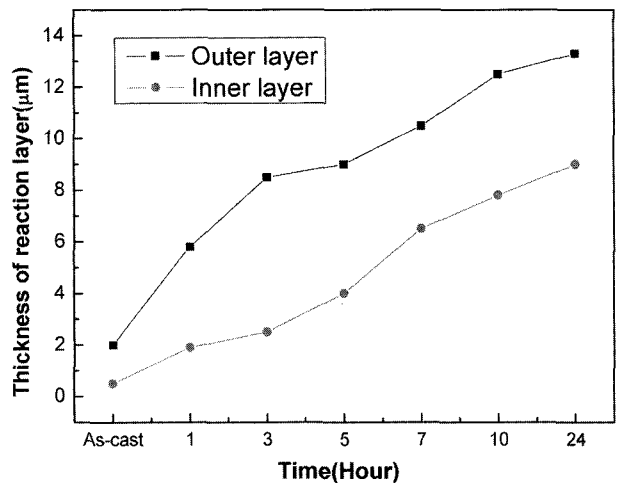


Fig. 5. Thickness of reaction layer of Ni/AC4C composite by heat treatment at various time.

증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 화합물상을 확인하기 위하여 X-ray 분석을 행하였으며 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. X-ray 분석 결과 계면반응에 의해서 형성된 화합물상은 Al_3Ni 와 Al_3Ni_2 상임을 확인할 수 있었다.

3.2.2 Ni-Cr/AC4C 복합재료

Ni-Cr/AC4C 복합재료는 주조 상태에서는 반응층이 형성되지 않았으나 열처리하면 Ni/AC4C 복합재와 유사하게 열처리 시간에 따라 반응층의 두께가 증가하였으며 3시간 정도가 증가하면 두 층으로 반응층이 분리되었다. Fig. 8은 Ni-Cr/AC4C 복

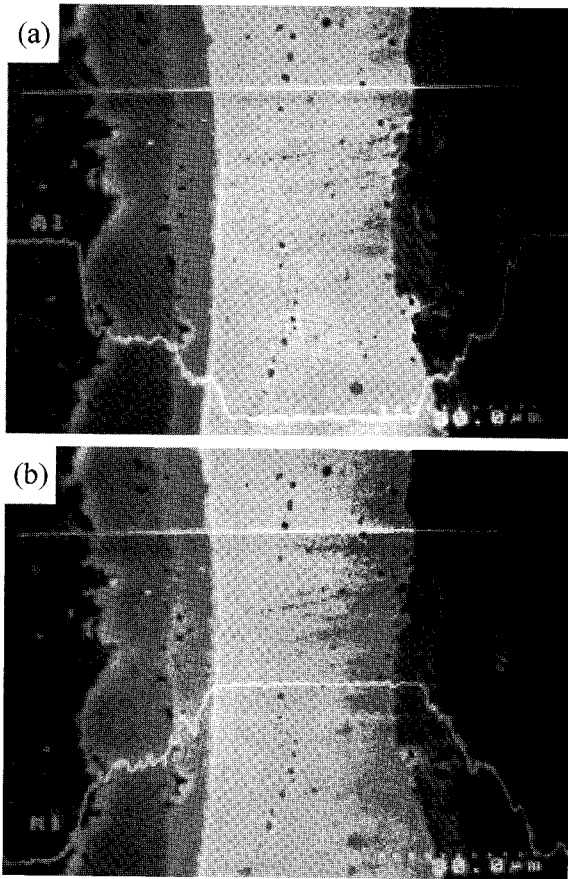


Fig. 6. EDX analysis result of Ni/AC4C composite heated for 7hours at 520°C. (a) Al (b) Ni

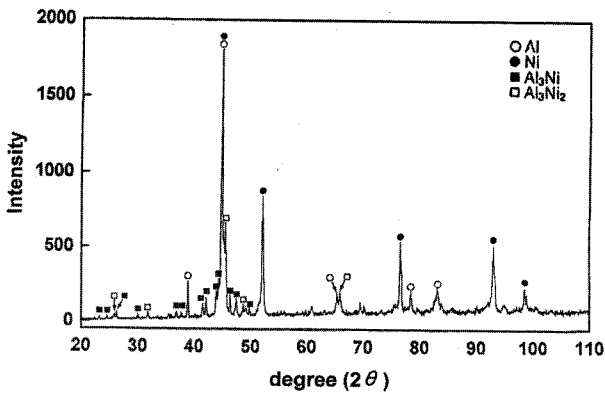


Fig. 7. X-ray intensity analysis of Ni/AC4C composite.

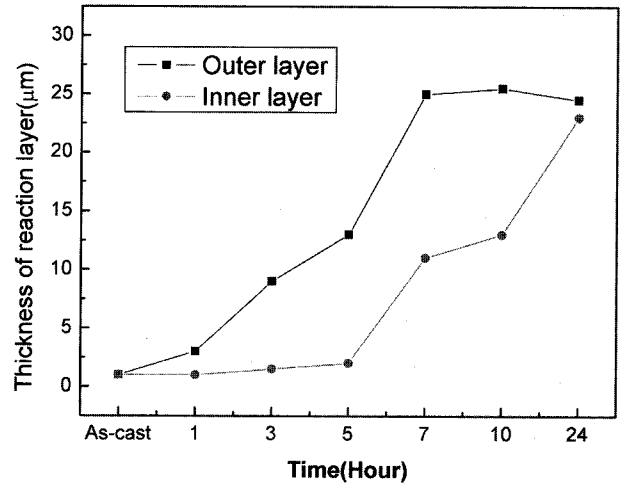


Fig. 8. Thickness if reaction layer of Ni-Cr/AC4C composite by heat treatment at various time.

합재료의 열처리 시간에 따른 계면반응층의 두께변화를 나타낸 것이다. Figure에서 보듯이 기지금속과 인접한 흰색 반응층은 7시간까지 급속히 성장하여 그 두께가 약 26 μm까지 성장하였지만 열처리 시간이 24시간으로 길어지면서 오히려 계면반응층의 두께가 다소 감소하였다. 반면 Ni-Cr 강화재와 인접해 있는 회색반응층은 Ni강화재를 사용했을 경우보다 생성속도가 다소 늦어졌고 5시간 이후부터 빠른 속도로 성장하여 24시간이 경과된 후에는 약 23 μm까지 성장하였다. 또한 Fig. 9는 Ni-Cr/AC4C 복합재료를 520°C에서 7시간 열처리한 후 EDX로 라인 분석한 결과이다. 반응층에 따라 Al의 양이 급속히 변화하였고 Ni과 Cr도 유사한 거동을 나타냄을 알 수 있었다.

3.3 복합재료의 기계적 특성

3.3.1 인장시험 및 파단면 관찰

Fig. 10은 기지금속 및 복합재료의 인장강도를 나타낸 것이다. Figure에서 보듯이 복합재료의 인장강도는 기지금속보다 낮았으며 T6열처리에 의해서 기지금속의 인장강도 값은 약 45% 정도 증가하였으며 복합재료의 경우는 그 증가폭이 감소하였다. 또한, Fig. 11은 기지금속 및 각각의 복합재료의 파단면을 나타낸 것이다. Figure에서 보듯이 기지금속에 비하여 발포금속의 강화 복합재료가 취성적 파괴가 이루어 졌음을 볼 수 있다. Fig. 12와 13은 Ni 및 Ni-Cr/AC4C 복합재료의 인장시험 후 균열 생성원을 관찰하기 위해서 파단면을 연마한

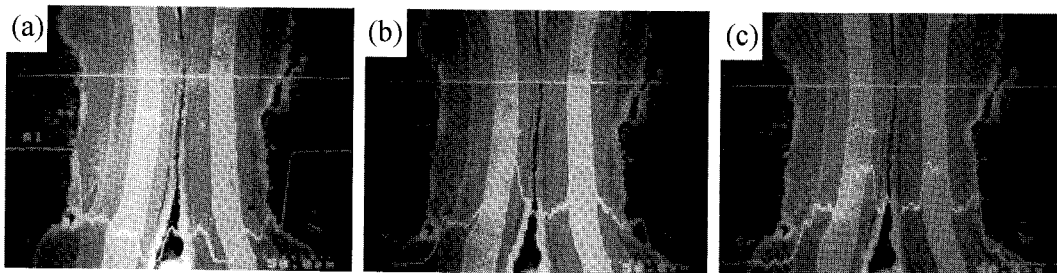


Fig. 9. EDX analysis of Ni-Cr/AC4C composite heated for 7 hours at 520°C. (a) Al (b) Ni (c) Cr

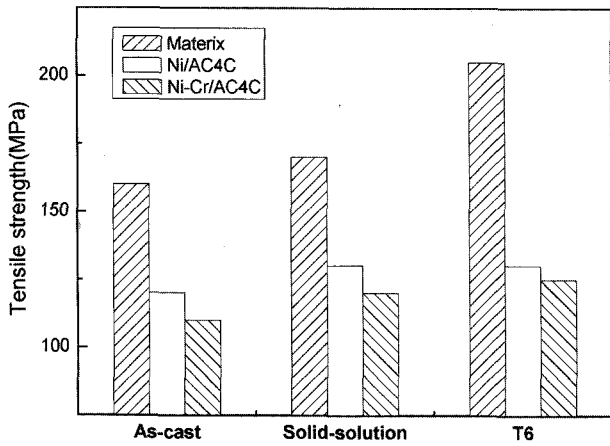


Fig. 10. Tensile strength of matrix(AC4C alloy) and composite.

후 그 조직을 관찰한 것이다. 두 경우 모두 강화재의 계면으로 균열이 진전되었음을 확인할 수 있었으며 파단된 강화상도 관찰되었지만 대부분의 강화재는 손상되지 않고 계면 부분의 일부가 박리된 상태로 남아 있었다. 즉 인장시 하중이 강화재에 전달되면서 강화재와 기지금속의 계면에서 동시다발적으로 균열이 생성되고, 생성된 균열은 인접한 균열과 연결되어 전반적인 파괴가 진행된 것으로 생각된다.

결과적으로 Ni 또는 Ni-Cr의 발포금속을 강화재로 사용하는 경우 강화재와 기지금속사이의 계면에 형성되는 금속간 화합물은 인장강도 향상에는 기여를 하지 못하는 취성을 가지고 있다고 볼 수 있다.

3.3.2 경도시험

Fig. 14는 브리넬 경도기로 측정된 기지금속 및 각 복합재료의 경도 값을 나타낸 것이다. 경도 측정은 각 시험편에 대해

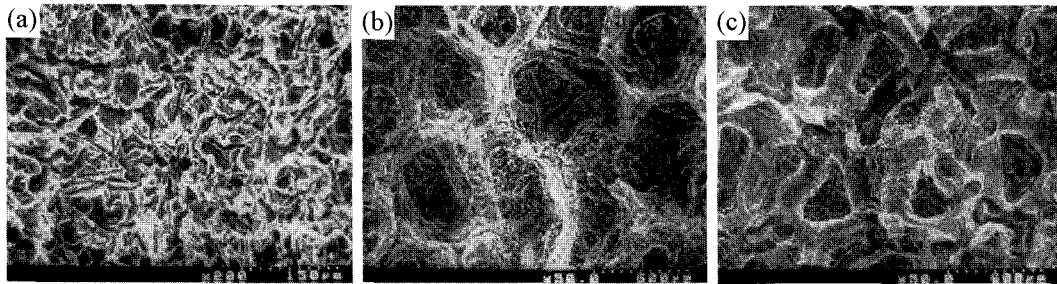


Fig. 11. SEM fractographies of matrix and composite. (a) Materix (b) Ni/AC4C (c) Ni-Cr/AC4C

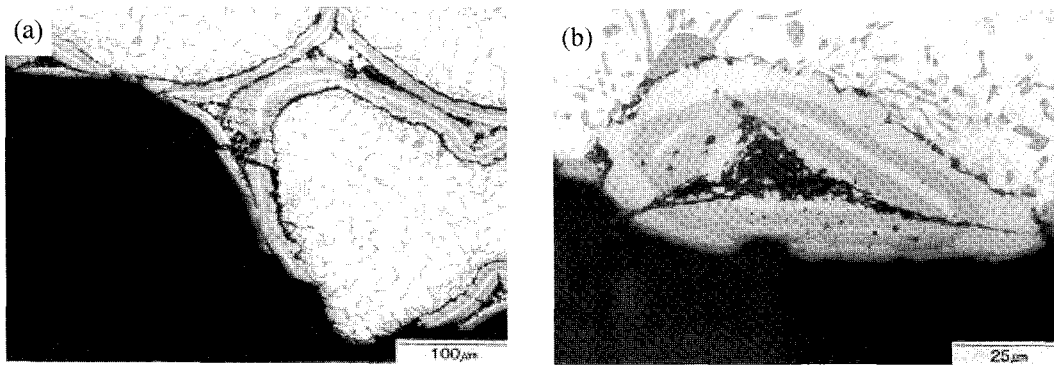


Fig. 12. Cross sectional view of fractured tensile specimens of Ni/AC4C composites. (a)×100 (b)×400

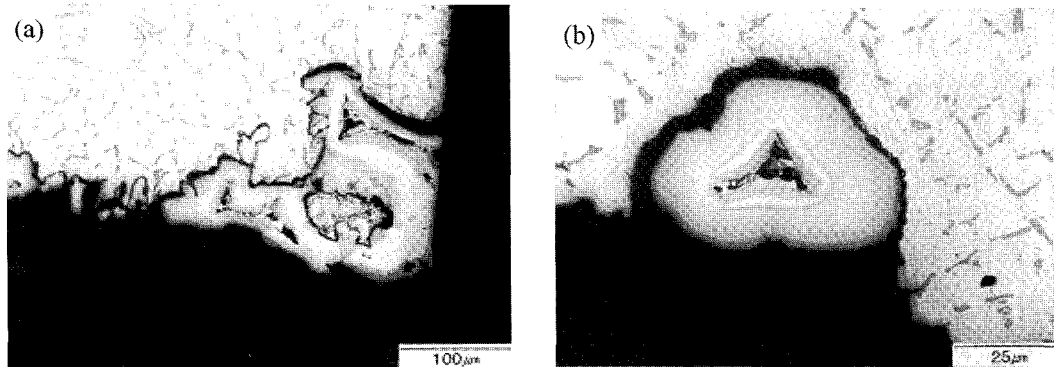


Fig. 13. Cross sectional view of fractured tensile specimens of Ni-Cr/AC4C composites. (a)×100 (b)×400

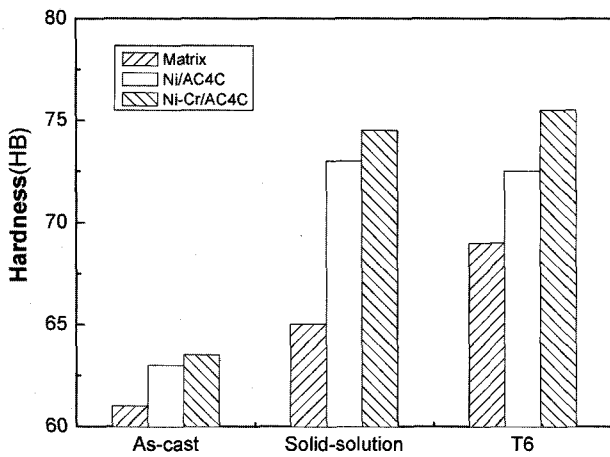


Fig. 14. Hardness of matrix(AC4C alloy) and composites by condition of heat treatment.

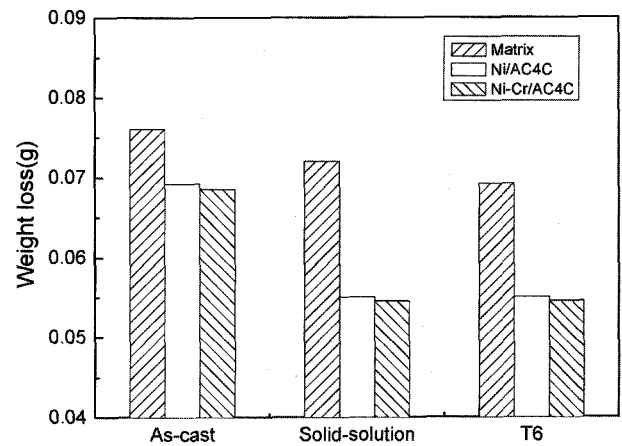


Fig. 16. The characteristics of wear of matrix(AC4C alloy) and composites at 2.3m/sec sliding velocity.

여 5회씩 측정하여 평균값을 취하였다. Figure에서 보듯이 Ni 및 Ni-Cr을 강화한 복합재료의 경우가 강화재를 첨가하지 않은 기지금속의 경도 값보다 높음을 알 수 있으며, 또한 열처리의 영향으로 Ni 및 Ni-Cr 강화 복합재의 경우 상대적으로 큰 폭으로 경도 값이 증가함을 알 수 있었다. 이는 앞의 조직사진(Fig. 6 및 9 참조)을 통해 알 수 있듯이 발포금속을 강화상으로 이용한 복합재료의 경우에는 열처리 시 강화상과 기지금속의 확산 반응에 의해 금속간 화합물이 형성되고 이로 인하여 기지금속에 비하여 열처리 시 큰 폭의 경도값 상승이 야기된 것으로 생각된다.

3.3.3 내마모시험

Fig. 15은 1.3 m/sec의 활주 구간에서 마모시험을 행한 결과를 나타낸 것이다. 기지금속의 경우 시효처리에 의해 마모 특성이 향상되었으며, Ni 및 Ni-Cr을 강화한 복합재의 마모특성은 기지금속에 첨가된 강화재의 내마모성의 영향으로 인해 크게 향상되었음을 알 수 있다. Ni에 비해 Ni-Cr을 강화한 복합재의 경우 보다 우수한 내마모 특성을 보였는데 이는 반응층형성이 Ni에 비해 Ni-Cr이 더 많이 이루어져 금속간 화합물의 부피 분율이 상대적으로 높았기 때문으로 생각된다. 또한 Fig.

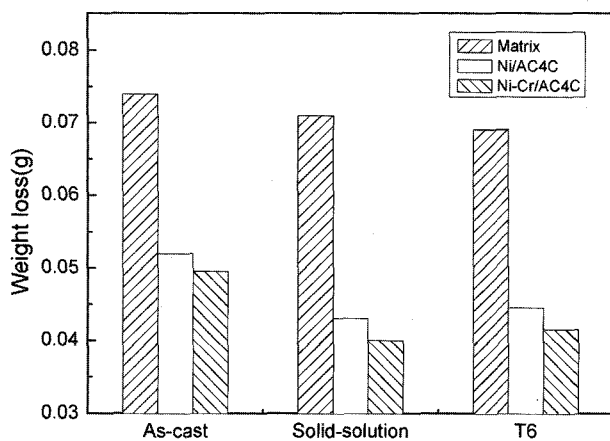


Fig. 15. The characteristics of wear of matrix(AC4C alloy) and composites at 1.3m/sec sliding velocity.

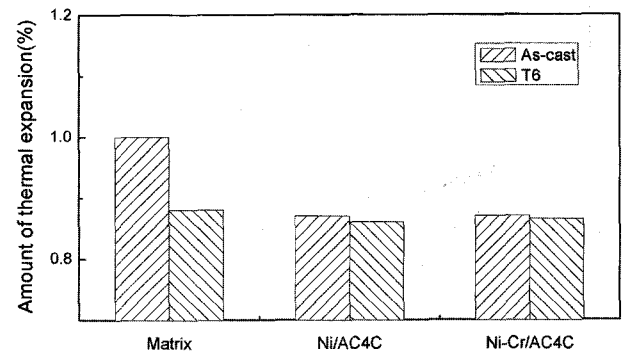


Fig. 17. Amount of thermal expansion of matrix(AC4C alloy) and composites.

16은 2.3m/sec의 활주구간에서 마모실험을 행한 결과이다. 전반적인 경향은 앞의 실험에서와 유사하였지만 전반적으로 마모량이 증가하였으며 Ni와 Ni-Cr발포금속을 강화한 복합재의 경우 열처리 전과 후의 차이가 다소 컸음을 알 수 있었다.

3.3.4 열팽창시험

열팽창시험은 Shimadzu thermal analysis(TA-501)을 이용하여 상온에서 400°C에서 50°C까지 동일 냉각속도로 냉각하며 실험을 행하였다. Fig. 17은 기지금속 및 각 복합재료에 대한 열팽창량을 나타낸 것이다. Figure에서 보듯이 기지금속에 비하여 복합재료가 열팽창량이 적었으며 이는 강화재로 들어간 Ni 및 Ni-Cr 강화재료가 상대적으로 기지금속에 비해 고온에서 열적으로 안정하기 때문이라고 생각된다.

4. 결 론

용탕단조법에 의한 Al-7wt.%Si-0.3wt.%Mg 합금기 Ni, Ni-Cr 다공질 발포금속강화 복합재료의 시험편을 제조 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Ni/AC4C 및 Ni-Cr/AC4C 복합재료의 경우 건전한 복합재를 얻기 위한 최적 주조조건은 용탕온도 750°C, 가압력 25MPa 이상이 필요함을 알 수 있었다.

2) Ni/AC4C 및 Ni-Cr/AC4C 복합재료의 열처리에 따른 계면반응층 관찰 결과 용체화처리 온도 520°C에서 열처리시간의 증가에 따라 거의 비례적으로 계면반응층은 증가하는 경향을 나타내었다. 이때 계면반응에 의해 형성되는 화합물 상은 Al_3Ni 와 Al_3Ni_2 상임을 확인할 수 있었다.

3) Ni/AC4C 및 Ni-Cr/AC4C 복합재료의 기계적 특성을 분석한 결과 인장강도는 기지금속보다 낮았으며, 이는 Ni 또는 Ni-Cr 강화재 계면에 형성되는 금속간 화합물은 인장강도에는 기여를 하지 못하는 취성을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 경도, 내마모, 열팽창 시험결과에서는 Ni 및 Ni-Cr 발포금속강화의 영향으로 기지금속보다는 매우 우수한 수준의 물성을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] I. M. Park, K. S. Shin and E. P. Yoon : J. of KFS, "Casting Technology in Metal-base Composite", **8** (1988) 412-417.
- [2] K. K. Kwon, C. P. Hong and K. W. Lee : J. of KFS, "Microstructures and Mechanical Properties of Al-Ni Eutectic Composite by Upward Continuous Casting", **10** (1990) 50-56.
- [3] H. J. Lee and C. P. Hong : J. of KFS, "Microstructure and Characteristics of SiCp/Al-4.5wt%Cu-1wt%Mg Composites by Pressurized Continuous Compo-Casting", **11** (1991) 71-78.
- [4] H. J. Lee, H. M. Kwak and C. P. Hong : J. of KFS, "Fabrication and Wear Characteristics of SiCp/Al Alloy Matrix Composite Materials by Rheo-compo-casting Process", **11** (1991) 126-134.
- [5] S. W. Kim, J. S. Park and K. Ogi : J. of KFS, "Wear Characteristics of Al / SiCp Composites", **22** (2002) 176-184
- [6] S. W. Kim, W. K. Kim, K. D. Woo and H. K. Ahn : J. of KFS, "Heat and Wear Resistance Characterization of SiCp Reinforced Al Matrix Composites", **20** (2000) 377-385.
- [7] I. M. Park, K. S. Shin and M. H. Rhee : J. of KFS, "Development of Metal Matrix Composites by Squeeze Casting Technique", **17** (1997) 426-437.
- [8] I. D. Yeo and C. H. Lee : J. of KFS, "Influence of Binder and Applied Pressure on Tensile Strength of AC4C/Al₂O₃ Composites Made by Squeeze Casting Process", **15** (1995) 138-145.