

■■■■■■■■■■
論 文
 ■■■■■■■■■■

Al/흑연 압출재를 이용한 Al-Si/흑연 복합재료 제조와 감쇠능

박헌범[†] · 권혁무

Manufacturing and Damping Properties of Al-Si/Gr. Composite using extruded Al/Gr. Composite

Hun-Berm Park[†] and Hyuk-Moo Kwon

Abstract

Al/15%Gr. composite have been manufactured by mixing, compacting, and extruding aluminium powder and graphite powder. Then, Al-6%Si/x%Gr., Al-12%Si/x%Gr., and Al-18%Si/x%Gr.(x : 0, 2, 4, 6, 8) composites have been manufactured by remelting the extruded materials(Al/15%Gr.), Al-33.3%Si alloy, and Al ingot, etc. We conducted experiments to chracterize the microstructure, and damping properties and hardness. The result of microstructure experiment on Al-x%Si/y%Gr. composites reveals the good dispersion of graphite. As to Al-Si/y%Gr. composites, the more the graphite contents, the less the tensile strength. And the tensile strength varied according to contents of Si: with its highest value in Al-18%Si/y%Gr. composites and lowest in Al-6%Si/y%Gr. composites. As to Al-x%Si/y%Gr. composites, the more the contents of graphite, the more the vibration damping properties. And we can get the highest vibration damping rate in Al-12%Si/y%Gr. composites which matrix structure is an eutectic component.

(Received December 14, 2000)

Key words : Damping, Al-Si alloy/Gr. Composites, Damping Coefficient, P/M

1. 서 론

Al-Si합금은 공정형 합금으로 유동성이 좋고 열팽창율이 낮아 내연기관용 피스톤 등에 활용되고 있는 주조용 합금으로 근래에 재료의 경량화와 더불어 Al-Si 합금에 각종 비금속입자를 강화시키는 연구가 많이 있어왔다[1-14].

Al합금 기지에 SiC, Al₂O₃, TiC, 흑연 등의 입자 또는 섬유로 강화한 MMCs는 기지합금에 비하여 진동감쇠능이 향상된 결과를 얻었으며, 이중에 비금속 강화재중 흑연입자를 분산강화시킨 복합재료는 진동감쇠능이 가장 현저하게 증가하는 것으로 알려져 있다[4-7].

알루미늄과 흑연은 상호 반응성이 거의 없고[15], 젖음성이 좋지 않아 복합재료 제조에 큰 어려움으로 작용하였다[16]. 이러한 문제를 해결하기 위해 흑연입자

에 구리나 니켈을 코팅하여 Al합금용탕에 분산시키는 Vortex법[17-20], Li, Mg 등의 계면활성 원소를 첨가한 용탕에 비금속입자를 분산시키는 방법[8-10], Al합금 용탕의 온도를 고액공존구간으로 유지하고 교반시키며 흑연입자를 강제로 첨가하는 방법[21-23] 등이 시도되어 왔다. 그러나 이 방법으로 흑연을 균질하게 분산시키는 흑연첨가량에 한계가 있으며 용탕량의 3% 이상 첨가하면 흑연입자가 clustering되는 현상이 커 기계적 성질을 저하시키는 결과를 초래한다고 보고하였다[4-7].

본 연구에서는 Al분말과 흑연을 혼합, 성형 및 압출하여 Al/15%Gr.모재료를 제작하고, 이 모재료를 Al-33.3%Si모합금, Al 잉고트 등과 배합하고, 재용해 하여 Al-6%Si/x%Gr.(x : 0, 2, 4, 6, 8), Al-12%Si/x%Gr.(x : 0, 2, 4, 6, 8) 및 Al-18%Si/x%Gr.(x : 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료를 제조하여 조직실험, 경도실험 및 진동특성

충남대학교 재료공학부(Div. of Material Eng., Chungnam National University)

[†]E-mail : Gallbig@hanmail.net

을 조사하여 이 복합재료를 공업적으로 활용하는데 필요한 소재를 얻고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 Al-15%Gr. 제조

1) 흑연의 수분 제거

흑연분말(20 μm, 순도 99.9%)을 400°C에서 2시간 예열하여 수분 및 휘발성분을 제거하였다.

2) 알루미늄 분말과 흑연 분말의 혼합

알루미늄과 흑연분말을 칭량하여 흑연의 함유량이 15 wt%가 되도록 하였다. 칭량한 분말을 통에 넣고 혼합기(100 rpm)를 이용하여 1시간 혼합하였다.

3) 혼합체의 성형

알루미늄과 흑연분말을 혼합 후 유압 프레스에 넣어 상온에서 압분으로 성형 하였다. 사용한 금형은 내경 75 mmφ이었고, 가한 압력은 22.64 kg/mm²이었다.

4) 압분체의 탈가스 처리

복합화한 압분체를 탈가스로에 장입하고 400°C에서 2시간 유지한 후 상온으로 온도를 내렸다. 이때 전 과정을 진공펌프로 가동하여 내부 압력이 10⁻² torr가 되도록 하였다.

5) 압출 실험

탈가스처리한 압분을 400°C에서 1시간 예열처리한 후 압출기에 장입하고 압출을 하였다. 이때 압출재는 외경 15 mm로 압출비는 25이었고 가한 압력은 283 kg/mm² 이었다.

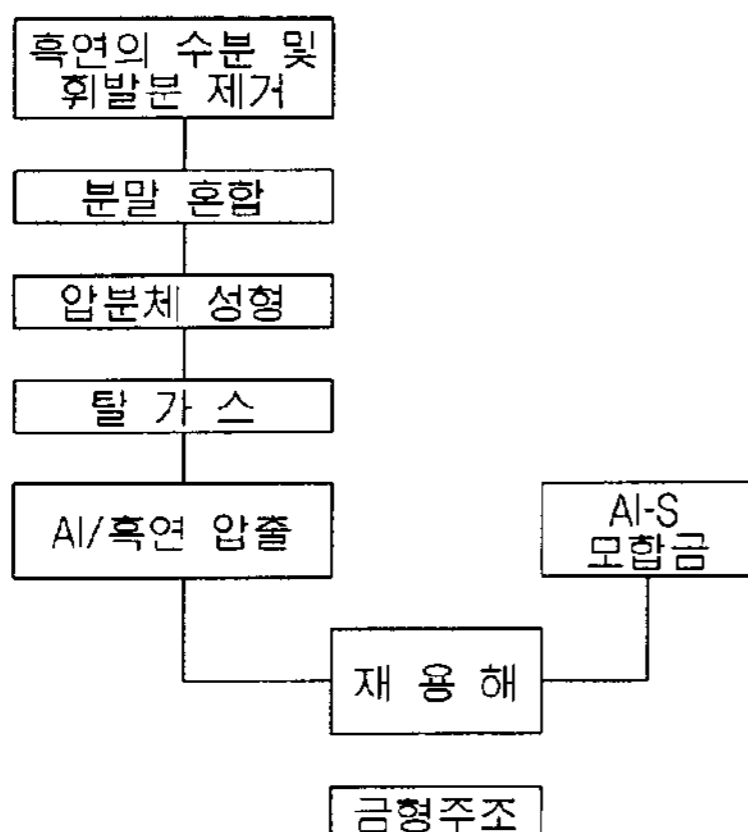


Fig. 1. Flow chart of specimen manufacture process.

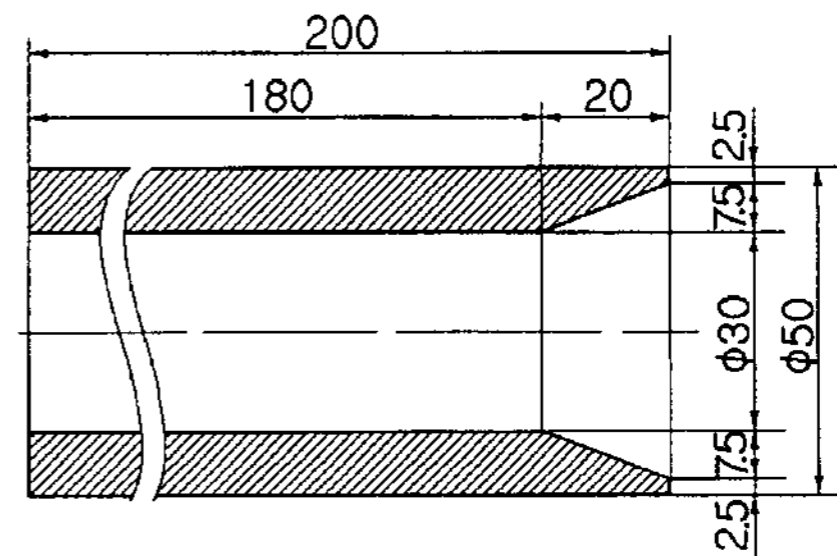


Fig. 2. Dimension and shape of mould.

2.2 Al-Si합금/x%Gr. 제조

Al-33.3%Si 모합금과 Al 잉고트, Al-15%Gr.을 칭량하고, Al-6%Si, Al-12%Si, Al-18%Si 합금을 전기저항로에서 용해(용융온도 150 ± 20°C)하고 Al-15%Gr.을 첨가하여 흑연의 함유량이 0, 2, 4, 6, 8%가 되도록 한다. 용탕을 내경 30 mmφ × 200 mm인 금형에 주입하여 Al-x%Si/y%Gr.(x = 6, 12, 18, y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료를 제조하였다.

그림 1은 시편제작 과정을 보여준 것이다.

전기저항로내에 3번 흑연도가니를 이용하여 칭량한 시편을 한꺼번에 넣어 장입한다. 이때 용탕량은 400g이었다. 용탕의 과열을 방지하기 위해서 열전대를 용탕에 삽입하였고, 용해로의 전원은 슬라이닥스에 연결하였다. 시료는 그림 2와 같은 금형에 주입하였다.

2.3 조직 관찰

제조한 시편을 바닷면으로 부터 15 mm지점을 절단 가공한 후 연마 및 정마하고 5%NaOH 용액으로 에칭하여 금속현미경으로 검정 및 촬영 하였다.

2.4 경도 측정

파단된 시편의 한쪽을 절단 및 연마하고 로크웰경도계(Matsuzawa RMT-3)를 사용하여 경도실험을 하였다. 이때 가한 하중은 15 kgf이었고 압자는 1/6"강구를 사용하였으며, 5회 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 산술평균값을 경도값으로 하였다.

2.5 진동특성 실험

시편의 진동감쇠능 측정은 FFT 방식의 RFDA(ONO SOKKI- CF820)로 공진주파수와 진동감쇠능을 측정하였다. 그림 3은 시편의 형상과 치수로 직경이 200 mm, 길이 150 ± 10 mm이다. 이때 시험조건은 상온이었고,

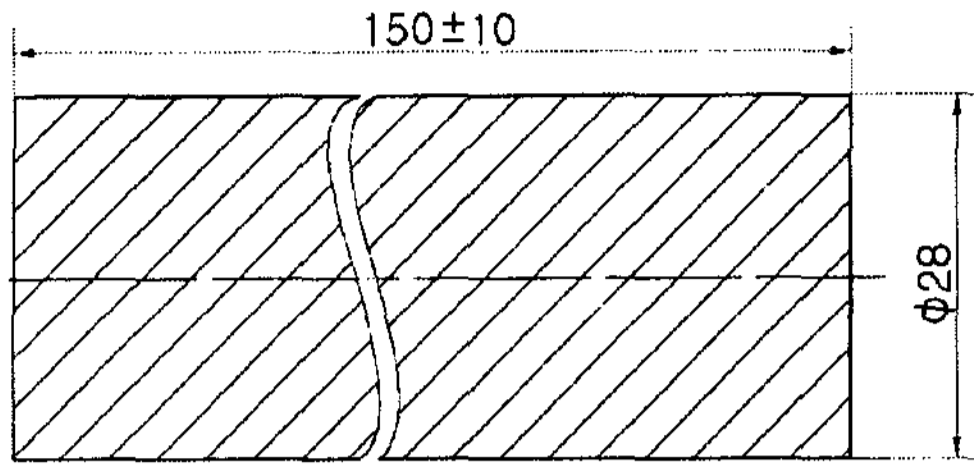


Fig. 3. Dimension and shape of damping specimen.

시편을 얇은 줄에 매달아 자유진동 할수 있도록 하여 시편의 한쪽 끝에는 가속센서를 부착하고 다른쪽에서 Impact hammer로 가격하여 진동감쇠율을 측정하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위하여 4회 실험한 값을 평균으로 산출하였으며, 흑연의 함유량과 진동감쇠율을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직

사진 1은 Al/15%Gr.복합재료의 조직사진이다. 흑연 입자는 큰 것이 20 μm이고, 평균적으로 다각형의 5 μm 내외의 흑연입자가 분포한 것을 알 수 있다.

사진 2는 Al-6%Si/x%Gr.(x = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 조직사진이다. 사진의 (A)는 흑연이 첨가되지 않은 Al-6%Si합금으로 조대한 초정 α상과 공정이 보이고 있다. (B)는 Al-6%Si/ 2%Gr. 복합재료로써 8 μm 이내의 흑연이 분산되었고, (C)는 Al-6%Si/4%Gr., (D)는 Al-6%Si/6%Gr., (E)는 Al-6%Si/8%Gr. 복합재료이다.

흑연의 첨가량이 클수록 흑연량이 많아짐을 알 수

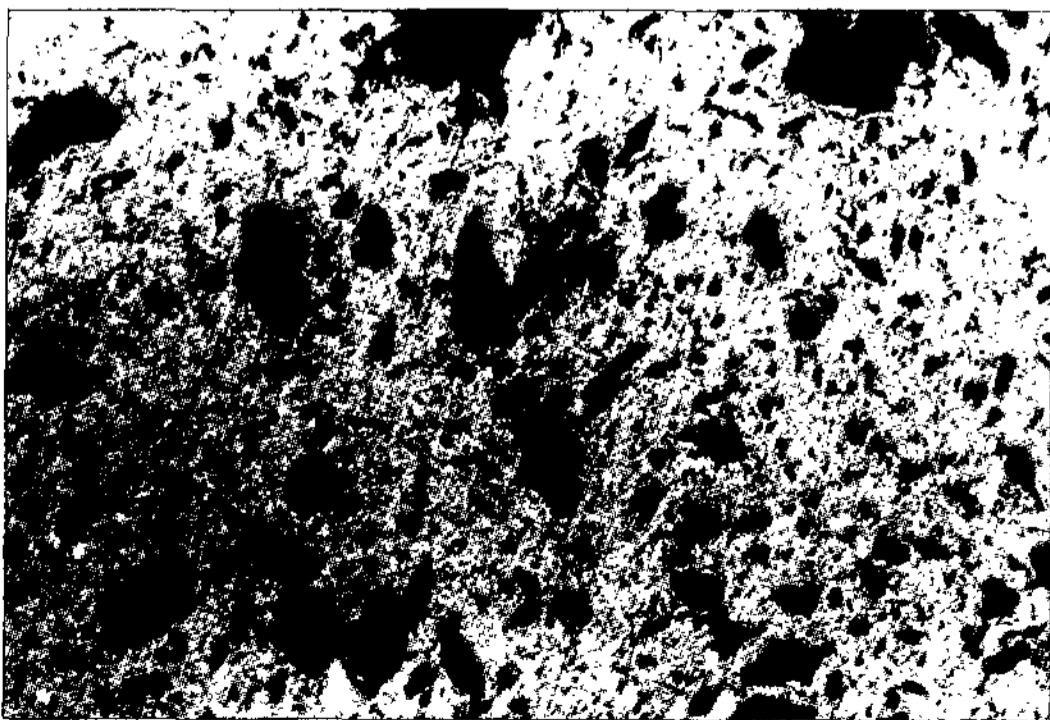


Photo 1. Microstructure of Al/15%Gr. compact composites. (×200.5%NaOH etched).

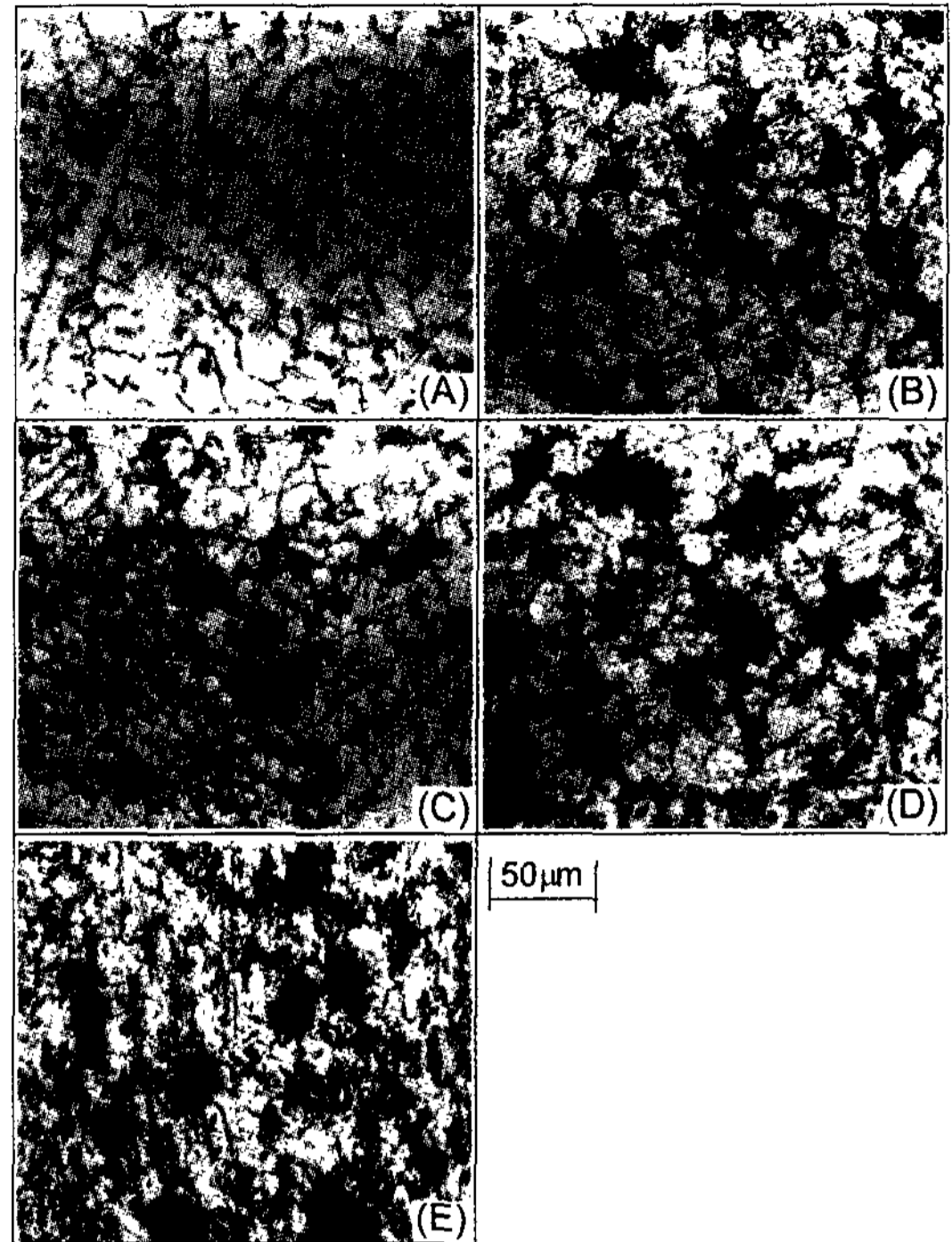


Photo 2. Microstructure of Al-6%Si. Alloy and Al-6%Si/x%Gr. composites. (A) Al-6%Si Alloy, (B) Al-6%Si/2%Gr., (C) Al-6%Si/4%Gr. composites (D) Al-6%Si/6%Gr. composites, (E) Al-6%Si/8%Gr. composites.

있고, 흑연입자의 크기도 다소 조대해 졌음을 알 수 있다. 흑연의 첨가량이 커질수록 용탕상태에 함유된 흑연상들이 응고시에 불균일핵생성 요인으로 작용하여 보다 많은 응고상들이 생성되고 성장하여서 미세화가 촉진되어 기지조직의 초정 α상도 미세화 되었다.

사진 3은 Al-12%Si/x%Gr.(x = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 조직사진이다. 사진의 (A)는 흑연이 첨가되지 않은 Al-12%Si합금으로 조대한 공정조직이 보이고 있다. (B)는 Al-12%Si/2%Gr., (C)는 Al-12%Si/ 4%Gr., (D)는 Al-12%Si/ 6%Gr., (E)는 Al-12%Si/8%Gr. 복합재료이다. 흑연의 첨가량이 클수록 흑연량이 많아짐을 알 수 있고, 흑연입자의 크기도 다소 조대해 졌음을 알 수 있다. 흑연의 첨가량이 커질수록 기지의 공정조직도 미세화 되었다.

사진 4는 Al-18%Si/x%Gr.(x = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 조직사진이다. 사진의 (A)는 흑연이 첨가되지 않은 Al-18%Si합금으로 조대한 초정 Si가 보이고 있다. (B)는 Al-18%Si/2%Gr., (C)는 Al-18%Si/4%Gr., (D)는 Al-18%Si/6%Gr., (E)는 Al-18%Si/8%Gr. 복합재료이

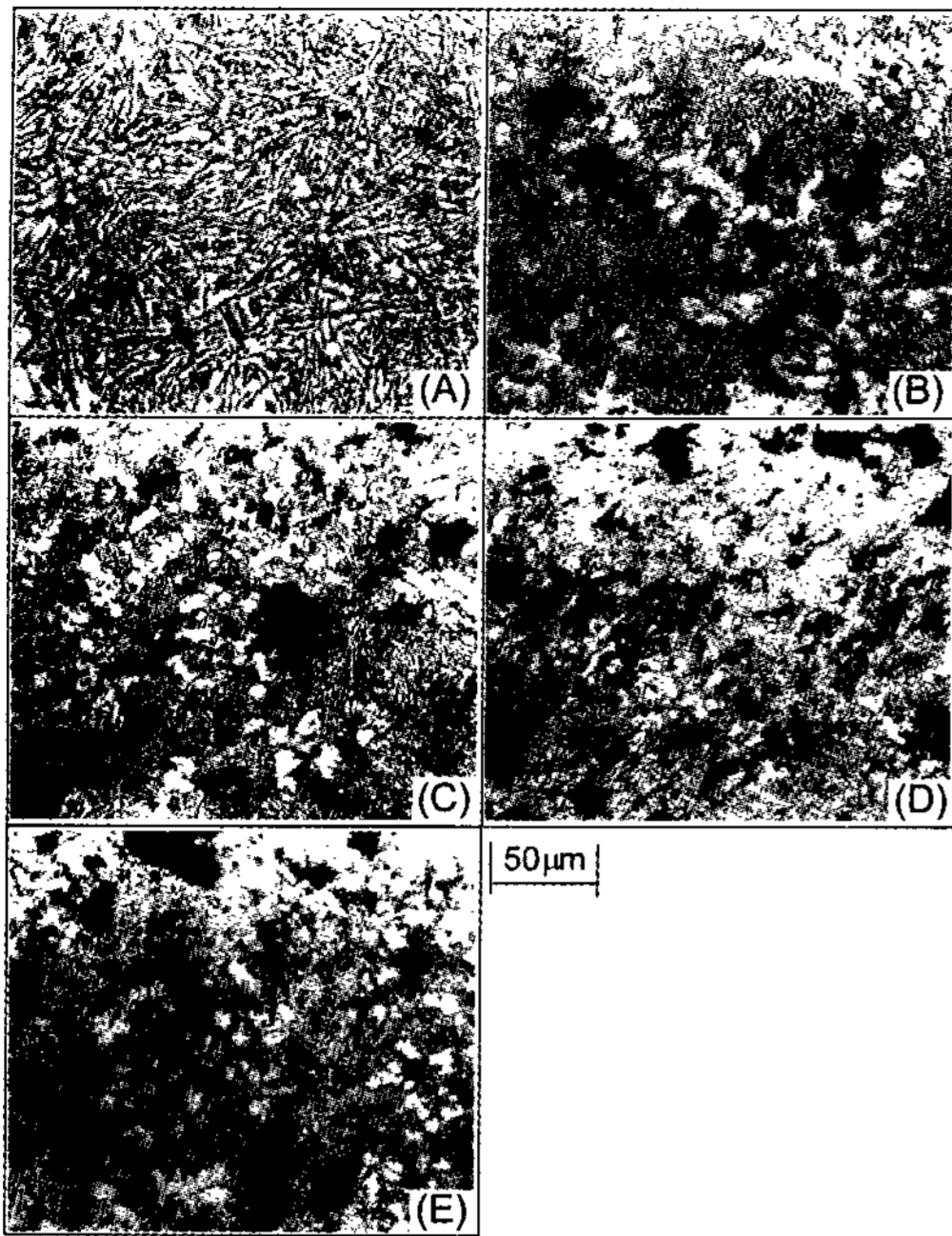


Photo 3. Microstructure of Al-12%Si. Alloy and Al-12%Si/x% Gr. composites. (A) Al-12%Si Alloy, (B) Al-12%Si/2% Gr, (C) Al-12%Si/4%Gr. composites (D) Al-12%Si/6% Gr. composites, (E) Al-12%Si/8%Gr. composites.

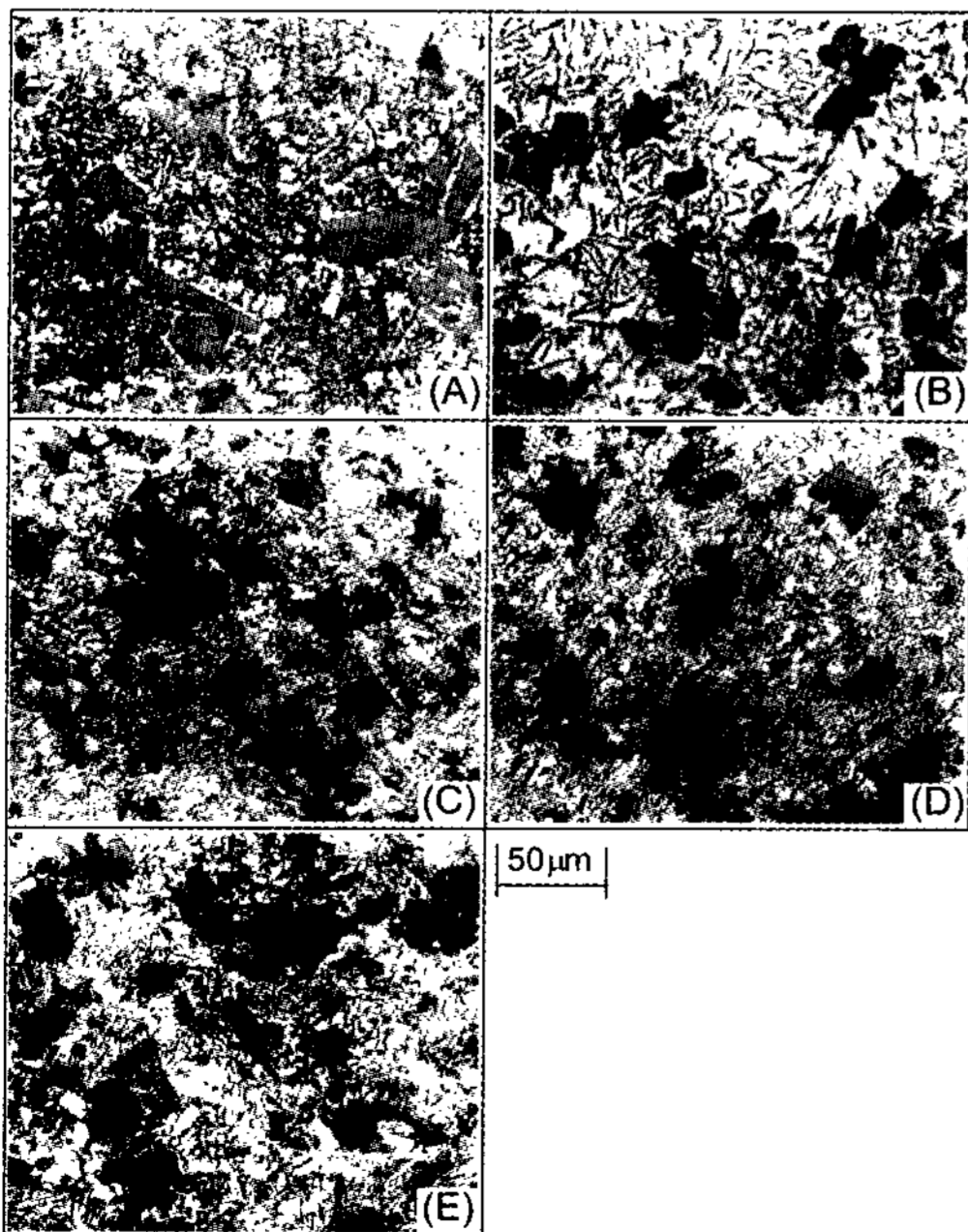


Photo 4. Microstructure of Al-6%Si. Alloy and Al-18%Si/x%Gr. composites. (A) Al-6%Si Alloy, (B) Al-18%Si/2% Gr, (C) Al-18%Si/4%Gr. composites (D) Al-18%Si/6% Gr. composites, (E) Al-18%Si/8%Gr. composites.

다. 흑연의 첨가량이 클수록 흑연량이 많아짐을 알 수 있고, 흑연입자의 크기도 다소 조대해 졌음을 알 수 있다. 흑연의 첨가량이 커질수록 기지의 초정 Si도 미세화 되었다.

3.2 경도

그림 4는 Al-x%Si/y%Gr.(x = 6, 12, 18, y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 흑연함유량에 의한 경도의 변화를 나타낸 것이다. 흑연의 함유량이 많아질수록 급격히 경도가 감소하고, Si의 함유량이 클수록 경도는 증가한다.

Al-6%Si/y%Gr.(y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료에서 흑연을 함유하지 않은 Al-6%Si합금의 경도는 56.2이고, Al-6%Si/8%Gr. 복합재료의 경도는 37로 기지가 Al-6%Si인 합금에 흑연을 8%까지 첨가하면 경도는 약 34% 감소한다.

Al-12%Si/y%Gr. 복합재료에서 흑연을 함유하지 않은 Al-12%Si합금의 경도는 63.4이고, Al-12%Si/8%Gr. 복합재료의 경도는 40로 기지가 Al-12%Si인 합금에 흑연을 8%까지 첨가하면 경도는 약 37% 감소한다.

Al-18%Si/y%Gr. 복합재료에서 흑연을 함유하지 않은 Al-18%Si합금의 경도는 70.8이고, Al-18%Si/8%Gr. 복합재료의 경도는 45로 기지가 Al-18%Si인 합금에 흑연을 8%까지 첨가하면 경도는 약 36% 감소한다.

이상을 정리하면 Al-x%Si/y%Gr. 복합재료에서 흑연을 8%까지 함유하면 경도는 약 35.7% 감소한다. 이것은 흑연이 약한 결합(van der wals)을 하여 강도가 매우 낮으며, 이러한 흑연의 함유량이 많아질수록 복합재료의 경도를 저하시키는 것으로 사료된다.

그림 5는 Al-x%Si/y%Gr.(x = 6, 12, 18, y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 Si함유량에 의한 경도의 변화를 나타낸 것이다. Si 함유량이 많아질수록 경도는 직선적으로 증가하였다. 흑연을 함유하지 않은 Al-6%Si 합금의 경도는 56.2이고, Al-18%Si합금의 경도는 70.8로 Si 함유량이 6%에서 18%로 많아지면 경도는 약 26% 증가한다. 흑연을 8% 함유한 Al-6%Si/8%Gr. 복합재료의 경도는 37이고, Al-18%Si/8%Gr. 복합재료의 경도는 45로 Si 함유량이 6%에서 18%로 많아지면 경도는 약 22% 증가한다.

이와 같이 Si 함유량이 많을수록 경도가 향상되는 것은 α상 보다는 공정조직이, 공정조직 보다는 초정 Si이 높은 경도를 갖고 있어 기지조직의 경도 향상에 의한 결과라고 사료된다.

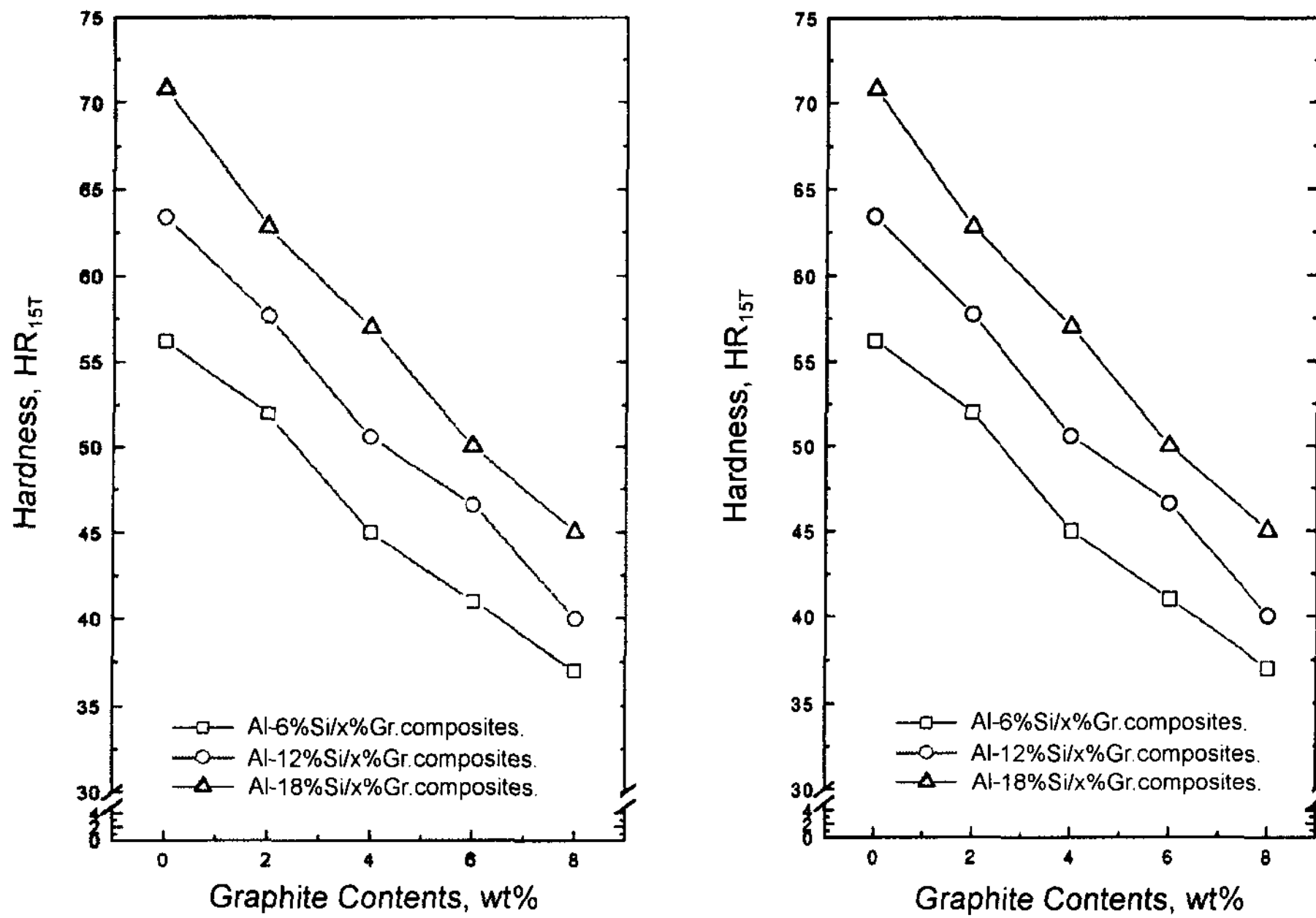


Fig. 4. Relation between graphite contents and rockwell hardness of Al-x%Si/y%Gr. composites.

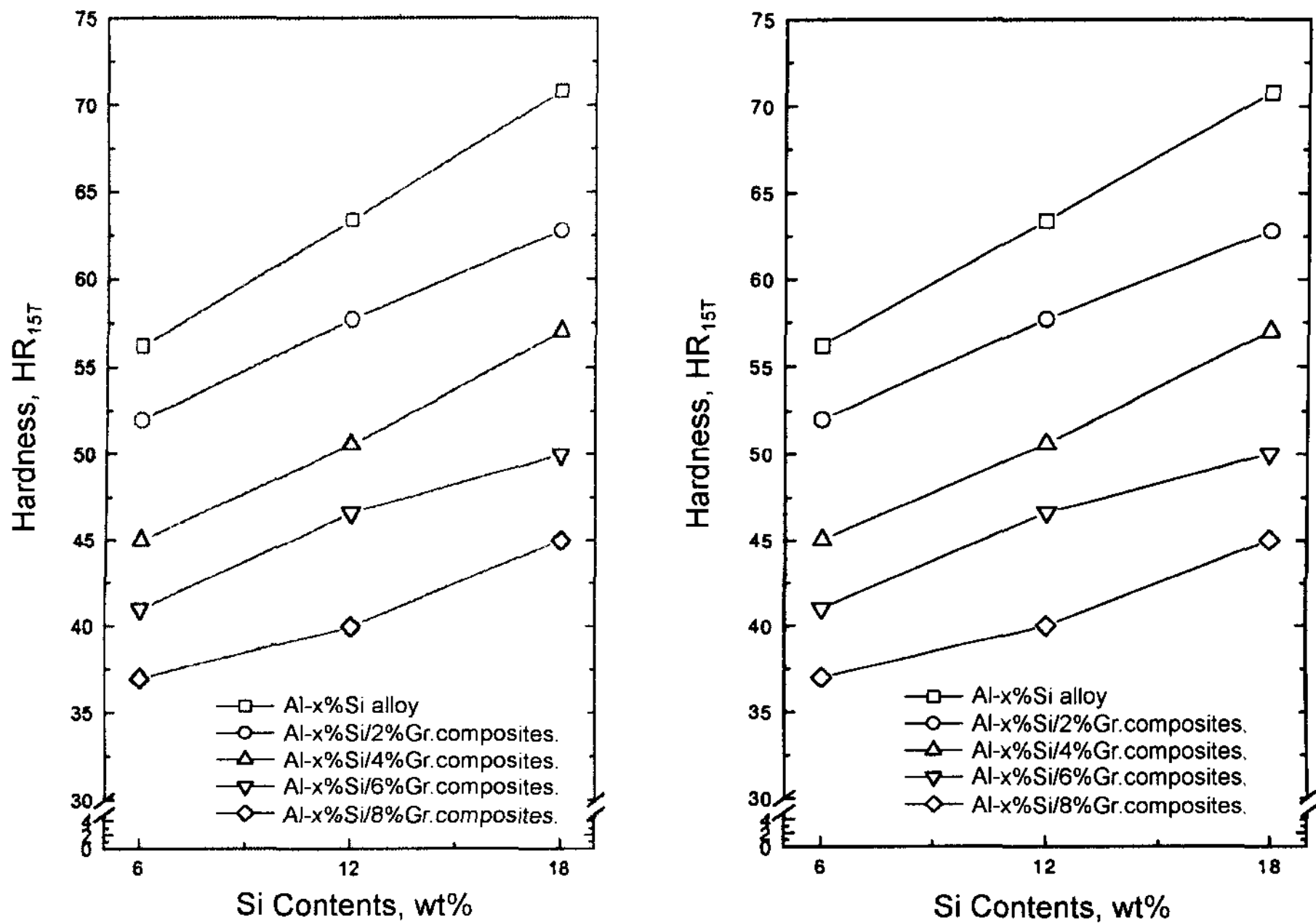


Fig. 5. Relation between Si contents and rockwell hardness of Al-x%Si/y%Gr. composites.

3.3 진동감쇠능

그림 6은 Al-x%Si/y%Gr.(x = 6, 12, 18, y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 흑연함유량에 의한 진동감쇠율의 변

화를 나타낸 것이다. 흑연의 함유량이 많아질수록 진동감쇠율은 증가하였다.

Al-6%Si/y%Gr.(y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 경우 Al-

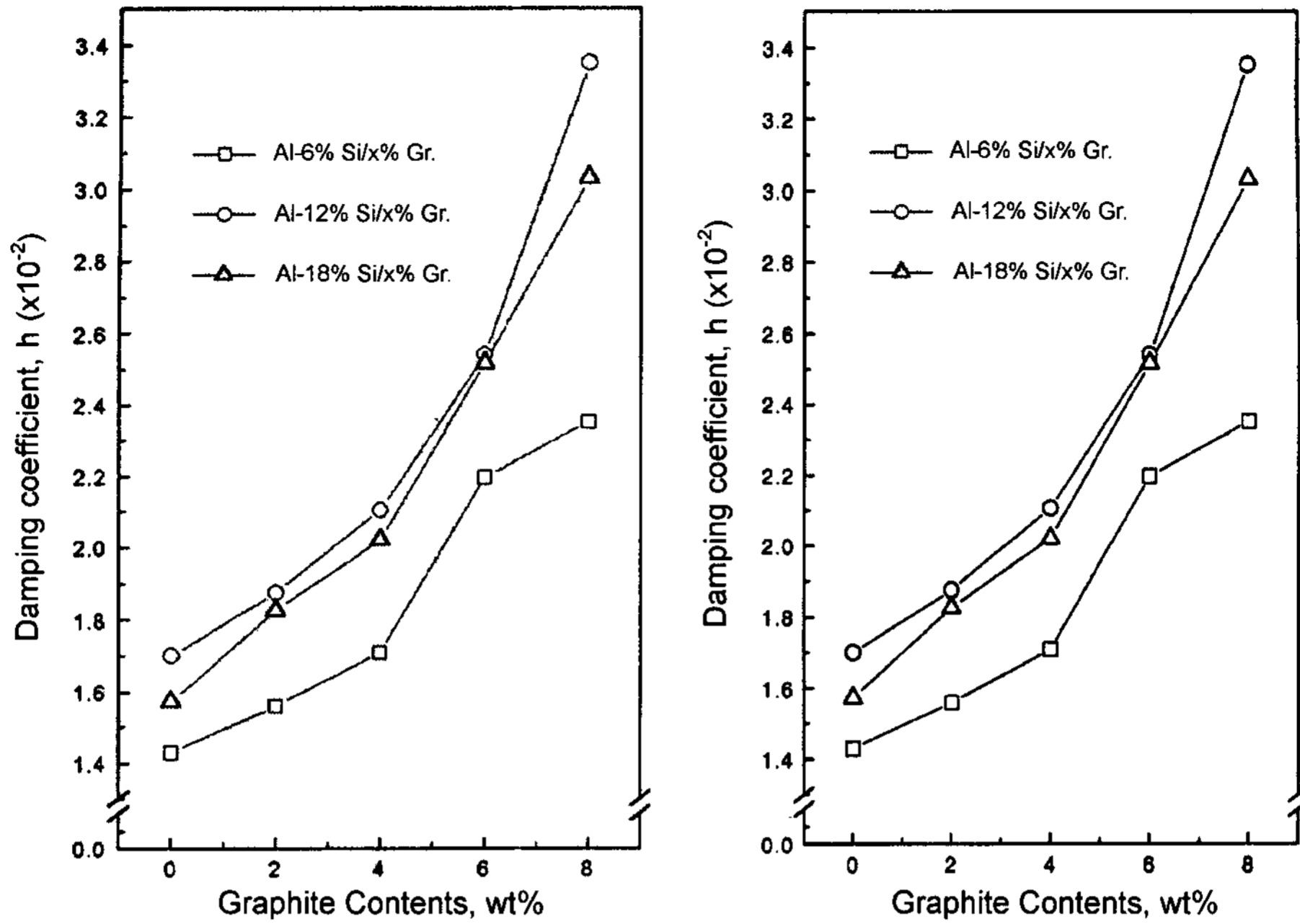


Fig. 6. Relation between graphite contents and vibration damping coefficient of Al-x%Si/y%Gr. composites by RFDA.

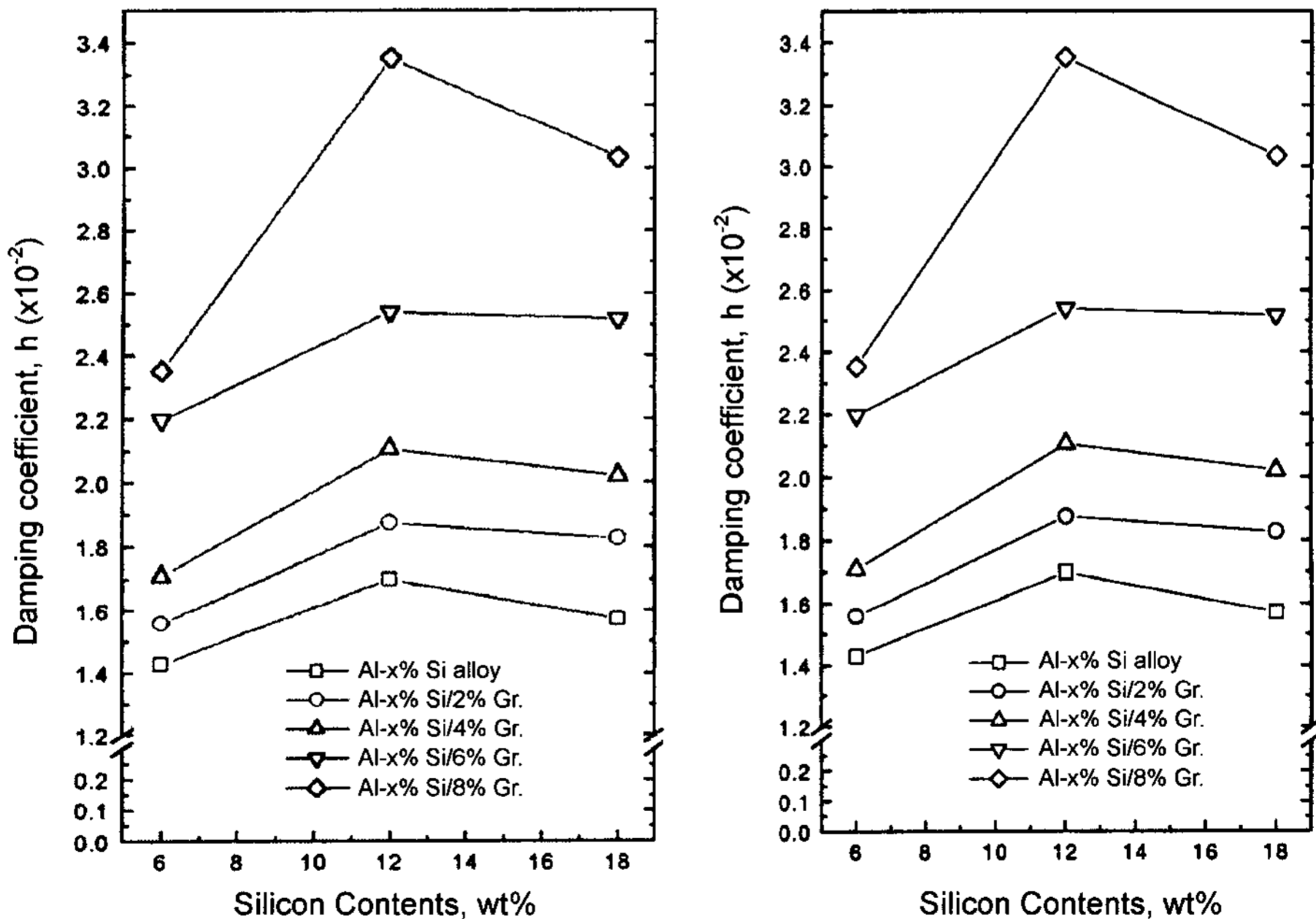


Fig. 7. Relation between Si contents and vibration damping coefficient of Al-x%Si/ y%Gr. composites by RFDA.

6%Si 합금의 진동감쇠율은 1.43×10^{-2} 이었고, Al-6%Si/8%Gr. 복합재료의 진동감쇠율은 2.35×10^{-2} 로 흑연 함량이 8% 증가함에 따라 진동감쇠능이 약 64% 향상

되었다.

Al-12%Si/y%Gr.(y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 경우 Al-12%Si 합금의 진동감쇠율은 1.71×10^{-2} 이었고, Al-

12%Si/8%Gr. 복합재료의 진동감쇠율은 3.35×10^{-2} 로 흑연 함유량이 8%까지 증가함에 따라 진동감쇠능이 약 96%향상되었다.

Al-18%Si/y%Gr.(y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 경우 Al-18%Si 합금의 진동감쇠율은 1.58×10^{-2} 이었고, Al-12%Si/8%Gr. 복합재료의 진동감쇠율은 3.03×10^{-2} 로 흑연 함유량이 8% 까지 증가함에 따라 진동감쇠능이 약 92% 향상되었다. 상기의 결과로부터 진동감쇠율(η)은 흑연 첨가량과의 관계식을 다음과 같이 도출하여 요약할 수 있다. 즉, 기조직이 Al-6%Si 합금의 진동감쇠율 $\eta_{6\%Si}$ 는

$$\eta_{6\%Si} = (1.43 \times 0.12 \times \%Gr.) \times 10^{-2} \quad (1)$$

이고, 기조직이 Al-12%Si 합금의 진동감쇠율 $\eta_{12\%Si}$ 는

$$\eta_{12\%Si} = (1.71 \times 0.14 \times \%Gr.) \times 10^{-2} \quad (2)$$

이고, 기조직이 Al-18%Si 합금의 진동감쇠율 $\eta_{18\%Si}$ 는

$$\eta_{18\%Si} = (1.58 \times 0.14 \times \%Gr.) \times 10^{-2} \quad (3)$$

이다.

그림 7은 Al-x%Si/y%Gr.(x = 6, 12, 18, y = 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료의 Si 함유량에 따른 진동감쇠율의 변화를 나타낸 것이다. Si의 함유량이 12%인 복합재료가 가장 큰 진동감쇠율을 나타내었다.

이것은 아공정 Al-Si합금에서의 α 상과 과공정 Al-Si 합금에서의 초정 Si보다 공정조직이 Al과 Si상 사이의 단위체적당 존재하는 계면면적이 커짐에 의해서 감쇠 효과가 크다. 이것은 동일 재료에서 열처리 및 냉각 방법에 의해서 조직을 미세화시키거나 미세한 석출상을 정출시키므로 인하여 계면의 면적이 커져 진동감쇠능이 증가된다는 것과 같다. 각 조직에서 흑연량이 많을수록 아공정 Al-Si합금에서는 α 상이 미세화 되었고, 과공정 Al-Si합금에서의 초정 Si가 미세화 되었음을 조직실험에서 알 수 있었다. 이 효과로 인하여 흑연의 량, 기조직의 형상에 의하여 진동감쇠율이 달라짐을 알 수 있다.

Nashif et al[24]은 복합재료의 진동감쇠효과는 이중

상간의 계면에서 응력완화, 결정격자의 결합 등에 의한 것으로 보고한 바 있으며, B. Benckechou et al 등[25]은 합금의 열처리 등에 의하여 기조직 변화가 진동감쇠능에 큰 영향을 준다고 보고한 바 있으며 본 연구에서 Al-Si합금에서는 공정조직이 가장 큰 진동감쇠율을 나타내고 흑연 첨가량이 기조직을 미세화 시키는 역할을 하여 진동감쇠능을 더욱 향상시켰다고 할 수 있다.

4. 결 론

Al분말과 흑연분말을 혼합, 성형 및 압출하여 Al/15%Gr. 압출재료를 제작하고, 이 압출재료를 Al-33.3%Si모합금, Al 잉고트 등과 배합 칭량하고, 재용해 하여 Al-6%Si/x%Gr. (x : 0, 2, 4, 6, 8), Al-12%Si/x%Gr.(x : 0, 2, 4, 6, 8), Al-18%Si/x%Gr. (x : 0, 2, 4, 6, 8) 복합재료를 제조하여 조직관찰, 경도실험, 진동특성을 조사한 결과 다음과 같다.

(1) Al-x%Si/y%Gr. 복합재료의 흑연의 분산이 양호하였다.

(2) Al-x%Si/y%Gr. 복합재료에서 흑연의 함유량이 많을수록 경도는 작아지고, Si의 함유량에 비례하여 Al-18%Si/y%Gr. 복합재료가 가장 높은 경도값을 나타내었고 Al-6%Si/y%Gr. 복합재료에서 가장 낮은 경도값을 나타냈다.

(3) Al-x%Si/y%Gr. 복합재료에서 흑연의 함유량이 많을수록 진동감쇠능이 커지며, 공정인 Al-12%Si/y%Gr. 복합재료에서 진동감쇠율이 가장 크게 나타났다.

참고 문헌

- [1] J. Zhang, M. N. Gungor and E. J. Lavernia ; (Proceedings ICCM VIII), S. W. Tsai and G. S. Springer, Eds., SAMPE, Covina, CA, (1991), 17-H-1
- [2] J. Zhang, R. J. Perez, M. N. Gungor and E. J. Lavernia ; K. Upadhy, Ed., TMS, Warrendale, PA. (1992) 203
- [3] J. Zhang, R. J. Perez and E. J. Lavernia, Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 42(1994) 395
- [4] P. K. Rohatgi, D. Nath et al ; J. of Mat. Sci., 29(1994) 5975
- [5] P. K. Rohatgi, N. Murali, H. R. Shetty and R.Chandrashekar; Mat. Sci. Eng., 26 (1976) 115
- [6] B. P. Krishnan, M. K. Surappa and P. K. Rohatgi ; J.Mat. Sci., 16 (1981) 1209
- [7] R. J. Perez, J. Zhang and E. J. Lavernia ; Metallurgical Transactions A, Vol. 24A(1993) 701

- [8] Imichi ; U.S.Pat. 2793949 (1957)
- [9] V. G. Gorbunow, V. D. Panin ; Russ. Cast. Prod., 8 (1974) 348
- [10] L. E. Mondoleo ; Space Processsing and Manufacturing, NASA Pulication, ME-69-1 (1969) 176
- [11] B. C. Pai, P. K. Rohatgi and S. Venkatesh ; Wear, 30(1974) 117
- [12] P. K. Rohatgi and B. C. Pai ; Wear, 59 (1980) 323
- [13] Katsuhiro Komuro, Masateru Suwa ; Japanes Foundry Engineering Soc., 56(1984) 734
- [14] H. M. Kwon, C. K. Chang, S. K. Shin ; J. of Korean Foundrymen's Soc., Vol.6 No.1(1986) 5
- [15] J. Zhang, R. J. Perez and E. J. Lavernia, Journal of Materials Science, Vol. 28(1993) 2395
- [16] A. M. Patton ; J. Inst. Met., 100 (1972) 197
- [17] B. P. Krishnan , H. R. Shetty and P. K. Rohatgi , Trans. AFS, 84 (1976) 73
- [18] Masateru Suwa, Katsuhiro Komuro ; Japan Institute of Metals, 40 (1976) 1074
- [19] H. Tokisue and G. J. Abbaschian ; Mat. Sci. Eng., 34 (1978) 75
- [20] Eiji Yuasa, Toshimasa Morooka ; Japanes Foundry Engineering Soc., 52 (1980) 394
- [21] R. Meharbian, R. G. Riek and M. C. Flemings ; Met. Trans., 5 (1974) 1889
- [22] R. Meharbian, A. Sato and M. C. Flemings ; Light Met., 2 (1975) 177
- [23] A. Sato and R. Mehrabian ; Met. Trans., 7B(10) (1976) 443
- [24] Ahid D. Nashif, David I. G. Johnes, John P. Henderdon ; Vibration damping, John Wiley & Sons, (1985) 61-73
- [25] B. Benchekchou, M. Coni, H. V. C. Howarth and R. G. White ; "Some aspects of vibration damping improvement in composite materials", Elsevier Science Ltd., Composites Part B 29B(1998) 809