

## 제진합금의 개발 현황과 분말야금기술의 적용

(경상대학교 금속재료공학과 및 항공기부품기술연구센터 안인섭 · 남태현)

### 1. 서론

산업기기로부터 발생하는 소음 및 진동은 기기에 성능저하를 유발시키고 인간에게는 심리적 불안감과 난청을 야기시킨다. 특히 최근 항공기등 수송기기의 경량화 추세에 의한 부재의 슬립화는 소음 및 진동문제 발생을 가속화시키므로 이에 대한 대책이 산업기기의 설계에 매우 중요한 과제로 대두되고 있다.

이와같은 소음 및 진동을 제어하기 위한 방진대책에 관한 연구는 오래전부터 수행되어 왔다. 얇은 철판사이에 고분자 물질을 끼워 넣어 고분자물질로 하여금 진동에너지를 흡수하게 하는 제진강판(system damping), 자동차의 오일댐퍼, 에어댐퍼와 같이 진동체에 댐퍼를 부착하여 진동에너지를 흡수하는 방법(structural damping)등은 현재 사용하고 있는 방법으로 제진효과는 매우 우수하지만 최근과 같은 산업기기의 고도화 및 소형화의 추세에 비추어 볼 때 적용범위에 한계가 있다. 따라서 금속재료중 진동감쇠능이 우수한 재료를 이용하여 금속재료 자체로 진동에너지를 흡수시키는 방법(material damping)이 적극적으로 검토되어 왔다.<sup>1)</sup> 그 결과 Fe-C-Si<sup>2)</sup>, Al-Zn<sup>3)</sup>, Mg-Zr<sup>4)</sup>, Mn-Cu<sup>5)</sup>, Cu-Al-Ni<sup>6)</sup>, Ti-Ni<sup>7)</sup>, Fe-Cr<sup>8)</sup>, Fe-Cr-Al<sup>9)</sup> 합금 등의 제진합금이 개발되어 있고 일부합금은 실

용화되어 있다. 표 1은 지금까지 개발된 제진합금의 제진특성 및 기계적성질을 나타낸다.

제진합금의 기구별 및 합금별 기술은 이미 여러 자료를 통해 보고된 바가 있다. 따라서 본 해설에서는 지금까지 개발된 방진합금중 마르텐사이트내에 격자불변변형으로 존재하는 쌍정의 계면운동에 의한 내부마찰이 제진의 원인이 되는 쌍정형 제진합금과 최근 개발되고 있는 제진합금중 합금의 제조에 분말야금법이 적용될 수 있는 사례를 중심으로 소개한다.

### 2. 쌍정형 제진합금

#### 2.1. 제진기구

제진합금에 관한 연구가 급속하게 발전하게 된 계기로는 진동감쇠능이 매우 우수한 쌍정형 제진합금이 개발된 사실을 들 수 있다. 여기서 쌍정은 일반 금속재료에서 발견되는 변형쌍정(deformation twin)이나 어닐링쌍정(annealing twin)을 의미하는 것이 아니라 마르텐사이트변태시 격자불변변형의 결과로 마르텐사이트의 내부에 내부결함으로서 존재하는 변태쌍정(transformation twin)을 의미한다. 그림 1은 마르텐사이트변태시 내부결함으로 쌍정이 도입되는 과정의 개념도이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 모상의 격자인 (a)가 격자변형(Bain deformation)에 의해 변형되

Table 1. Logarithmic decrement and mechanical properties of high damping alloys<sup>10)</sup>

Alloy type	Logarithmic decrement (%)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Elastic modulus (MPa)	Recommended amplitude region
Mn-40 Cu	20-25	400-450	600-650	20-25	~90000	intermediate
Mn-60 Cu	15-20	350-400	500-550	30-35	~120000	intermediate
Fe-Cr	25-30	250-300	400-450	35-40	~200000	small
Fe-Al	25-30	250-450	350-500	10-25	~200000	small
Fe-Al-Si						
Fe-Mn-Si	20	700-800	950-1050	30-35	~180000	high
Cast iron	8-10	300-350	500-550	0-1	~150000	intermediate
Mg alloy	20-30	50-70	150-200	20	~40000	intermediate

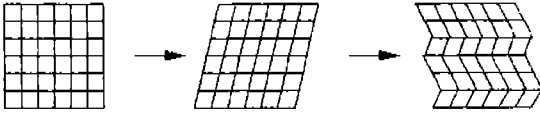


Fig. 1. Schematic diagrams showing lattice deformation associated with a martensitic transformation. Twin deformation is involved as a lattice invariant shear.

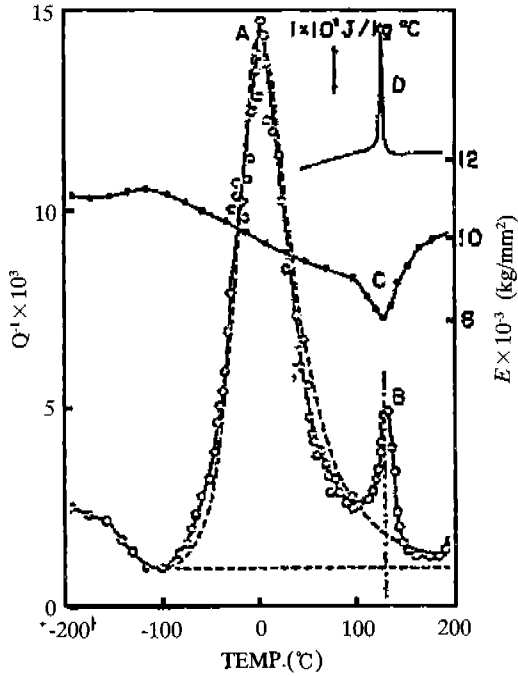


Fig. 2. Damping as a function of temperature for a 88% Mn-Cu alloy. C and D in the figure mean Young's modulus and heat capacity, respectively.

어 마르텐사이트의 격자인 (b)로 바뀌면 커다란 형상 변화가 유발된다. 이 형상변화를 최소화시키기 위하여 (b)는 (c)와 같이 격자불변변형으로 쌍정변형도 도입시키고 그 결과 격자의 모양은 변화시키지 않으면서 전체적인 형상변화는 최소화 된다.

이와같은 변태쌍정이 재료내에 도입되어 있는 경우 쌍정계면은 매우 적은 에너지(진동에너지)에 의하여 쉽게 움직여 쌍정간의 합체가 발생하고 이 과정에서 외부에너지가 소실된다. 즉 쌍정계면의 이동에 의해 진동에너지를 소실시켜 제진효과를 발생시킨다. 이러한 제진기구는 철계합금에서 보고된 강자성형 제진합금에서 자구벽(magnetic domain wall)의 이동에 의한 제진기구와 매우 유사하다.

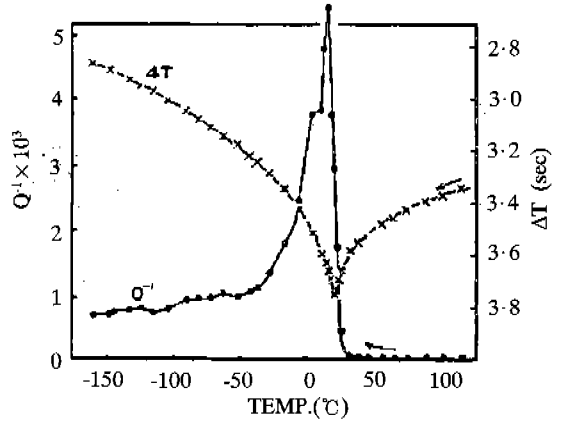


Fig. 3. Damping as a function of temperature for a Ti-51%Ni alloy.

2.2. Mn-Cu합금

Mn-Cu합금은 FCC-FCT 마르텐사이트변태를 하고 생성된 마르텐사이트의 내부에는 격자불변변형에 의한 내부결함으로 {101}쌍정이 존재한다. 그림 2는 88%Mn-Cu합금의 제진특성을 조사한 결과<sup>5)</sup>로써 0°C 부근에서의 커다란 피크외에 120°C부근에서도 피크가 나타난다. 0°C부근에서의 커다란 피크는 쌍정 경계면완화에 의한 것이고 120°C부근에서의 피크는 상변태에 의한 것으로 알려져 있다.

2.3. 형상기억합금

형상기억합금은 열탄성형 마르텐사이트변태를 하고 그 결과 마르텐사이트 내부에 내부결함으로 쌍정이 존재한다. 따라서 모든 형상기억합금이 제진합금으로 사용될 수 있는데 현재까지는 주로 Cu-Al-Ni 및 Ti-Ni합금에 대하여 보고되어 있다. 그림 3은 Ti-51% Ni 합금의 제진특성을 조사한 결과<sup>11)</sup>로서 실온부근에서 커다란 피크가 나타난다. 이것은 상변태에 의한 피크로써 Ti-Ni 2원합금의 변태온도가 실온부근인 사실과 일치한다.

한편 Ti-Ni 2원합금의 경우 B2(cubic) 모상으로부터 B19'(monoclinic) 마르텐사이트로의 변태가 발생하고 이것이 그림 3의 제진특성 출현의 원인이 된다. 그러나 Ti-Ni합금의 Ni를 Cu로 10at% 이상 치환시키면 B2모상은 B19'마르텐사이트로 변태하기 전에 B19(orthorhombic) 마르텐사이트로 변태한다.<sup>12)</sup> 여기서 B19'과 B19 마르텐사이트의 변형응력을 비교하면 B19마르텐사이트가 B19'보다 매우 작다는 것이 보고

되어 있다.

마르텐사이트변태온도 이하의 온도에서 형상기억 합금이 변형되는 기구는 일반금속재료에서 나타나는 슬립변형이 아니고 쌍정계면의 이동에 의한 쌍정의 합체에 기인한다. 따라서 변형응력이 작다는 사실은 쌍정계면의 이동이 그만큼 용이하다는 사실을 의미한다. 전술한 바와 같이 쌍정형 제진합금의 제진은 쌍정계면의 이동에 근거하므로 쌍정계면의 이동이 용이할수록 제진효과는 향상될 수 있다. 따라서 Ti-Ni합금보다 Ti-Ni-Cu합금에서 쌍정계면의 이동이 훨씬 용이하므로 제진효과도 우수할 것으로 기대된다. 그러나 Cu농도가 15at% 이상이 되면 가공이 매우 곤란하다는 점이 단점으로 지적되어 왔다.<sup>6)</sup> 따라서 Ti-Ni-Cu합금의 실용화를 위하여 이와같은 단점을 보완하기 위해서는 가공성의 향상이 필수적인 과제로 부각되었다. 기계가공이 곤란한 금속재료의 실용화를 위한 방법으로서 현재 Ti-Ni합금의 경우 분말야금법을 이용한 합금제조 연구가 활발히 진행되어 합금 제조가 성공적으로 이루어지고 있다. 합금분말의 제조에 관해서는 현재 여러 방법이 알려져 있지만 분말야금법중에서 특히 기계적합금화(mechanical alloying)법은 고융점이고 산화성이 큰 Ti의 용해과정이 필요치않은 고상반응만으로 합금화가 가능하기 때문에 매우 유리한 방법이다.

## 2.4. 제진복합재료

재료의 경량화 및 실용화 측면에서 가장 유용한 알루미늄기 복합재료를 제진특성이 우수한 형상기억합금과 복합시키면 강도와 제진특성을 동시에 개선시킬 수 있다는 연구가 최근 Furuya 등에 의해 연구된 바 있는데, Ti-Ni선재를 이용하여 제조한 Al기 복합재료의 제진특성을 조사한 결과 형상기억합금을 이용하지 않은 경우에 비하여 제진특성이 약 3배 이상 향상되었음이 보고되었다.<sup>13)</sup> TiNi합금을 선재로 알루미늄기지에 복합시킬 경우 제진성능이 향상된 고강도의 알루미늄합금을 실용화할 수 있다는 장점이 있다. 이같은 TiNi선재를 이용한 Al기 복합재료의 제진성능은 주로 TiNi 합금선재에 의존하는데, TiNi합금선재의 분율이 증가할수록 제진성능은 증가하지만

TiNi 선재는 고가이며 가공성이 나빠서 제조가 매우 까다로우며, Al용탕을 주입시킬 때 생길 수 있는 TiNi선재와 Al과의 반응층이 제진성능을 악화시킬 수 있고, TiNi선재 표면의 산화피막제거의 어려움 및 TiNi선재를 Al과 복합시키는 공정상의 많은 문제점을 지니고 있다. 그러나 선재가 아닌 합금분말을 이용할 경우에는 Ti-Ni 합금이 갖는 고유의 우수한 쌍정형 제진특성을 이용하는 것과 동시에 복합형 제진합금에서 나타나는, 탄성율이 큰 기지(Al)와 탄성율이 작은 제2상(Ti-Ni 합금분말)의 계면적 증대로 인해 계면이동에 의한 제진기구를 동시에 이용할 수 있어서 제진특성이 크게 향상되고 있음이 실험적으로 밝혀졌고, 특히 reaction milling법이나 기계적합금법을 이용하여 제조된 Al합금에서 상변태특성 및 제진특성이 크게 향상되는 것으로 알려져있다.<sup>3,14,15)</sup>

## 참 고 문 헌

1. 佐右木雄貞: Testu to Hagane, **70** (1984) 166.
2. E. Miller: Proc. Inter. Auto. Eng. Congress, SAE., Detroit 1969.
3. I. G. Ritchie, Z-L. Pan and F. E. Goodwin: Metall. Trans., **22A** (1991) 617.
4. G. F. Weissman, W. Babington: Am. Soc. Testing Materials Proc., **58** (1975) 869.
5. K. Sugimoto: J. of Jpn. Inst. of Metals, **39** (1975) 503.
6. K. Sugimoto: J. de Phy., **42** (1981) C-971.
7. O. Mercier, K. N. Melton and Y. de Preville: Acta Metall., **27** (1979) 1467.
8. 織田貞四郎, 中村誠: 日本金屬學會會報, **6** (1967) 729.
9. 増本量, 比内正勝: 日本金屬學會誌, **43** (1979) 471.
10. 이규환: 방음·제진의 기구 및 최근의 재료개발, 경상대학교 (1996) 91
11. R. Hasiguti and K. Iwasaki: J. Appl. Phys., **39** (1968) 2182.
12. T. H. Nam, T. Saburi and K. Shimizu: Mat. Trans., JIM **31** (1990) 959.
13. Y. Furuya, A. Sasaki and M. Taya: Mater. Trans., JIM, **34** (1993) 224
14. O. Yoshinari and M. Koiwa: Mater. Trans., JIM, **30** (1989) 46
15. 차성수, 남태현, 안인섭, 정형식: 한국분말야금학회지, **3(3)** (1996) 174.