

12Cr 마르텐사이트계 내열강의 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향 Effect of Microstructure on the Damping Capacity of 12Cr Martensitic Heat-resisting Steel

이상명 · 강창룡

S. M. Lee and C. Y. Kang

(접수일 : 2009년 11월 2일, 수정일 : 2010년 3월 30일, 채택확정 : 2010년 3월 31일)

Key Words : Heat-resisting Steel(내열강), Damping Capacity(감쇠능), Coefficient of Internal Friction(내부마찰계수), Solution Treatment(용체화처리), Tempering Treatment(템퍼링처리)

Abstract : This study was carried out to investigate the effect of microstructure on the damping capacity of 12Cr martensite heat-resisting steels, in case of the specimen with martensite phase contained the volume fraction of ferrite phases, under 5%. The damping capacity was decreased with the increase of solution treatment temperature and time. While it was increased with the increase of tempering temperature and time. The damping capacity was higher in case of specimen with martensite single phase structure than the specimen with martensite phase contained of ferrite phases.

1. 서론

Fe-9~12Cr-Mo계 내열강은 열전도성이 뛰어나고, 열팽창계수가 작아 열응력이 발생하는 장소의 구조재로 적당하기 때문에 화석연료를 사용하는 발전플랜트의 설비 중 보일러 등과 같은 부품에 많이 사용되고 있다^{1,2)}. 그러나 이 합금은 고온강도를 위해 첨가된 Mo이 고온에서 장시간 사용 시 라베스상과 같은 금속간화합물로 석출되는데 기인되어 고온강도와 인성이 나빠지는 문제가 발생되고 있다. 때문에 이러한 문제점들을 개선하기 위해 Mo 대신에 W, Nb, V 등을 첨가하거나^{3,4)}, 또는 새로운 제조공정을 개발하기 위한 많은 연구⁵⁾가 수행되어 왔다. 뿐만 아니라, 보일러 등과 같은 고온에서 압력을 받는 부품에 사용되는 재료는 고온강도 외에 압력 등에 기인되어 발생하는 소음, 진동 등에도 견딜 수 있는 우수한 감쇠능도 요구되고 있다⁶⁾. 또한 이러한 재료는 화학조성과 제조공정상의 부적절함에 기인되어 경우에 따라서는 페라이트 조직이 석출하여 존재하게 된다. 이러한 페라이트 조직이 존재하게

되면 열처리 또는 고온에서 사용도중 페라이트 조직과 마르텐사이트 조직에서 일어나는 미세조직변화가 서로 달라지게 되어 고온강도 뿐만 아니라 감쇠능 등도 크게 달라질 것으로 예상된다. 따라서 페라이트 조직의 양이 5%이하가 되도록 엄격히 제한을 하고 있지만, 이러한 마르텐사이트 조직에 소량의 페라이트 조직을 갖는 내열강에 대한 감쇠능의 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 마르텐사이트 조직을 갖는 시료와 마르텐사이트 조직에 소량의 페라이트 조직을 갖는 시료에 대하여 용체화 및 템퍼링 처리조건을 변화시켜 열처리한 다음 열처리 조건변화에 따른 미세조직변화가 감쇠능에 미치는 영향을 비교 검토함으로써 페라이트 조직의 존재가 감쇠능에 미치는 영향도 함께 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 고주파용해로에서 용해 후 원심주조하여 링형상의 잉곳을 얻은 다음 1200℃에서 3시간 균질화 처리 후 1200℃에서 단조비가 30%가 되게 단조한 다음 시료로 사용하였다. 이때 사용된 시료의 화학 조성을 Table 1에 나타내었다.

강창룡(교신저자) : 부경대학교 금속공학과
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346
이상명 : 부경대학교 대학원

2.2 시료의 열처리

감쇠능에 대한 용체화 처리온도 변화의 영향을 조사하기 위한 열처리는 시료를 800°C에서 960°C사이의 여러 온도에서 1시간 유지 후 수냉 하였고, 용체화 처리시간의 영향을 조사하기 위한 열처리는 880°C의 온도에서 최대 180분까지 유지 시간을 달리하는 용체화 처리를 하였다. 한편, 감쇠능에 미치는 템퍼링처리 온도 변화의 영향을 조사하기 위한 템퍼링처리는 1050°C에서 용체화 처리한 시료를 520°C에서 680°C까지 온도를 달리하는 템퍼링 처리를 하였고, 템퍼링 처리시간의 영향을 조사하기 위한 열처리는 최대 600분까지 시간을 달리하여 템퍼링처리를 하였다.

2.3 미세조직관찰

시료의 미세조직은 광학현미경을 사용하여 관찰하였다. 또한 용체화처리 및 템퍼링 처리조건 변화에 따른 미세조직변화는 주사전자현미경으로 관찰하였다.

2.4 진동감쇠능 측정

감쇠능 측정은 시료를 방전가공에 의해 2.0 × 20 × 120mm 크기로 제작한 다음 용체화처리 및 템퍼링 처리 조건을 변화시켜 열처리한 다음 횡형 내부마찰 측정장치(Internal Friction Measurement Machine : 진공이화학, IFT-1500)를 이용하여 측정하였다.

Table 1 Chemical composition of specimen (wt.%)

Comp.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
Spec.	0.106	0.6	0.4	0.003	0.002	11.6	-	Bal.

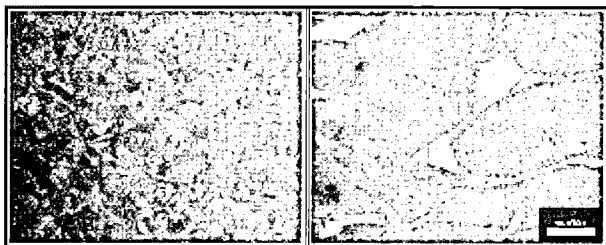


Photo. 1 Optical microstructure of heat-resisting steels
 a) specimen with martensite
 b) specimen with martensite plus ferrite

이 방법은 진동을 가하는 전극과 진동을 검출하는 전극 위에 시료를 2개의 평행한 세선으로 전극에 접촉되지 않게 배열한 다음 진동을 가하는 전극

으로 강제 진동시킨후 자유감쇠에 의해 감쇠할 때까지 파수를 측정하여 내부마찰계수($Q^{-1} = \delta/\pi = 1/(n\pi) \times \ln(A_0/A_n)$, n : 파수, A_0 : 최초파의 진폭, A_n : n 번째 파의 진폭)을 구하는 방법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Photo. 1은 시료를 용해한 다음 원심주조하여 링형상의 잉곳을 얻은 후 이를 1200°C에서 단조비가 30%가 되게 단조한 다음 강제 공랭한 시료와 공랭하였을 때의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 단조 후 강제 공랭한 사진 a)에서는 마르텐사이트의 단상조직으로 되어 있는데 반하여, 공랭한 시료의 사진 b)는 마르텐사이트조직에 다각화되어 있는 흰색의 페라이트조직이 소량 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 사진 b)에서 존재하는 페라이트조직의 양은 화상분석시험에 의해 조사한 결과 4.8%이었다.

3.2 감쇠능에 미치는 용체화처리 조건의 영향

Fig. 1은 두 시료를 여러 온도에서 60분 용체화 처리를 한 다음 진동감쇠능 시험을 하였을 때 얻은 내부마찰계수 값을 나타낸 것이다. 두 시료가 동일하게 용체화 처리온도가 높아질수록 내부마찰계수는 약간 낮아지고 있는 것을 알 수 있다.

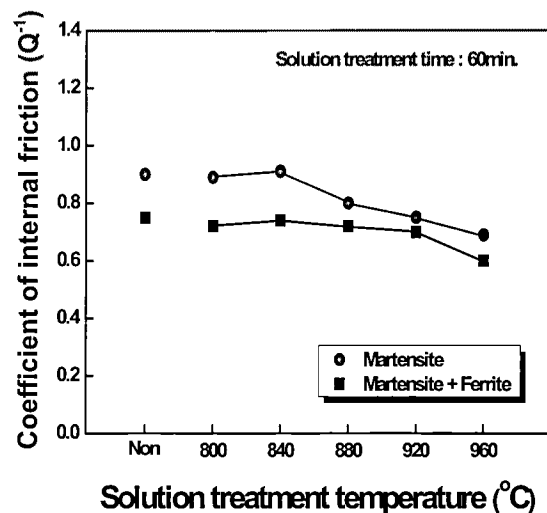


Fig. 1 The effect of solution treatment temperature on the coefficient of internal friction in heat-resisting steels

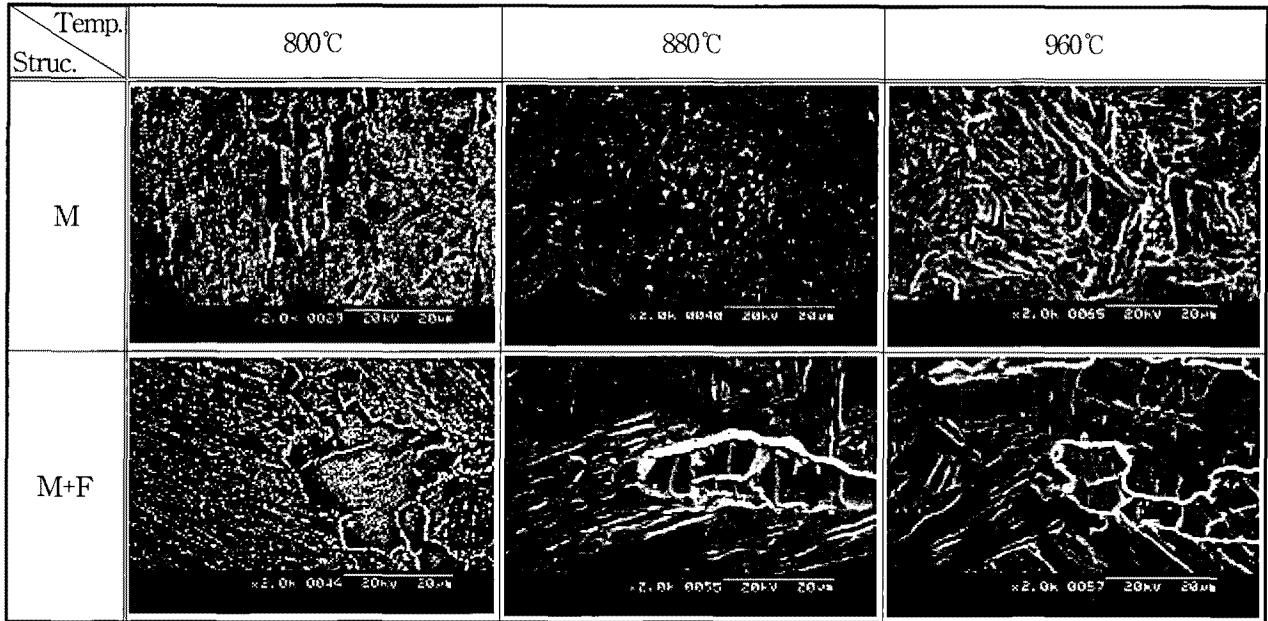


Photo. 2 SEM microstructure showing the effect of solution treatment temperature in heat-resisting steels (M : Martensite, F : Ferrite)

Photo. 2는 용체화 처리온도 변화에 따른 두 시료의 미세변화를 주사전자현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. 두 시료 모두 800°C에서 용체화 처리한 시료의 경우는 용체화 처리온도가 낮기 때문에 용체화 처리할 때 용해되어 마르텐사이트 내 고용되는 탄화물의 양이 적은데 기인되어 많은 탄화물이 존재하고 있는데 반하여, 960°C에서 용체화 처리한 경우는 용체화 처리온도가 높기 때문에 용체화처리 시 대부분의 탄화물이 용해되어 마르텐사이트 내 고용되어 탄화물이 거의 존재하지 않고 있는 것을 알 수 있다.

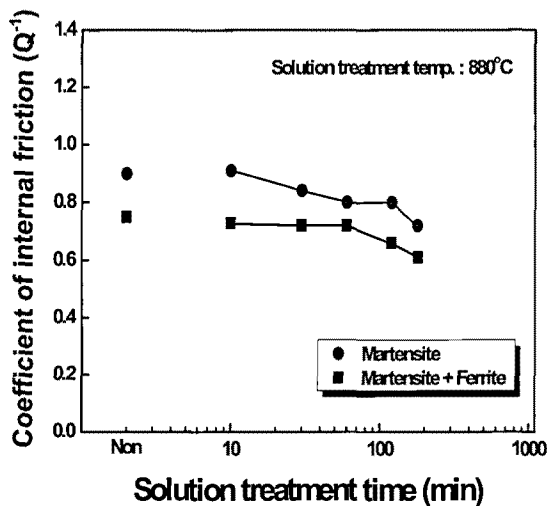


Fig. 2 The effect of solution treatment time on the coefficient of internal friction in heat-resisting steels

Fig. 2는 두 시료의 감쇠능에 미치는 용체화 처리 시간의 영향을 알아보기 위하여 두 시료를 880°C에서 시간을 달리하는 용체화 처리 한 다음 감쇠능 시험 하였을 때 얻은 내부마찰계수 값을 나타낸 것이다. 두 시료 모두 용체화 처리시간이 길어짐에 따라 내부마찰계수가 서서히 낮아지는 것을 알 수 있다.

Photo. 3은 두 시료의 용체화 처리시간 변화에 따른 미세조직 변화를 주사전자현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. 두시료 모두 10분 유지한 시료에서는 용체화 처리시간이 짧기 때문에 탄화물이 용해하여 마르텐사이트에 고용되는 양이 적어 많은 탄화물이 존재하고 있는데 반하여, 180분 용체화 처리한 시료는 용체화처리 시간이 충분히 길기 때문에 대부분의 탄화물이 용해되어 마르텐사이트에 고용되는데 기인되어 탄화물의 양이 대단히 적은 것을 알 수 있다.

일반적으로 마르텐사이트조직을 갖는 강에서의 감쇠능은 외부의 응력에 따라 자구벽의 가역적인 이동에 기인되는 자기-기계적 이력손실에 의해 진동에너지가 소모되거나, 마르텐사이트 형제정간의 경계, 마르텐사이트 내 적층결합의 경계 및 전위 등이 이동함으로써 진동에너지를 흡수하는 기구 등에 의해 일어난다고 알려져 있으며, C, N 등과 같은 침입형 원자가 존재하면 이들의 이동을 방해하기 때문에 감쇠능은 현저히 떨어진다고 알려져 있다^{6,7)}. 따라서 Fig. 1과 2에서 용체화 처리온도가 높아질수

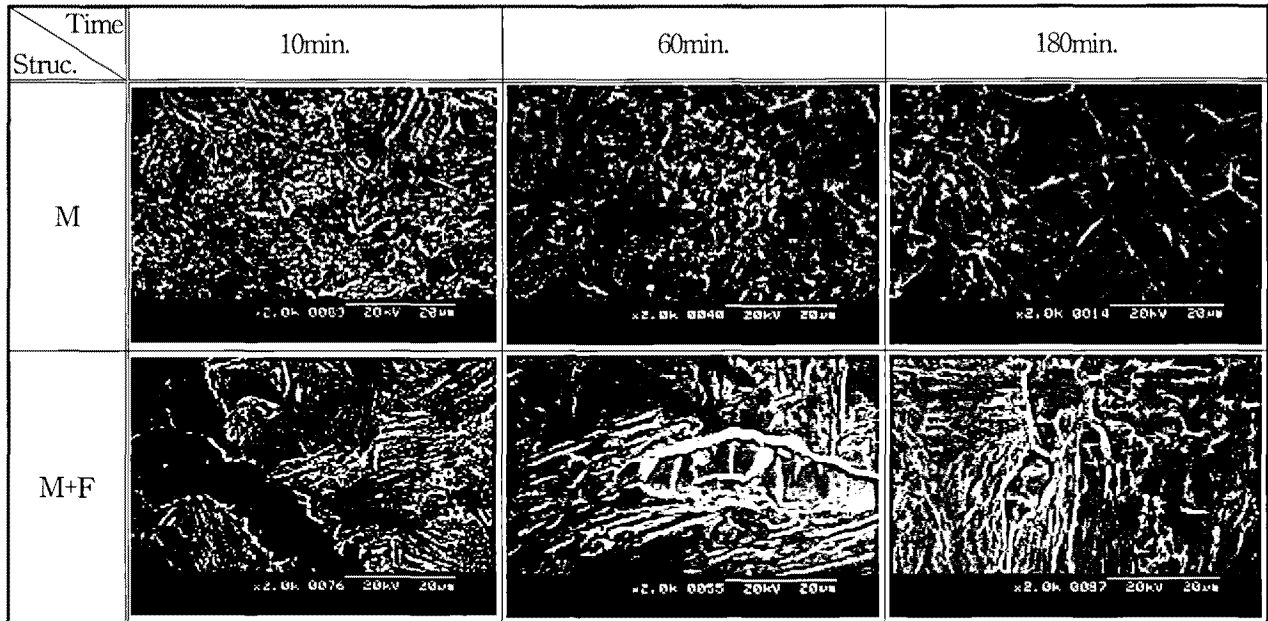


Photo. 3 SEM microstructure showing the effect of solution treatment time in heat-resisting steels
(M : Martensite, F : Ferrite)

록, 처리시간이 길어질수록 내부마찰계수가 감소하고 있는 이유는 Photo. 2와 3에서 알 수 있는 바와 같이 용체화 처리온도가 높아질수록, 그리고 처리시간이 길어질수록 많은 탄화물이 용해되어 되는데 기인되어 탄소와 Cr 등이 마르텐사이트 내에 많이 고용되어진다. 따라서 이와 같이 탄소 등이 고용되면 자구벽의 가역적인 이동이 어렵게 되어 자기-기계적 이력손실이 일어나지 못하게 되고, 또한 마르텐사이트 형제정간의 경계, 마르텐사이트와 적층결합의 경계, 전위 등의 이동이 어렵게 되어 감쇠능이 낮아진다고 판단된다^{6,7)}.

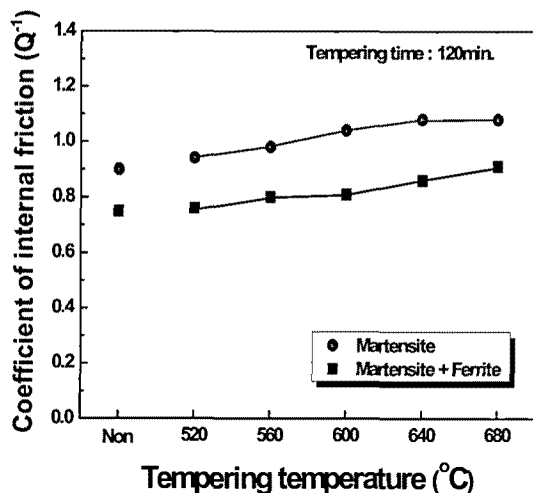


Fig. 3 The effect of tempering temperature on the coefficient of internal friction in heat-resisting steels

3.3 감쇠능에 미치는 템퍼링 처리조건의 영향

Fig. 3은 감쇠능에 미치는 템퍼링처리 온도의 영향을 알아보기 위하여 두 시료를 880°C에서 용체화 처리한 다음 여러 온도에서 템퍼링처리 한 후 감쇠능 시험 하였을 때 얻은 내부마찰계수를 나타낸 것이다. 두 시료 모두 템퍼링 처리온도가 높아질수록 내부마찰계수가 높아지고 있는 것을 알 수 있다.

Photo. 4는 두 시료의 템퍼링 처리온도에 따른 미세조직 변화를 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 두 시료 모두 템퍼링 처리온도가 높아질수록 탄화물이 조대화 되고 있고, 그 양도 많은 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 템퍼링처리온도가 높아질수록 고용된 탄소와 Cr등과 같은 원자의 확산속도가 빨라지기 때문에 탄화물로 쉽게 석출되고, 성장하기 때문이라 판단된다.

Fig. 4는 감쇠능에 미치는 템퍼링 처리시간의 영향을 알아보기 위하여 두 시료를 880°C에서 용체화 처리한 다음 600°C에서 시간을 달리하는 템퍼링처리 한 다음 감쇠능시험 하였을 때 얻은 내부마찰계수를 템퍼링 처리시간에 대하여 나타낸 것이다. 두 시료 모두 템퍼링 처리시간이 길어질수록 내부마찰계수가 높아지고 있는 것을 알 수 있다.

Photo. 5는 두 시료의 템퍼링 처리시간 변화에 따른 미세조직 변화를 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 두 시료 모두 템퍼링 처리시간이 길어질수록 탄화물이 조대화되고 있고, 그 양도 많아지고 있는

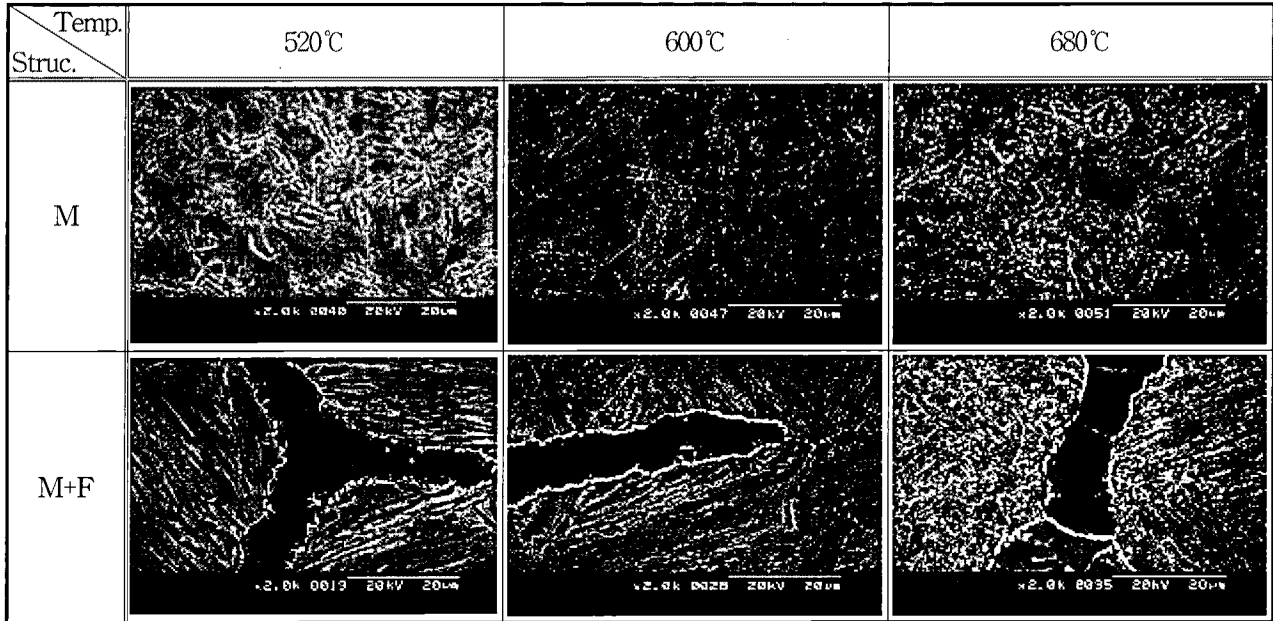


Photo. 4 SEM microstructure showing the effect of tempering temperature in heat-resisting steels
(M : Martensite, F : Ferrite)

것을 알 수 있다. 이 같은 이유는 템퍼링 처리시간이 길어지면 탄화물이 많이 석출됨과 동시에 템퍼링 초기에 석출된 탄화물의 성장이 일어나기 때문이다. 따라서 Fig. 3과 4에서 나타난 것처럼 템퍼링 처리온도가 높아지고, 처리시간이 길어짐에 따라 내부마찰계수가 높아지는 이유는 Photo. 4와 5에서 알 수 있는 바와 같이 템퍼링 처리온도가 높아질수록, 처리시간이 길어질수록 탄화물이 많이 석출되기 때문에 마르텐사이트 내에 고용되어 있는 탄소농도가 낮아지게 된다. 따라서 마르텐사이트 조직의 자기-

기계적 이력손실이 일어나기 쉽고 마르텐사이트 형제정간의 경계, 마르텐사이트 내 전위, 적층결함의 경계, 전위 등의 이동이 쉽게 되어 감쇠능이 높아진다고 판단된다⁷⁾.

한편, Fig. 1, 2, 3, 4의 결과로부터 마르텐사이트 조직에 페라이트조직을 갖는 시료가 마르텐사이트 단상 조직을 갖는 시료보다 내부마찰계수가 낮은 것을 알 수 있다. 이는 마르텐사이트에 페라이트 조직이 존재하게 되면, 상대적으로 마르텐사이트 조직의 체적분율이 적어지게 된다. 페라이트 조직은 마르텐사이트 조직에 비해 탄소의 고용도가 낮기 때문에 그 결과 마르텐사이트조직 내 고용되는 탄소의 농도는 마르텐사이트 단상을 갖는 시료에 비해 높게 된다. 따라서 마르텐사이트 내 탄소농도가 높기 때문에 자기-기계적 이력손실이 일어나기 어렵고, 마르텐사이트 형제정간의 경계, 마르텐사이트와 적층결함의 경계, 전위 등의 이동이 어렵게 되어 내부마찰계수가 낮아진다고 판단된다^{6,7)}.

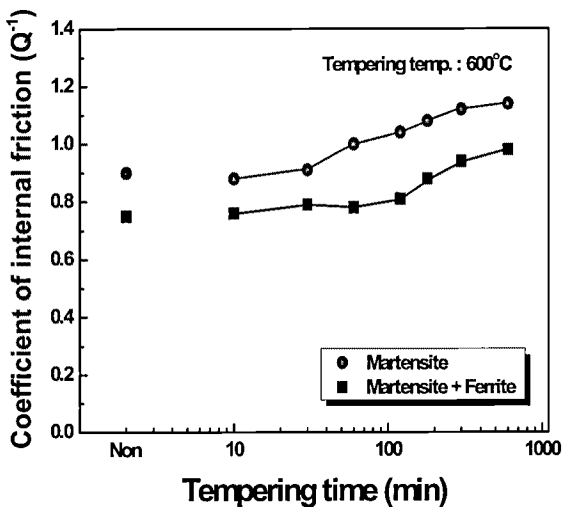


Fig. 4 The effect of tempering time on the coefficient of internal friction in heat-resisting steels

4. 결 론

마르텐사이트 단상과 마르텐사이트 조직에 소량의 페라이트 조직을 갖는 12%Cr 내열강의 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

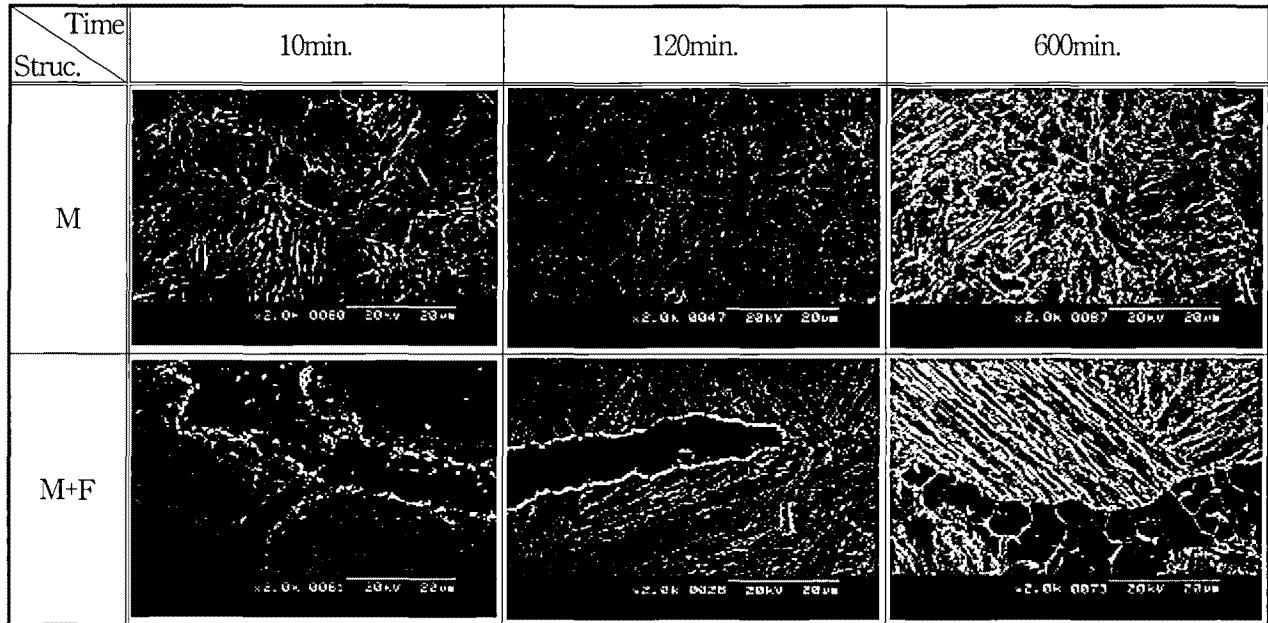


Photo. 5 SEM microstructure showing the effect of tempering time in heat-resisting steels
(M : Martensite, F : Ferrite)

1. 마르텐사이트 조직에 페라이트 상을 갖는 시료의 경우 페라이트의 체적분율은 5%이하였다.
2. 용체화처리 온도가 높아질수록, 시간이 길어질수록 마르텐사이트 상 내 탄소 등의 농도가 높아지는데 기인되어 감쇠능은 낮게 나타났다.
3. 템퍼링 처리온도가 높아질수록, 시간이 길어질수록 마르텐사이트 내 탄소 등의 농도가 낮아진데 기인되어 감쇠능은 증가하였다.
4. 마르텐사이트 단상조직을 갖는 시료가 마르텐사이트에 페라이트를 갖는 시료에 감쇠능은 높게 나타났다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

1. 吉田豊明, 1995, "가스터빈기관의 초고온재료 기술について", 耐熱金属材料, 第123會 研究報告, Vol. 36, No. 3, p. 275.
2. S. Yoshiatsu et al., 1995, "Development of high strength 12%Cr steel pipe and tube for boilers", sumitomo kinjoku, Vol. 47, No. 4, p. 29.
3. R. C. Thomson, H. D. Jamson and H.

- Bhadeshia, 1992, "Carbide precipitation in 12Cr 1Mo V power plant steel", metallurgical transaction A, Vol. 23A, p. 1171~1179.
4. 강창룡 외 5인, 2000, "발전플랜트용 10Cr 페라이트 내열강의 라베스상 석출거동 및 기계적 성질", 한국동력 기계공학회지, 제6권, 제1호, pp. 1~7.
5. 강창룡 외 5인, 2009, "원심주조된 내열강의 미세조직 및 기계적성질에 미치는 단조 조건의 영향", 한국동력기계공학회지, 제13권, 제3호, pp. 47~52.
6. H. Okada et al., 2004, "Effect of epsilon martensite on the damping of high strength Fe-Cr-Mn alloy", Materials science & Engineering, Vol. 307, pp. 519~523.
7. C. Y. Kang et al., 2009, "Effect of Heat Treatment on the Damping Capacity of Austempered Ductile Cast Iron", Materials transactions, Vol. 50, No. 6, pp. 1390~1395.