

Barkhausen noise method의 정량화 및 재료의 미세구조 분석을 통한 파괴특성의 비파괴적 평가

김 동원*, 정 아람, 권 동일
서울대학교 재료공학부

Nondestructive evaluation of fracture characteristics by quantization of Barkhausen noise method and microstructure analysis

D.-W. Kim*, A. Jeong and D. Kwon
School of Materials Science and Engineering, Seoul National University,
Seoul 151-742, Korea

1. 서 론

비파괴 검사는 제작 또는 작동중인 압력용기등과 같은 대형 설비, 항공·선박시설에서부터 전자재료나 그 부품 등의 결함을 검출, 또는 특성변화를 평가하기 위해서 실시되는 방법으로서, 작동중인 설비는 운전중이나 정기보수기간을 이용하여 비파괴검사를 실시하며, 검사방법은 사용하는 조건에 따라 달라지게 되며, 이러한 비파괴 평가법의 in-situ평가 특성을 이용하여 최근에는 작동중인 원전설비에 있어서의 압력용기나 배관 등과 같은 시설의 경년열화 현상을 평가하려는 많은 시도들이 있었다.

최근 가장 활발히 진행중인 비파괴 방법들로는 초음파법, 자기적 방법, 전기적 방법, acoustic emission과 같은 물질파를 이용하는 방법, X/γ-ray를 이용한 방사선법, monitoring, 육안 검사법 등이 있으며, 각 측정 방법들은 나름대로의 장단점을 가지고 있으므로, 측정하고자 하는 대상에 맞는 방법을 선택하거나 복합적인 방법으로 사용하여야 할 것이다.

위와 같은 여러 가지 비파괴 검사방법 중에서 자기적인 방법은 최근 많은 분야에서 이용되는 검사방법으로, 활발한 연구가 진행되고 있는 분야로서는 고전적인 방법으로 hysteresis loop를 분석하여 bulk 자기특성을 평가한다든지, MPI(magnetic particle inspection), MRI(magnetic resonance imaging)를 이용하는 방법이 있고, MFL(magnetic flux leakage), Barkhausen noise, SQUID(superconducting quantum interference device)등을 적용하는 방법이 있을 것이다.

이러한 자기적인 방법 중에서 Barkhausen noise를 이용한 평가방법은 특성상 강자성체에 주로 사용되며, 측정장비가 간편하고, 빠른 측정이 가능하며, 다른 자기적 비파괴 평가방법에 비해 높은 감도를 나타내기 때문에 여러 분야에서 많이 사용되고 있다.

Barkhausen noise(BN)는 강자성체가 외부의 자장에 의해 자화될 때 재료의 여러 결정입계나 전위, 비자성 개재물과 같은 미세적인 성질에 의한 magnetic domain wall의 불연속적인 이동에

의해 불연속 자화될 때 나타나는 현상으로서 이런 효과를 Barkhausen effect라고 하며(그림1), 불연속적인 자화과정의 유도코일로 측정하면(그림2), 유도전압이 측정되는데 이를 Barkhausen noise라고 말한다. 이러한 Barkhausen noise의 측정은 재료의 성질을 비파괴적으로 측정할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 이러한 Barkhausen noise를 정량적으로 modeling하였으며, 이를 통하여 강자성 재료의 미세 조직의 분석과 함께 이를 적용하여 파괴특성으로서의 파괴인성의 경향성을 정량적으로 평가해 보았다. 이와같은 modeling을 통한 재료의 결정립 크기, cementite 분포, 파괴인성의 분석에 의하여 Barkhausen noise를 이용한 비파괴적 평가 방법을 실 시스템에 적용함으로써 현장에서의 미세파손 및 경년열화 현상을 정량적으로 분석해 볼 수 있을 것이다.

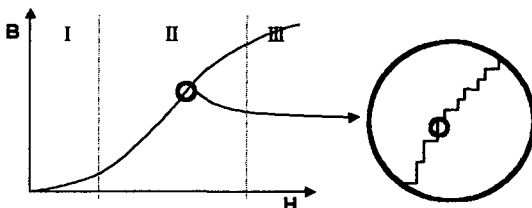


그림 1 Barkhausen Effect

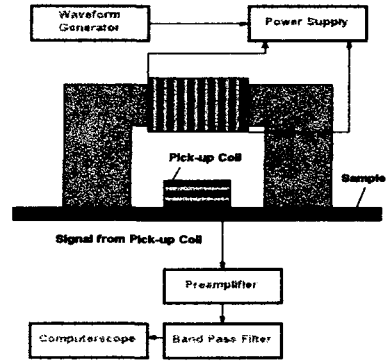


그림 2 Barkhausen noise 측정 장치

2. 본 론

2-1) 결정립 크기를 통한 Barkhausen noise의 예측

기존에 알려진 강자성체의 자화시 자구벽(domain wall)의 불연속적인 변화를 통해 나타나는 Barkhausen noise는 Faraday's law로부터 식(1)과 같이 자구벽의 이동속도에 의해 결정되는 것으로서 나타나며, 이러한 자구벽의 속도는 외부로부터 가해주는 driving force와 pinning 효과로부터 나타나는 retarding force와의 상호 상충되는 관계로부터 경험적인 관계로서 표현되어 왔다.[1][2]

$$V(t) = 2N'CI_s \left(\frac{du}{dt} \right) \cos \theta \quad (1)$$

$$= 2N'CI_s A v(x) \cos \theta \quad [v(x) = (2HI_s \cos \theta - F_r(x))]$$

여기서 $V(t)$ 는 Barkhausen noise(voltage)를 나타내며, N' 은 단위길이 당 coil의 감은 수, C 는 단위상수, $2I_s$ 는 180° 자구벽의 변화에 의한 자화량의 변화, u 는 자화된 자구벽의 부피, 그리고, θ 는 자기선속과 pick-up coil사이의 각도, $v(t)$ 는 자구벽의 이동속도를 각각 나타낸다.

위에서 언급한 바와 같이 기존의 연구에서는 retarding force($F_r(x)$)를 단순히 정성적인 척도로서만 언급하고 있으며, 이러한 연구중 가장 대표적인 것이 결정립 크기와 상호연관성이다. 여기서 결정입계는 자구벽 이동에 pinning 효과를 줌으로서, 자구벽의 이동을 방해하게 되고, 그러므로 자구벽의 이동속도가 작아지게 되므로 결과적으로 Barkhausen noise를 감소시키는 영향을 주게된다. 즉, 결정립 크기가 작아질수록 더욱 많은 pinning effect에 의해서 Barkhausen noise는 작아지게 된다.

그래서, 본 연구에서는 이러한 경험적이고 정성적인 관계로부터 우선 결정립 크기와 Barkhausen noise사이의 정량적인 modeling을 생각해 보고자 한다.

강 자성체의 자기적 특성중 하나인 보자력(coercive force)은 Barkhausen noise에 절대적인 영향을 주는 180° 자구벽의 이동에 의해 결정되며, 보자력이 클수록 더 많은 인가 자기장에 의해서 자화상태가 변화하게 된다. 즉 보자력이 클수록 자기적으로 hard하다고 할 수 있으며, 역시 자구벽 이동의 pinning현상에 의해 나타난다고 볼 수 있다. 그러므로, 보자력은 강자성체 내부의 자화의 용이도를 나타내는 척도라고 할 수 있을 것이다.

이러한 논리에 근거를 두고 식(1)에서의 결정립 크기에 있어서의 retarding force와 보자력과의 상관관계를 생각해 볼 수 있다.

즉 Mager에 의하면 결정립 크기와 보자력과의 상관관계는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.[3]

$$H_c = 3 \frac{\gamma_w}{M_s} \frac{1}{D} \quad (2)$$

식(2)에서 γ_w 는 자구벽의 에너지에 해당하는 항이고, M_s 는 포화자화값이다. 여기서 γ_w 는 식(3)과 같이 나타낼 수 있고,

$$\gamma_w = \sqrt{\frac{kT_c K_1}{a}} \quad (3)$$

그러므로, 최종적으로 보자력과 결정립 크기와의 관계는 식(4)와 같이 알려져 있다.[4]

$$H_c = 3 \sqrt{\frac{kT_c K_1 / a}{M_s}} \frac{1}{D} \quad (4)$$

여기서 k 는 Boltzmann 상수, K_1 은 자기결정 이방성, T_c 는 Curie온도를 나타내고, a 는 격자상수이다.

그러므로, 결정립 크기에 의한 자구벽의 이동속도는 식(5)와 같이 결정된다.

$$v(x) = 2I_s \cos \theta (H - H_c) \quad (5)$$

$$= 2I_s \cos \theta \left(H - 3 \sqrt{\frac{kT_c K_1 / a}{M_s}} \frac{1}{D} \right)$$

이와 같이 재료내부에 pinning site로서의 영향이 결정입계에 의해서만 결정된다면, 자구벽의 이동속도는 결정립 크기의 역수와 직선적인 비례관계가 성립될 것이다.

2-2) 비자성 개재물의 Barkhausen noise에의 영향

위에서 언급된 바와 같이 결정립이 자구벽이동의 pinning site로서의 역할을 하지만, 강자성체 특히, 저탄소강의 철강재료에 있어서 Barkhausen noise에 가장 큰 영향을 주는 것은 0.25~1.00wt%의 탄소의 함량이라고 알려져 있다.[5] 이는 비자성체인 탄소가 자구벽 이동에 절대적으로 방해를 일으켜, retarding force의 증가를 유발하기 때문이다.

이러한 비자성 개재물과 자구벽과의 상호작용에 대하여 개재물을 구형으로 모사하여 그림3에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 자구벽이 개재물을 지나는 과정에서 전위나 결정입계의 pinning현상과 유사한 과정이 나타나게되고 이러한 과정에서 식(6)과 같이 개재물과 자구벽이 만난 부분을 제외한 곳에서의 자구벽 면적의 변화가 일어난다고 알려져 있다.[6]

$$\Delta A' = \pi \left(R^2 - \frac{\xi^2}{4} \right)^{1/2} \left[\left(R^2 - \frac{\xi^2}{4} \right)^{1/2} + \left(\frac{\xi}{4} \right) \ln \left| \frac{R + \xi/2}{R - \xi/2} \right| - R \right] \quad (6)$$

여기서 R 은 개재물의 반지름이고, ξ 는 자구벽이 개재물을 빠져 나왔을 때 개재물 중심과

pinning site로부터 벗어난 자구벽 사이의 간격을 나타낸다.

그러므로, 전체 pinning된 자구벽과 pinning에서 빠져나온 자구벽사이의 면적차이는 식(7)과 같이 된다.

$$\Delta A = \Delta A' - \Pi(R^2 - \xi^2/4) \quad (7)$$

여기에 자구벽의 단위면적당 표면 에너지 σ_0 라 한다면 하나의 개재물에 의해서 나타나는 표면에너지의 변화를 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(\xi) = \Pi\sigma_0 R^2 \left(1 - \frac{\xi^2}{4R^2}\right)^{1/2} \left[\left(\frac{\xi}{4R}\right) \ln \left| \frac{1 + \xi/2R}{1 - \xi/2R} \right| - 1 \right] \quad (8)$$

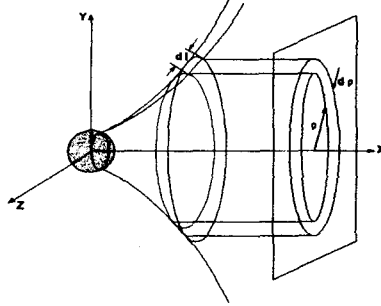


그림 3 개재물에 의한 자구벽의 pinning

그리고, N의 밀도를 가진 단순입방격자에서의 단위 자구벽 면적과 전체 개재물이 만나는 pinning 위치에서의 전체 표면에너지의 증가량 $U(\xi)$ 는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$U(\xi) = N^{2/3} u(\xi) \quad (9)$$

기존에 알려진 자구벽 이동시 나타나는 표면에너지의 변화량과 보자력 사이의 상호관계를 이용하여 보자력과 개재물의 크기 및 밀도와의 상호관계를 유추할 수 있다.(식(10))[7]

$$\begin{aligned} H_p &= (2\mu_0 M_s)^{-1} \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} \right)_{\max} \\ &= K \left(\frac{\pi\sigma_0 R}{2\mu_0 M_s} \right) N^{2/3} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 K는 1.09로 알려져 있다. 그러므로, 강자성체의 비자성 개재물의 분포로부터 이로 인한 coercive field를 구할 수 있으며, 이를 통하여 비자성 개재물로 인한 자구벽의 이동속도의 경향을 식(5)를 이용하여 식(11)과 같이 유추할 수 있다.

$$v(x) = 2I_s \cos \theta \left[H - K \left(\frac{\pi\sigma_0 R}{2\mu_0 M_s} \right) N^{2/3} \right] \quad (11)$$

식(11)로부터 개재물의 크기와 자구벽과 만나는 밀도가 증가할수록 자구벽의 이동속도는 감소할 것이고, 이에 따라 비자성 개재물에 의한 Barkhausen noise를 식(1)로부터 정량화 할 수 있다.

그리고, 기존의 연구내용으로부터 자구벽의 이동에 저해가되는 pinning효과는 식(12)와 같이 산술적인 합으로서 나타낼 수 있다고 한다.[8]

$$F_p(x) = \sum_j m_j K_j \delta(x - x_j) \quad (12)$$

그러므로, 위의 결정립 크기와 개재물의 자구벽의 이동속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V(t) = 2I_s C^* \cos \theta \left[H - 3 \sqrt{\frac{kT_c K_1 / a}{M_s}} \frac{1}{D} - K \left(\frac{\pi\sigma_0 R}{2\mu_0 M_s} \right) N^{\frac{2}{3}} \right] \quad (13)$$

2-3) Barkhausen noise를 이용한 파괴인성의 경향 분석

저탄소강에 있어서 결정립 크기와 cementite의 크기는 재료의 파괴인성(K_{Ic})에 중요한 영향을 미치게 된다. 이에 관한 기존의 연구에서 R. W. Armstrong은 강에 있어서 결정립 크기와 파괴인성의 관계를 식(14)와 같이 나타내었다.[9]

$$K_{Ic} = \left[c \left(\pi \frac{s a_e}{a+s} \right)^{1/2} \right] (\sigma_i + k_y d^{-1/2}) \quad (14)$$

여기서, c 는 단위상수이며, s 는 파괴시 소성역 반경의 두배에 해당하는 값이고, a_e 는 crack길이를 보정된 소성역의 크기이다. 그리고, σ_i 는 격자마찰응력, k_y 는 Hall-Petch 기울기를 나타낸다. 위의 식에서 $s/a < 1$ 일 경우 즉 brittle fracture의 경우에는

$$\left(\frac{s a_e}{a+s} \right)^{1/2} = s^{1/2} \quad (15)$$

로 나타낼 수 있다고 하였고, 그러므로,

$$K_{Ic} = (c s^{1/2}) (\sigma_i + k_y d^{-1/2}) \quad (16)$$

로 나타낼 수 있다.

또한, 탄소강에 있어서 결정내부의 cementite가 파괴인성에 미치는 영향에 있어서 A. R. Rosenfield는 ductile fracture의 경우에는[10]

$$K_{Ic} = \left[2\sigma_y E \left(\frac{\pi}{6} \right)^{1/3} d \right]^{1/2} f^{-1/6} \quad (17)$$

brittle fracture의 경우에는

$$K_{Ic} = a \sigma_y^{1/2} f^{-1/4} \quad (18)$$

로 나타낼 수 있다고 하였다. 여기서, σ_y 는 항복응력을 나타내고, E 는 탄성계수, d 와 f 는 각각 개재물의 직경과 부피분율을 나타낸다.

결국 식(5)와 식(11)에서 나온 결정립 크기나 개재물의 분포와 Barkhausen noise와의 상관관계로부터 각각의 영향에 의한 파괴인성 값과 Barkhausen noise를 상호 연관시킬 수 있겠다.

2-4) 실험 방법 및 고찰

재료로 쓰인 초세립강과 SA508 cl.3의 조성은 표1에 나타낸바와 같다.

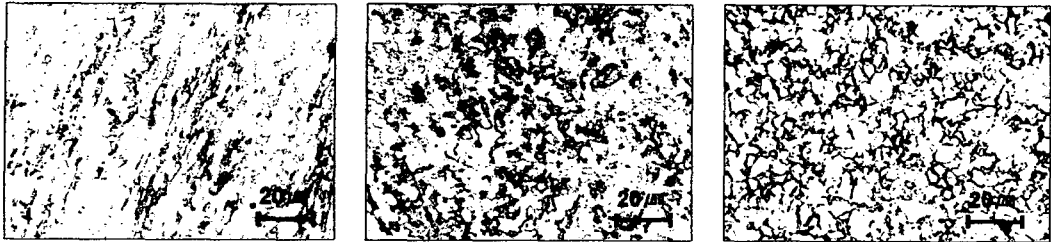
표 1 재료의 조성

	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	Ti	Nb	Fe
초세립강	0.1	1.5	-	-	0.26	-	-	-	-	-	-	0.16	0.046	Bal.
SA508 cl.3	0.21	1.36	0.007	0.002	0.24	0.92	0.21	0.49	0.005	0.03	0.022	-	-	Bal.

표 2 초세립강 2차압연 온도별 조직분포

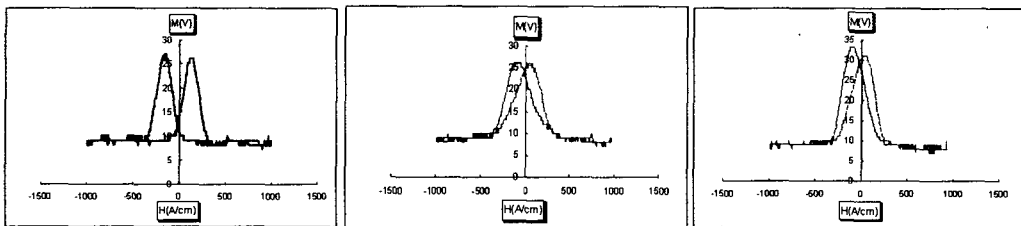
	결정립 크기(μm)	Ferrite 분율(%)
SR9070905	2.5	85
SR9070901	4.6	72
SR9051804	6	82

초세립강의 경우 2차 압연후 각각의 압연온도에 따른 시편 종류별 결정립 크기와 ferrite(α) 분율을 표2에 나타내었다. 그리고, 각각을 질산3%의 Nital용액으로 etching후 찍은 광학현미경 사진을 그림4에 나타내었다. 그리고, 이 각각에 대한 인가 자화량에 대한 자화곡선을 그림5에 나타내었다. 이때 자화 진폭은 포화자화가 일어난 후 50A/cm로 정하였으며, 주파수는 10Hz로 하였다. 그리고, gain은 40으로 하였다.



(a) (b) (c)

그림4 광학현미경으로 본 초세립강의 조직
(a) SR9070905 (b) SR9051804 (c) SR9070901



(a) (b) (c)

그림5 초세립강의 자화곡선
(a) SR9070905 (b) SR9051804 (c) SR9070901

그림5에서 M_{max} 를 나타내는 H가 보자력 H_c 를 나타내며, 이러한 H_c 에 대한 결정립 크기와 의 관계를 그림6에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 H_c 에 대한 결정립 크기의 역수는 거의 직선관계를 가지고 있으므로, 이러한 관계는 식(2)에 나타난 바와 같다. 그리고, Barkhausen noise(rms)와 결정립 크기의 역수와의 관계도 그림7에서 보는 바와 같이 거의 직선의 관계를 가지고 있다.

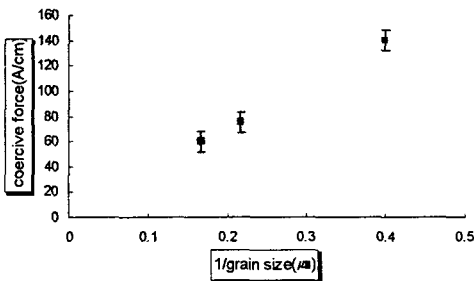


그림 6 초세립강의 결정립 크기와 H_c 의 관계

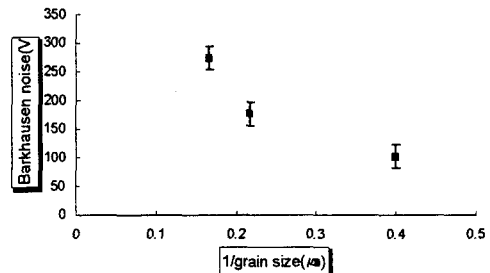


그림 7 초세립강의 결정립 크기와 BN의 관계

이러한 경향으로 보았을 때, 초세립강의 경우 ferrite기지상에 존재하는 cementite상의 존재량

이 매우 적고 면적분율의 차이가 거의 없기 때문에(표2) 비자성 개재물에 의한 자구벽의 pinning 현상은 거의 차이가 나지 않는다고 볼 수 있고, 기존의 연구내용에서 볼 수 있는 바와 같이 ferrite내부의 탄소에 의한 pinning효과의 차이가 거의 없기 때문에 보자력과 Barkhausen noise에 의해 나타나는 자구벽 이동의 변화는 결정입계에 의해 지배적으로 나타난다고 볼 수 있을 것이다. 그러나, SR9070901의 경우는 Barkhausen noise가 약간증가하는 경향이 나타나는데, 이러한 이유는 Barkhausen noise의 형성에 표2에서 나타난 바와 같이 SR9070901의 경우 ferrite이외의 cementite상의 분율이 더욱 많기 때문에 pinning효과에 의한 Barkhausen noise의 감소현상을 설명할 수 있으며, 이로부터 Barkhausen noise가 결정립 크기와 비자성 개재물에 의해 동시에 영향을 받는다고 할 수 있을 것이다.

SA508 cl.3의 경우 결정립크기와 개재물의 크기나 면적비율과 같은 미세조직의 변화를 주기 위해서 normalizing과 tempering 전처리후 Ar분위기에서 austenizing 온도를 880℃에서 1200℃까지 40℃씩 온도구배를 주면서 열처리의 변화를 시행하고, Ar분위기에서 655℃에서 10시간 동안 tempering을 하여 시편을 준비하였다. 이러한 열처리 후 각각의 austenizing 온도변화에 따른 결정립 크기를 그림8에 나타내었다. 그리고, 880, 960, 1080, 1200℃에서의 Barkhausen noise의 peak를 그림9에 나타내었다. 이때 인가 자기장은 AC-0.32V의 Edge mode의 파형을 가해주었으며, gain은 20으로 하였다. 각각의 온도에서의 peak의 분포가 austenizing온도가 커질수록 peak들의 진폭이 커짐을 알 수 있다.

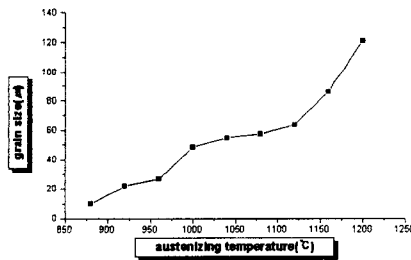


그림 8 austenizing온도변화에 따른 결정립 크기의 변화

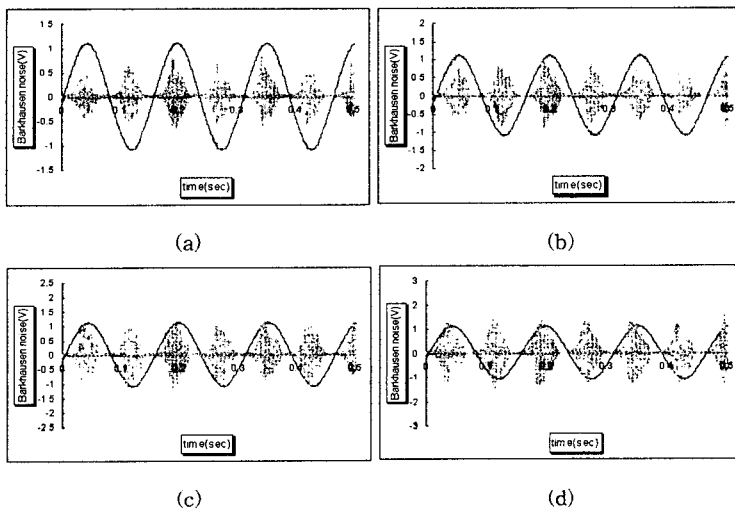


그림9 austenizing 온도변화에 따른 Barkhausen noise의 변화

(a) 880℃ (b) 960℃ (c) 1080℃ (d)1200℃ (— : applied magnetic field, . . . : Barkhausen noise)

이러한 각각의 온도에 대하여 결정립 크기의 역수에 의한 보자력의 크기를 구해보았다.(그림 10) 이 때 인가 자기장의 진폭은 50A/cm로 하였고, 주파수는 5, 8, 10, 15Hz로 가해주었으며, 8Hz의 경우에는 인가 자기장을 AC-0.32V의 Edge mode로 하였고, gain은 20으로 하였다. 그리고, 나머지의 경우에는 인가자기장 AC-0.28V Edge mode, gain은 10으로 하였다. 그림11에는 결정립 크기의 역수와 Barkhausen noise와의 관계를 나타내었다.

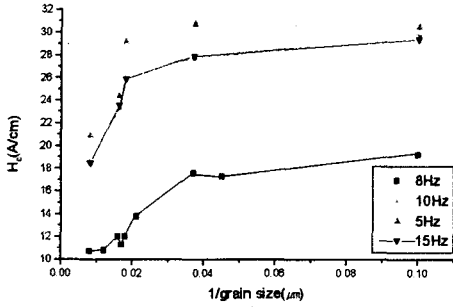


그림 10 SA508의 결정립크기와 H_c의 관계

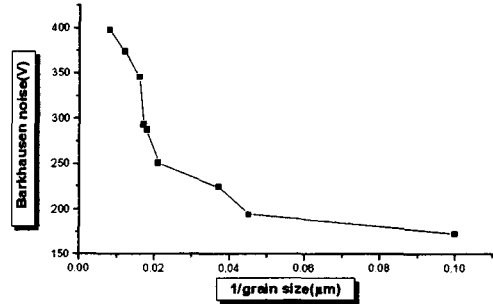


그림 11 SA508의 BN와 결정립 크기의 관계

그림10, 11에 나타난 바와 같이 결정립이 커질수록 보자력의 감소와 Barkhausen noise가 증가하는 경향을 나타내게된다. 이는 austenizing 온도의 상승에 따라서 결정립의 증가에 따라 결정입계의 pinning 효과 감소와 함께 그림12에 나타난 바와 같이 결정립 크기가 증가함에 따라 경화능이 증가하여 재료내부의 냉각속도가 증가하게 되어 upper bainite보다는 lower bainite가 생성되므로, 이에 따른 bainite조직의 미세화가 일어나게 되어 불과 최대7%의 cementite의 면적분율의 차이에서 cementite입자수의 증가에 따른 입자크기의 감소에 의하여 나타난다고 할 수 있겠다. 그러나, 이러한 cementite 입자수는 그림12, 13에 나타난 바와 같이 1040℃이상에서 감소가 나타남에 의해 그림10, 11에서와 같은 보자력의 급격한 감소와 Barkhausen noise의 급격한 증가 현상이 나타나게 된다.

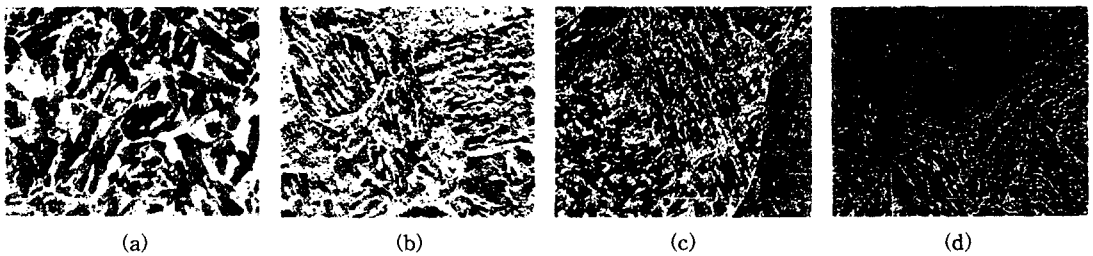


그림12 austenizing 온도에 따른 bainite조직의 변화(SEM)
(a)880℃ (b)960℃ (c)1040℃ (d)1120℃

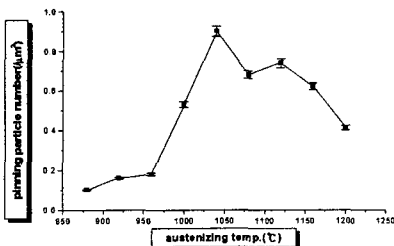


그림13 austenizing 온도에 따른 cementite 입자수의 변화

이러한 초세립강과 SA508 cl.3에서의 보자력과 Barkhausen noise의 관계를 그림14에 나타내었다.

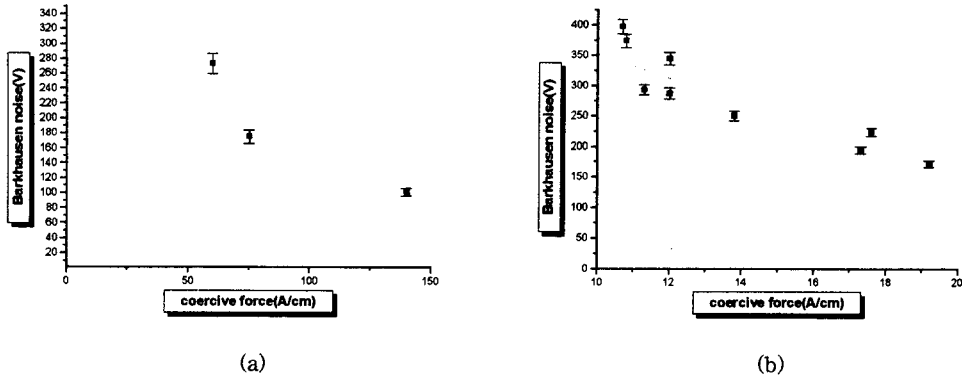


그림14 (a)초세립강과 (b)SA508 cl.3의 보자력과 Barkhausen noise의 상관관계

그림14로부터 앞선 Barkhausen noise와 보자력간의 상관관계를 이용한 정량화된 modeling(식(5))이 일치함을 알 수 있다.

그리고, 파괴인성 실험을 위해서 75K 액체질소 온도에서의 3축 굽힘 실험을 시행하였다. 시험방법은 ASTM E399의 방법을 따랐으며, W=10mm, B=10mm, 4.5mm<a<5.5mm의 시편에서 행하였다. 이에 따른 결정립 크기에 대한 파괴인성값은 그림15과 같이 나왔으며, 위의 결정립 크기를 매개변수로 한 파괴인성과 Barkhausen noise의 경향성을 나타내는 그래프와 실험결과로부터 나온 각각의 Barkhausen noise에 대한 파괴인성값의 그래프를 그림16에 나타내었다. 파괴인성값이 결정립 크기가 감소함에 따라 증가함을 알 수 있다. 그리고, 그림16에 나타난 바와 같이 결정립 크기만을 고려한 파괴인성의 경향과 실제 실험으로부터 구한 data가 서로 잘 일치하는 것으로 보아 파괴인성의 cementite의 면적분율에 의한 경향성의 변화는(식18) 880℃~1200℃사이에서 불과 7%이내의 변화로서 뚜렷이 나타나지 않음으로 알 수 있고, 이로부터 앞의 BN과 결정립과의 관계(식(5))와 결정립 크기와 파괴인성과의 관계(식(16))로부터 나온 BN과 K_{Ic} 와의 modeling이 실험결과와 일치함을 알 수 있다.

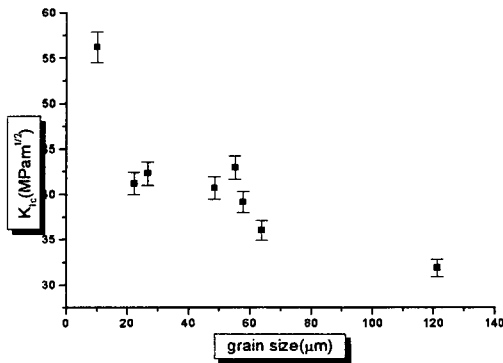


그림 15 결정립 크기와 K_{Ic} 의 상관관계

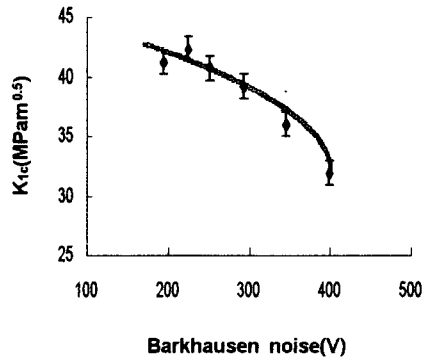


그림16 K_{Ic} 와 BN의 상관관계

3. 결 론

지금까지의 modeling과 실험결과에 대한 고찰로부터 우리는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

강자성체에 있어서 외부로부터 하중이 가해지지 않고 있는 경우 인가 자장에 의한 자화과정 중 자구벽 이동의 pinning효과를 발생시킬 수 있는 결정입계나 cementite와 같은 비자성 개재물과 같은 미세조직의 영향을 이용하여 Barkhausen noise로부터 재료내부의 미세조직을 분석할 수 있고, 이러한 과정에서 아래의 식과 같이 Barkhausen noise와 보자력과의 상관관계를 이용하여 Barkhausen noise를 정량화하여 비파괴적인 방법으로 미세조직을 정량적으로 분석할 수 있는 기초를 마련하였다고 할 수 있으며,

$$V(t) = 2I_p C * \cos\theta(H - H_c)$$

이러한 미세조직과 Barkhausen noise의 정량적 관계로부터 미세조직과 파괴특성중의 하나인 파괴인성과의 연관성을 고려하여 Barkhausen noise를 통하여 파괴인성의 경향성을 평가함으로써 재료의 파괴특성을 in-situ하고, 정량적인 비파괴 방법으로 평가하는 기법에 있어서의 가능성을 제시하였다고 할 수 있을 것이다.

그리고, 앞으로 이러한 비파괴 평가방법으로의 재료물성 평가의 정량적인 기법에 있어서 parameter의 구체화와 data base의 형성을 통하여 보다 정확하고 신뢰성 있는 비파괴 평가방법이 개발되어야 한다고 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] Tebble R. S., Skidmore I. C., Corner W. D.: *Proc. Phys. Soc. A*, **63**, 739, 1950
- [2] Shilling J. W., Houze G. L. Jr.: *IEEE Trans. Magn.* **MAG-6**, 195, 1974
- [3] Mager A.: *Ann. Phys. (Leipzig)* **6F.11**, 15, 1952
- [4] Yu R. H., Basu S., Zhang Y., Parvizi-Majidi, Xiao John Q.: *J. Appl. Phys.* **85**, 6655, 1999
- [5] Ranjan R., David C. Jiles, Rastogi P. K.: *IEEE Trans. Magn.* **MAG-23**, 1869, 1987
- [6] Wörner C. H., Valdes J. E.: *J. Appl. Phys.* **63**, 4324, 1999
- [7] Kittel C.: *Rev. Mod. Phys.* **21**, 541, 1949
- [8] Kim H. C., Hwang D. G., Choi B. K.: *J. Phys. D*, **21**, 168, 1988
- [9] Stonesifer F. R., Armstrong R. W.: *in Advances in Research on the Strength and Fracture of Materials*, D.M.R. Taplin, ed., Pergamon Press, New York, NY, 1978
- [10] Hahn G. T., Rosenfield A. R.: *Met. Trans. A*, **6A**, 653, 1975