論文 한국정밀공학회지 제6권 제4호 1989. 12
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 6, No 4 December 1989

냉간압연강판의 자기 및 기계적특성에 관한 실험적연구

김 청균,* 김 종억*

Experimental Study on the Magnetic and Mechanical Properties in a Cold Rolled Steel

Chung Kyun Kim,* Chong-Eok Kim*

Abstract

The effects of annealing temperature on the magnetic properties (maximum permeability, coercive force and remanence) and mechanical properties (hardness, tensile strength and elongation at rupture) were analyzed using the nondestructive impulsive magnetic analyzer in a medium carbon cold rolled steel sheet. This nondestructive method was very useful for the analysis of magnetic and mechanical properties of materials. As it was known in the literature, the three distinct processes that indicate the recovery, recrystallization, and grain growth of a metal were measured with the non-destructive analyzer.

* 홍익대학교 공과대학 기계공학과

1. 서 론

전통적으로 압연강판을 많이 사용해온 조선, 자동차, 보일러 산업뿐만 아니라 여타 기계제작 분야에서 압연강판의 이용도가 크게 증가되면서 재질의 기계적 특성 파악이 대단히 중시되고 있다. 날로 작업환경이 나빠지면서 특히 강판을 온도의 변화가 큰 곳에서 사용되는 경우가 많아지고 있고 제품의 관리 및 보수 측면에서 많은 문제점이 노출되고 있기 때문에, 이에 대한 연구를 많이 필요로 하고 있다. 냉간 압연판의 기계적 특성에 영향을 줄 수 있는 요소로 입자수가 있는데, 이것은 가열시의 온도, 시간 등에 의하여 결정된다[1]. 또한 재질의 자기특성에 관련된 연구[2~6]는 많이 수행되어 왔으나, 재질의 기계적 특성에 관련시켜 진행된 연구는 거의 없다.

재질의 기계적 특성을 알기 위하여 주로 경도계, 만능시험기 등과 같은 파괴 방식의 시험기를 사용해왔기 때문에 많은 시간과 노력, 그리고 많은 인원을 필요로 하는 어려운 점이 있었다. 그러나 본 연구에서는 재질의 기계적 성질을 파악하기 위하여 사용하기 간편한 비파괴 방식의 충격자기식 시험기[7, 8]를 사용하였다. 이 비파괴 방식의 시험기는 생산공정중에 있는 제품에 대하여 융통성있는 검사를 할 수 있고, 시험편 재질의 절약을 기할 수 있는 장점이 있기 때문에 최근 각광을 받기 시작한 재료시험기이다.

본 연구에서는 충격자기식 시험기(impulsive magnetic analyzer)를 사용하여 어니일링 온도가 중탄소 냉간 압연강판의 자기 및 기계적 특성에 미치는 영향을 해석하고자 한다.

2. 실험방법

실험에 사용된 재질은 중탄소 냉간 압연강판(medium carbon cold rolled steel sheet)으로 재질의 두께와 화학적 조성은 표 1에서 주어진다.

본 실험에서 재질의 기계적 특성을 파악하기 위하여 사용된 시험기는 충격자기식 시험기(Impulsive Magnetic Analyzer-4)로 그림 1에서 보여주고 있다. 이 시험기는 많은 시간과 노력, 그리고 인력을 요구하는 기존의 파괴방식에 의한 것이 아니고, 비파괴 자기방식을 채택하고 있는 새로운 방식으로 사용이 간편하고, 여러가지 기계적 특성을 측정할 수 있으며, 운반성이 좋은 첨단

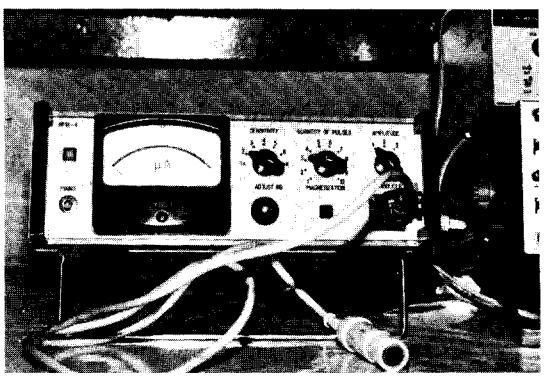

Fig. 1 Impulsive magnetic analyzer

Table1. Chemical composition of medium carbon cold rolled steel sheet

Specimen	Sheet thickness	Chemical compositions, %							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
A	1.5 mm	0.36	0.25	0.58	0.020	0.019	0.02	0.04	0.04
B	1.2 mm	0.47	0.24	0.67	0.016	0.029	0.06	0.06	0.15
C	1.6 mm	0.53	0.28	0.66	0.027	0.025	0.14	0.05	0.08

재료시험기이다. 시험방법은 자기철 프로브(ferromagnetic probe)축을 그림 2와 같이 시험편의 중앙에 수직이 되게 밀착시켜 잔류자기선이 대칭으로 형성되게 한다. 이때 솔레노이드를 통하여 흐르는 충격전류에 의하여 형성되는 충격자기장이 시험편에 잘 형성되도록 한 후 잔류자기장 세기를 측정하면 된다. 표준시험편은 200×200×t ㎜ 규격의 판(plate)형태로 잔류자기장이 시험편의 측면에 의한 영향(edge effect)을 받지 않을 정도의 크기로 제작되었다. 여기서 t는 표 1에서 주어지는 시험편의 두께를 나타낸다. 열처리 노에서 200~900℃에 걸쳐서 가열시킨후, 충격자기식 시험기를 이용하여 열처리 온도의 변화에 따른 자기 및 기계적 특성의 관계를 알아보았다.

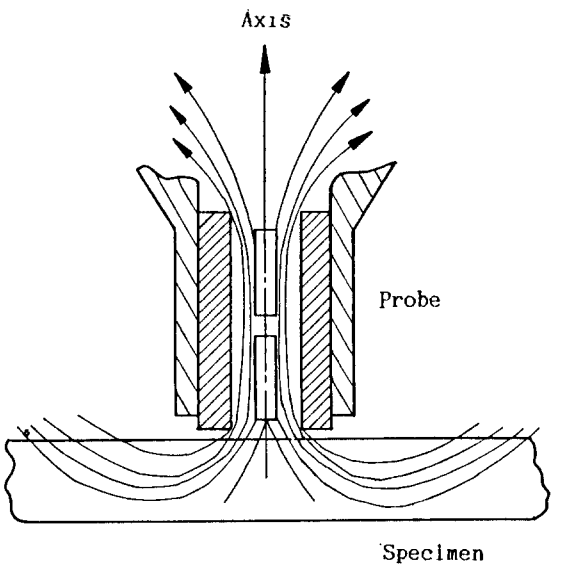

Fig. 2 Ferromagnetic probe

3. 실험결과 및 고찰

중탄소 냉간 압연강판에서 어니일링 온도가 잔류 자기장구배 세기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 충격자기식 시험기를 사용하여 얻어진 결과가 그림 3에서 주어지고 있다. 이들의 실험결과에 의하면 일반적으로 어니일링 온도의 증가는 잔류자기장 세기가 감소하는 경향으로 나타나고 있다. 특히 550~800℃ 부근을 중심으로 급격한 변화를 보여주고 있는데, 이것은 이 온도부근에서 재질의 재결정 현상이 일어나고 있기 때문에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 탄소 함유량이 높을수록 그리고 어니일링 온도가 낮을수록 자기장 세기가 크게 증가하고 있음을 알 수 있다.

그림4 에서 잔류 자기장 구배세기와 기계적 특성의 상호관계를 알아보기 위하여 시험편 A를 550~600℃ 까지 가열하였다. 실험결과에 의하면 잔류자기장 세기의 증가는 경도(HR_B) 및 인장강도 (σ_B)의 증가를 가져오나, 상대 연신율(δ_H)의 크기는 반대로 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 자기장의 세기가 17,000 A/m² 이상에서 기계적 특성의 변화는 크게 둔화되는 현상을 나타내고 있다. 이것은 온도의 변화가 재질의 결정구조를 변화시키고 있기 때문에 자기 및 기계적 특성에 영향을 주고 있다는 사실이다.

그림 5는 어니일링 온도가 시험편 A의 자기 및 기계적 특성에 미치는 영향을 보여주고 있는 것으로 400℃ 까지 가열시켜도 잔류 자속밀도(B_r), 최

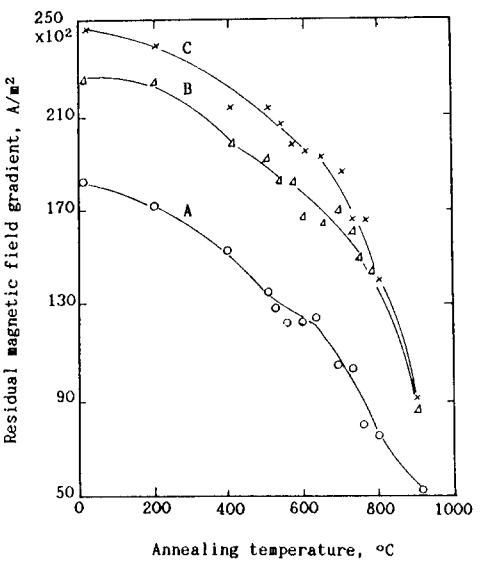

Fig. 3 Effect of the annealing temperature on the gradient of the residual magnetic field

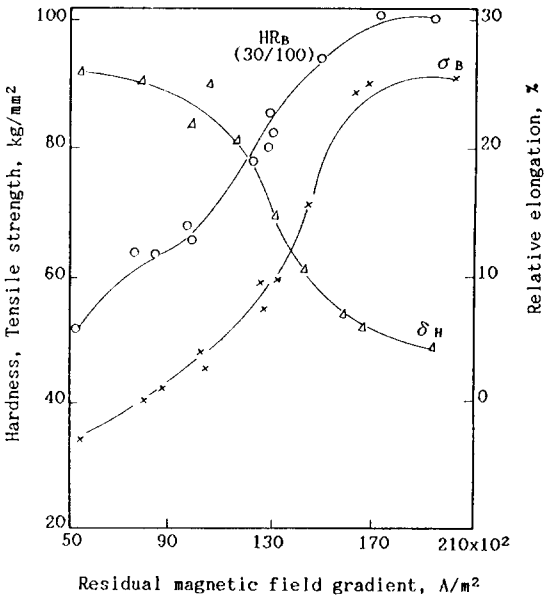

Fig. 4 Mechanical properties of specimen A as a function of the gradient of the residual magnetic field

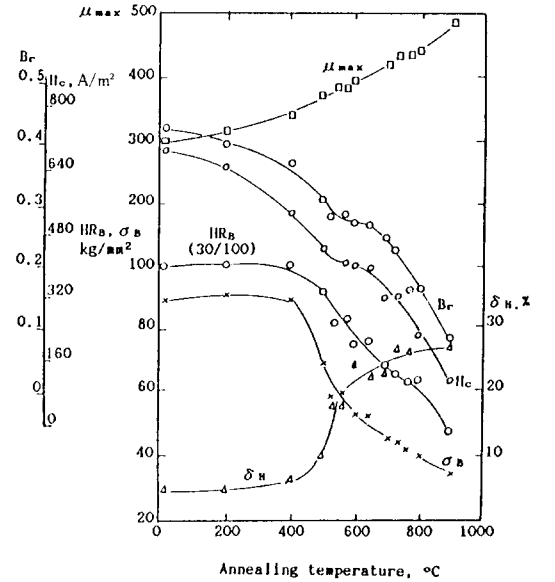

Fig. 5 Effect of annealing temperature of specimen A on the magnetic and mechanical properties

대 투자율(μ_{max}), 보자력(H_c), 경도(HR_B), 강도(σ_B) 및 연신율(δ_H)에 별다른 변화를 보이지 않는다. 이것은 400℃ 이하의 낮은 어니일링 온도에서는 재질의 구조적 변화가 극히 미비하게 일어나기 때문이다. 그러나 온도가 500℃ 이상으로 높아지면 자기적 특성뿐만 아니라 기계적 특성이 커다란 변화를 일으킨다. 즉 강도 및 경도, 그리고 잔류 자속밀도 및 보자력은 크게 감소하는 반면에 연신율은 크게 증가는 현상을 보여주고 있다. 그러나 800℃ 이상에서는 다시 완만한 변화를 하고 있다. 이 그림에서 자기적 특성을 나타내는 잔류 자속밀도와 보자력은 어니일링 온도가 증가함에 따라 최대 투자율과 반대되는 특성을 잘 보여주고 있다. 이와 같은 현상은 어니일링 과정에서 특징적으로 나타나는 회복(recovery), 재결정(recrystallization), 입자성장(grain growth)의 과정으로 설명될 수 있다. 상기의 실험결과는 비파괴 방식의 충격자기식 시험기를 이용하여 얻은 기계적 특성값으로 기존의 파괴방식을 이용하여 얻은 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

재질이 중탄소 (0.36~0.53%)를 함유하고 있는 냉간 압연강판의 특성을 알아보기 위하여 비파괴 방식의 충격자기식 시험기를 사용하였다. 이 시험기를 통하여 어니일링 온도의 변화에 따른 잔류 자기장 구배세기와 기계적 특성 변화의 관계를 파악하였다.

어니일링 온도의 증가는 자기적 특성을 나타내는 잔류자기장 구배세기는 감소하고, 기계적 특성을 나타내는 경도, 인장강도, 연신율은 회복구간을 나타내는 400℃ 이하에서 대단히 완만한 변화를 보이나, 550℃ 이상의 재결정 범위에서는 경도 및 인장강도가 급격히 감소하면서 연신율은 크게 증가되는 현상을 보여주고 있다.

參 考 文 獻

1. Gorjelik, S. S, "Recrystallization of Metal and Alloy," Moscow, pp. 568, 1978.
2. Takahash, M., Suzuki, T., and Miyazaki, T., J. Appl. Phys., Vol. 16, pp. 521, 1977.
3. Luborsky, F. E., IEEE Trans. on Magn., MAG-8, pp. 908, 1982.
4. Livingston, J. D., IEEE Trans. on Magn., MAG-20, pp. 1379, 1984.
5. 김윤배, 송세안, 임동묵, 김택기, "Alnico 5의 열처리에 따른 2상 분리조직과 자기특성," 대한금속학회지, 제 24권, 제 5호, pp. 588, 1986.
6. 최진학, 송진태, "Fe기 비정질 합금의 자기특성과 자구에 미치는 Nb첨가와 열처리 효과," 대한금속학회지, 제 25권, 제 2호, pp. 116, 1987.
7. Melguj, M. A. and Piunov, V. D., "The Effectiveness and Quality of Non-destructive Testing," Materials of the Fifth Bulgarian National Conference, Vol. 1, pp. 232, 1977.
8. Melguj, M. A., Maltsev, V. L., Piunov, V. D., and Taysetskij, I. A., "The IMA-4 Impulsive Magnetic Analyzer," Plenum Publishing Co., pp. 201, 1979.