

무방향성 전기 강판 철손의 자기 이력 손실과 와전류 손실에 미치는 SRA의 영향

Effect of SRA on Hysteresis and Eddy Current Components of Iron Loss in Non-Oriented Steels

송창열, 강이국, 신용덕

Song Chang-Yul, Kang Yi-Kug,
Shin Yong-Deok

원광대학교 전기공학과

Department of Electrical Engineering,
Wonkwang University.

Abstract

This paper focuses on results of relative permeability[μ_r], core loss[W] and magnetic induction[B] measurements on some of the most commonly used core materials(PN-18, 20, 30, 60, Pohang Iron & Steel Co., Ltd.) in case of Stress Relief Annealing(SRA).

Results of magnetic induction[B] showed weak variations but core loss reduced strongly after SRA.

Core loss reduced from 3.071~7.819[W/kg] and 1.377~3.988[W/kg] to 2.88~5.492[W/kg] and 1.213~2.134[W/kg] at 1.5[T] 50Hz and 1.0[T] 50Hz respectively after SRA.

This SRA process leads to significant changes in magnetic properties and core loss of non-oriented silicon steel sheet.

I. 서론

무방향성 전기 강판은 주로 회전기나 소형 변압기의 자심 재료로 사용되고 있는 연자성 재료이다. 그 일반적인 제조 공정은 그림 1과 같다.^{[1], [2]}

제강 공정에서 규소를 주입시키며 약 1200°C에서 분괴하여 쇳덩어리를 납작하게 한 다음 800~900°C로 열간 압연을 한다. 그 다음 규소 강판을 산으로 깨끗하게 세척하고 상온에서 냉간 압연한다. 이를 20% 수소와 80% 질소 분위기에서 900°C로 소둔(Annealing)하여 무방향성 규소강판을 제조한다.

재료의 특성에 영향을 주는 파라메타로는 규소 함유량, 소둔(Annealing) 방법 등이 있으며 강판의 두께 및 결정립의 크기 등이 또한 철손에 민감한 변수 등이다.

넓은 주파수 영역을 갖는 변압기나 고속용 Motor의 Core 재료로 사용되는 전기 강판은 철손(w) 및 소음 등이 적어야 하고 자기적 특성(투자율 μ , 자기 유도[B])이 우수해야 한다. 이로 인해 전기기기의 고응답, 고효율 및 소형화를 이룰 수 있다.

따라서, 본 연구는 포항 제철의 무방향성 전기 강판 PN-18, 20, 30, 60(규소 함유량이 각각 2.1, 1.4, 1.4, 0.4%) 등에 SRA의 열처리를 하였을 때, 철손[W, 투자율 μ] 및 자기 유도[B] 등의 자기적 특성 변화를 Watt-Arm-VoltMeter 방법과 25-cm Epstein Test Frame^{[3],[4]}을 이용하여 실험조사하였다. 그리고, 이 data를 SRA의 열처리 전 data와 비교하였다.

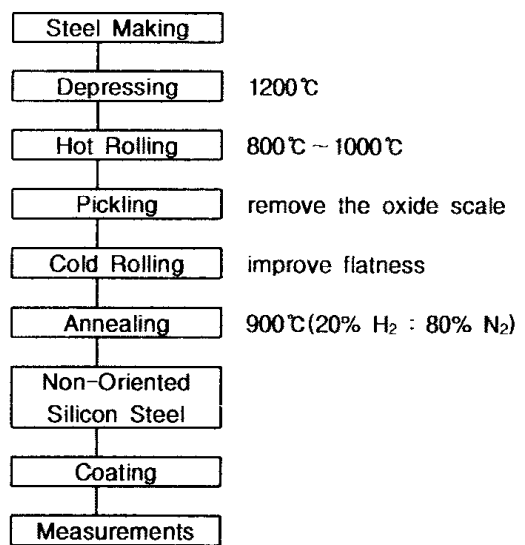


Fig. 1. Processing diagram of Non-Oriented Silicon Steel Sheet

II. 실험

규소(Si) 함유량이 2.1%(PN-18), 1.4%(PN-20), 1.4%(PN-30) 및 0.4%(PN-60)인 4개의 무방향성 규소 강판(두께: 0.5mm, 28×305mm)을 rolling 방향으로 0° 와 90° 로 각각 절단하였다.

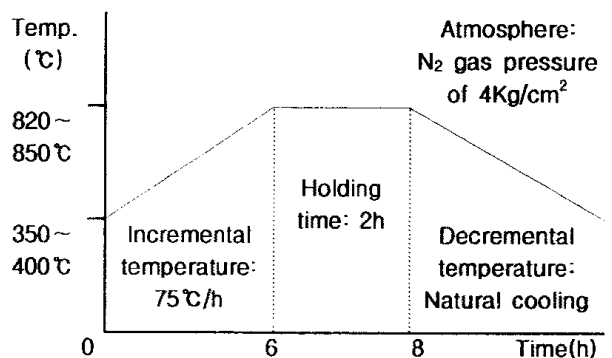


Fig. 2. Process of Stress Relief Annealing(SRA)

이 시편들을 그림 2와 같이 초기 SRA 온도 350~400°C에서 75°C/h로 6시간 상승시켜 820~850°C(N₂ gas, 4[Kg/cm²])

에서 2시간 유지하고 자연 냉각시킨다.

철손 [W], 투자율 [μ] 및 자기 유도 [B] 등의 자기적 특성 측정은 각각 Epstein Frame Core Loss Tester, B-H loop Tester(DONART, Electronic Inc, USA)를 이용하였고 그 결과를 SRA의 열처리 전의 것과 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

규소 강판의 자기적인 성질에 영향을 끼치는 인자는 성분 (composition), 내부응력(internal stress) 및 방향성(orientation) 등이다. 특히, 내부응력은 투자율(μ), 보자력(H_c), 자기이력 손실[W]에 나쁜 영향을 준다. 내부응력이 생기는 원인은 결정 격자에서의 뒤틀림을 일으키는 불순물이 소둔 과정에서 완전 제거되지 않거나 소둔 온도에서 너무 빨리 냉각시킬 때 압연 과정에서 일어나는 기계적 응력 때문이다.

내부응력을 줄이려면 carbon, nitrogen, sulphur, oxygen 등의 불순물을 최소한 줄이고 높은 온도에서 소둔 냉각하거나 소둔 온도로부터 서서히 냉각시킬 필요가 있다.

규소강의 철손은 hysteresis 손실과 와전류 손실로 나눌 수 있다. hysteresis 손실은 결정 방위, 강판 순도 및 내부 Strain에 의존하고 와전류 손실은 고유 저항, 판 두께 및 자구의 크기에 의존한다. 만약에 결정립이 크면 hysteresis 손실은 감소하지만 와전류 손실은 커져서 전체적으로 철손이 증가한다. 또, 배향성과 결정립의 크기가 같을 때 판 두께를 얇게 할수록 와전류 손실은 감소하지만 hysteresis 손실은 크게 되어 철손이 증대한다.

따라서 본 연구에서는 철손을 줄이고 자기적 특성을 향상시키기 위한 방법으로 규소 강판을 고온에서 SRA의 열처리를 하여 내부응력을 줄이고자 하였다.

그 결과는 표 1의 (a), (b)와 같다. 그림 3은 각 시편의 SRA 후의 철손의 변화를 나타낸 것이다. 규소 함유량이 감소할수록 SRA 후 철손의 감소량이 현저히 높아지고 있다. 그 변화율은 표 2와 같다. SRA 후의 1.0T/50Hz에서의 철손 감소율이 SRA 후의 1.5T/50Hz에서의 감소율보다 크다. 그림 4와 5는 각 시편의 SRA 후의 Hysteresis loss 와 Eddy current loss의 변화이다. 표 2에서 Hysteresis loss 는 SRA 후 철손의 변화와 상응하지만 Eddy current loss의 변화는 상응하지 않는다.

이와 같은 결과에서, 시편의 SRA 후 Eddy current loss 가 증가하는 이유는 사진 1, 2 [금속현미경 GENAVERT 독일 $\times 100$ 배]에 나타난 바와 같이 전 sample의 grain이 성장되었고 특히 규소함유량이 적은 sample일수록 SRA 후의 grain 크기가 현저히 성장되었기 때문이고, Hysteresis loss가 감소하는 것은 SRA 과정에서 탄소가 제거되기 때문인 것을 확인할 수 있다.

결과적으로 SRA 후의 철손은 감소한다. 그리고, 규소 함유량이 1.4%로 같은 PN-30의 철손이 PN-20보다 더 감소하는 이유는 carbon, nitrogen, sulphur 및 oxygen 등의 불순물이 소둔 과정에서 더 많이 감소하기 때문이다.

또한, 그림 6과 7에 나타난 바와 같이 SRA 후의 투자율은 증가 경향을 보인다. 특히 1.0T/50Hz에서의 투자율은 매우 큰 변화를 보이지만 자기 유도는 다소 감소하는 경향을 보인다.

IV. 결 론

전기용품의 자성 재료로 가장 많이 사용되고 있는 무방향성 전기 강판 PN-18, 20, 30, 60(Pohang Iron & Steel Co., Ltd) 등에 SRA(Stress Relief Annealing)의 열처리(초기 SRA 온도 350~400°C에서 75°C/h로 6시간 상승시켜 820~850°C(N_2 gas, 4[Kg/cm²])에서 2시간 유지하고 자연 냉각시킨다)를 하였을 때, 철손[W], 투자율[μ] 및 자기 유도[B] 등의 자기적 특성 변화를 실험하였다.

[1] 규소(Si) 함유량이 2.1%(PN-18), 1.4%(PN-20), 1.4%(PN-30) 및 0.4%(PN-60)인 4개의 무방향성 규소 강판의 규소 함유량이 작을수록 SRA 후 철손의 감소량이 현저히 높아지고 있다.

[2] 소둔 후의 철손은 1.5[T] 50Hz와 1.0[T] 50Hz에서 각각 3.071~7.819[W/kg]이 2.88~5.492[W/kg]으로, 1.377~3.988[W/kg]이 1.213~2.134[W/kg]로 현저히 감소한다.

[3] Hysteresis loss는 SRA 후 철손의 변화와 상응하지만 Eddy current loss의 변화는 상응하지 않는다.

따라서, SRA의 열처리는 무방향성 전기 강판의 철손 및 자기적 특성에 중요한 변화를 일으키고 있으므로 소형 변압기, 소형 모터와 같은 전기용품의 자성 재료로 고성능 및 소형화에 적합할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] B. D. CULLITY : A Introduction to magnetic materials, Addison-Wesley publishing Company, Inc, p. 510-525, 1972
- [2] T. Shimazu, M. Shiozaki and K. Kawasaki : Effect of temper rolling on texture formation of semi-processed non-oriented steel, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 133, pp 147-149, 1994
- [3] Standard Test Method for Alternating Current Magnetic properties of Materials at power Frequencies using Wattmeter-Ammeter-Voltmeter Method and 25-cm Epstein Test Frame, ASTM, part 44 A343-69, 46 60, 1976
- [4] Frantisek Rosypal : Decarburization annealing of grain-oriented silicon steel with AlN as inhibitor, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 133, pp.220-222, 1994

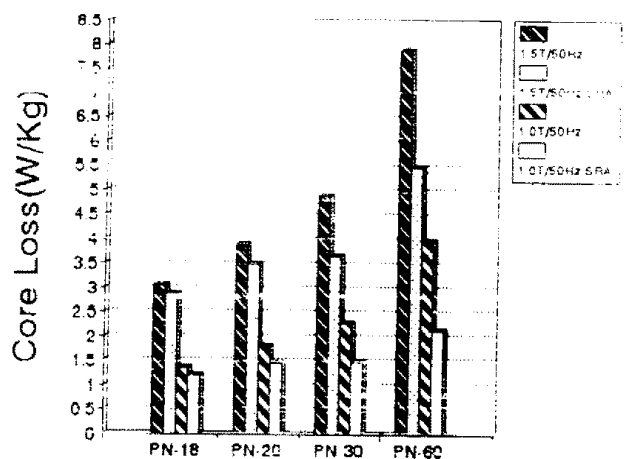


Fig. 3. The variations of Core loss of Non-Oriented Silicon Steel Sheet after SRA

Table 1 (a). Properties of non-oriented silicon steel sheet

Properties	Core Loss(W/Kg)				Hysteresis Loss(w/Kg)				Eddy Currents Loss(W/Kg)			
	1.5T/ 50Hz	1.5T/ 50Hz .SRA	1.0T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz .SRA	1.5T/ 50Hz	1.5T/ 50Hz .SRA	1.0T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz .SRA	1.5T/ 50Hz	1.5T/ 50Hz .SRA	1.0T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz .SRA
Specimens												
PN-18	3.071	2.880	1.377	1.213	1.6904	1.5473	1.2391	0.6290	1.3806	1.3327	0.1379	0.584
PN-20	3.903	3.483	1.801	1.471	2.700	1.9150	1.6389	0.8281	1.203	1.568	0.1621	0.6429
PN-30	4.902	3.675	2.301	1.491	3.5776	2.4756	1.9559	0.6847	1.3244	1.1994	0.3451	0.8063
PN-60	7.891	5.492	3.998	2.134	5.7781	3.8770	3.3983	0.9393	2.1129	1.615	0.5997	1.1947

Table 1 (b). Properties of non-oriented silicon steel sheet

Properties	Magnetic Induction(T)				Relative Permeability(x1,000)			
	5,000A T/m	5,000A T/m .SRA	1,000 AT/m	1,000 AT/m .SRA	1.5T/ 50Hz	1.5T/ 50Hz .SRA	1.0T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz .SRA
Specimens								
PN-18	1.713	1.704	1.530	1.531	1.624	1.829	7.330	11.795
PN-20	1.720	1.707	1.527	1.529	1.495	1.696	5.041	10.130
PN-30	1.720	1.688	1.534	1.515	1.565	1.452	4.402	9.768
PN-60	1.765	1.719	1.568	1.519	1.730	1.394	3.001	7.269

Table 2. Variations of decremental and incremental amounts of core loss, hysteresis loss and eddy current loss after SRA (Remarks: ▲: Incremental, ▼: Decremental)

Properties	Core Loss(%)		Hysteresis Loss(%)		Eddy Currents Loss(%)		Magnetic Induction(%)		Relative Permeability(%)		
	1.5T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz	1.5T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz	1.5T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz	5,000 AT/m	1,000 AT/m	1.5T/ 50Hz	1.0T/ 50Hz	
Non Oriented	PN-18	▼6.22	▼11.91	▼8.46	▼49.23	▼3.46	▲323.49	▼0.9	▲0.06	▲12.62	▲60.91
	PN-20	▼10.76	▼18.32	▼29.07	▼49.47	▲30.34	▲296.60	▼0.75	▲0.13	▲13.44	▲100.95
	PN-30	▼25.03	▼35.20	▼30.80	▼64.99	▼9.43	▲133.64	▼1.86	▼1.23	▼7.22	▲121.89
	PN-60	▼30.4	▼46.62	▼32.9	▼72.36	▼23.56	▲99.21	▼2.60	▼3.12	▼19.42	▲142.21

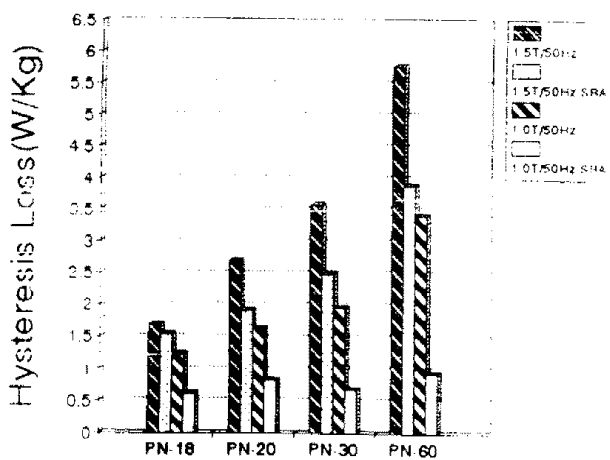


Fig. 4. The variations of Hysteresis loss of Non-Oriented Silicon Steel Sheet after SRA

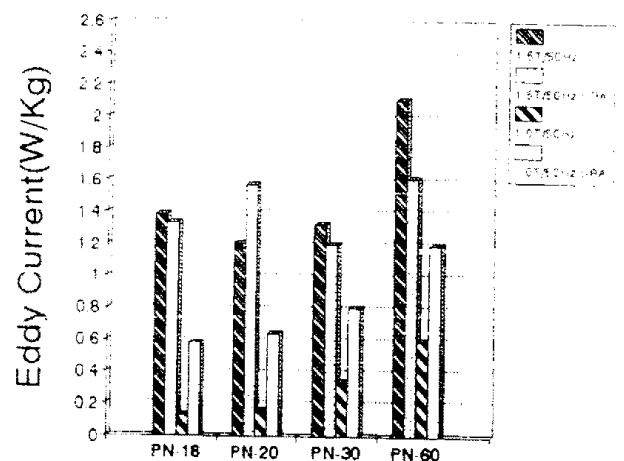


Fig. 5. The variations of Eddy current loss of Non-Oriented Silicon Steel Sheet after SRA

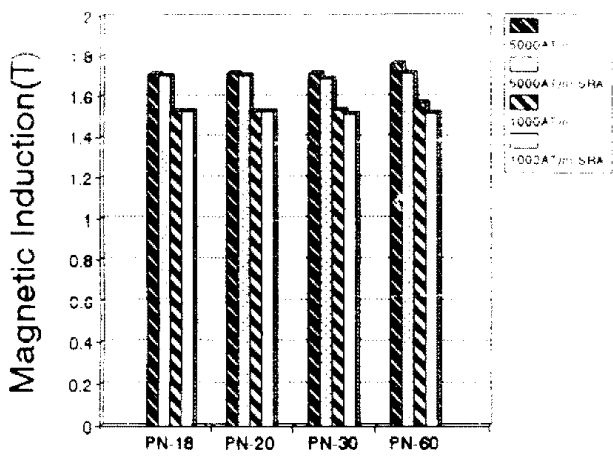


Fig. 6. The variations of Magnetic induction of Non-Oriented Silicon Steel Sheet after SRA

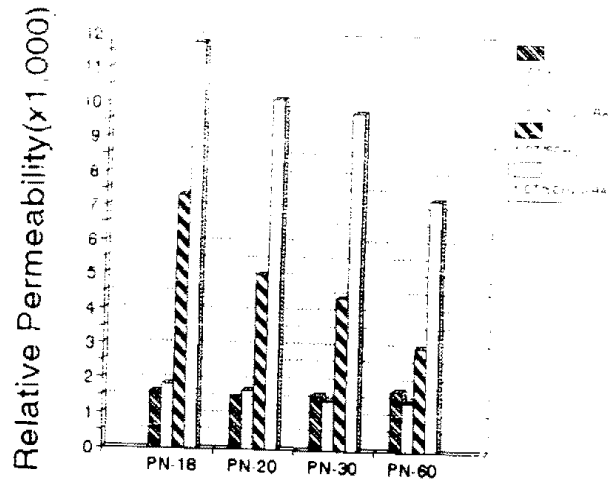


Fig. 7. The variations of Relative Permeability of Non-Oriented Silicon Steel Sheet after SRA



Photo. 1. Grain size of Non-Oriented Silicon Steel Sheet pre-SRA [$\times 100$]



Photo. 2. Grain size of Non-Oriented Silicon Steel Sheet after SRA [$\times 100$]