와전류 방식에 의한 금속변태율 측정에 관한 연구

°이 진 락, 백 기 남
산업과학기술연구소 제어연구부

A Study on the Measurement of the Transformation Fraction of Steel Using an Eddy Current Sensor

J.R. Lee, K.N. Peak
Control Research Department of RIST

Abstract

This paper is concerned on the measurment of transformation fraction of steel using an eddy current sensor. Four stainless duplex samples with different transformation fraction are made and electromagnetic characteristics of the samples are measured.

1. 서론

제철프로세스중 열간압연공정은 고온(약1200도)으로 가열된 슬라브(Slab)를 회전하는 롤(Roll)사이에서 압축력과 전후방 인장력을 가하여 소정의 두께로 압연하고 냉각시킨 뒤 권취하여 열연강판(Hot Coil)을 생산하는 공정이다. 즉, Fig.1 과 같이 가열로에서 슬라브가 가열되고, 조압연(Roughing Mill)에서 1차압연을 한뒤 사상압연(Finishing Mill)에서 최종두께로 압연을 하여 소정의 두께와 폭이 결정되고, 냉각설비를 거치면서 철 내부의 재질변화가 일어나서 권취설비에서 감겨 열연제품(Hot Coil)이 생산된다. 사상압연(Finishing Mill) 직후의 철은 그 결정구조(Phase)가 면심입방구조(FCC)인 Austenite(감마철)이고, 냉각이 끝난 뒤 권취직전의 철은 체심입방구조(BCC)인 Ferrite(알파철)인데 냉각도중의 철은 이 두 조직의 혼합상태로 존재한다. 철의 재질은 냉각도중의 냉각패턴에 크게 좌우되므로 냉각도중의 철 내부의 미세한 변태거동은 열간압연공정에서 제품의 품질에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 Fig. 1 에서와 같이 종래의 온도법과는 다른 와전류방식 변태율센서를 이용한 철의 냉각도중 변태거동측정을 위한 기초연구로 상온상에서의 금속의 상변태를 자기적인 특성변화로 검출하는 실험을 행하였다.

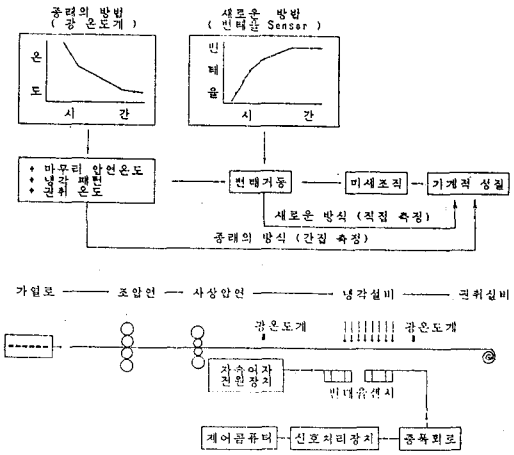

Fig.1 Control factors of mechanical property of hot rolled steel.

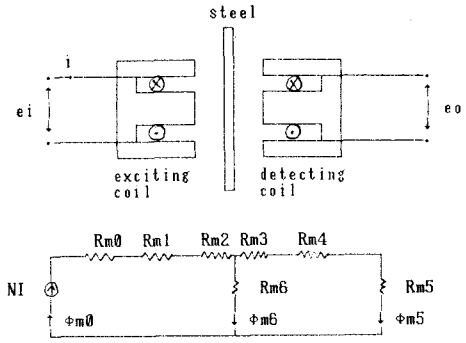

Fig.2 Figure of T/R sensor & magnetic analysis model

2. 본론

고온에서 철(Austenite)은 자기적성질(Magnetic property)이 paramagnetic 이고 상온에서의 철(Ferrite)은 ferromagnetic 이므로 본 연구에서는 Fig.2 와 같이 EE type ferrite core (상대투자율 μr= 5000, TDK H7C1)에 0.2 mm 동선을 200번씩 감아 여자코일(Exciting Coil) 에는 일정전류를 흘려주면서, 측정시편 반대쪽의 검출코일(Detecting Coil)의 유기전압을 측정하는 실험을 행하였다. 고온 냉각도중의 철의 조직과 유사 모델로써 stainless duplex 시편을 진공용해, 열간압연, 열처리, 냉간압연의 공정으로 자체제작하였다. 제작한 4가지 시편의 표면을 화학적으로 부식시킨 뒤 광학현미경으로 조직검사한 결과는 Fig.3 과 같다. 조직사진의 흰색부분은 FCC구조인 Austenite 이고, 갈색부분은 BCC 구조인 Ferrite 를 나타낸다.

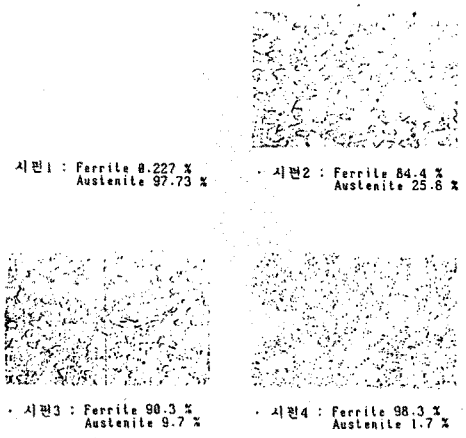

Fig.3 Microscopic photograph of samples

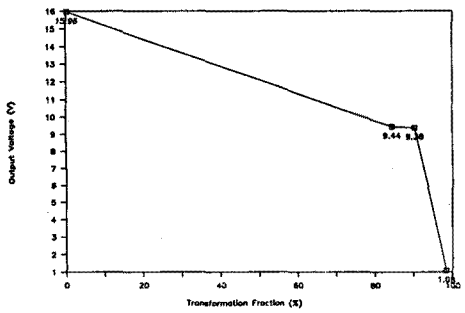

Fig.4 Characteristics of output voltage vs. transformation fraction.

Fig.4 는 변태율이 다른 4가지 시편에 대하여 Fig.2 와 같은 구조의 실험장치에서 여자코일에 500 mA 의 전류를 흘려주었을 때 검출코일에 유기된 전압의 크기를 측정비교한 결과이다. 이는 Fig.1 에서 측정시편을 통과하여 검출코일이 감긴 ferrite core 내부로 통과하는 자속의 크기를 나타낸다. 변태율이 증가할수록 측정전압의 크기는 감소하는 경향이지만 비선형의 특성을 나타내고 특히 변태율이 작을때보다 변태율 100 % 가까이 갈 때 급속히 감소하는 특성을 나타낸다. 이는 시편의 변태율이 증가하면 상대투자율이 증가하여 시편 통과 자로의 자기저항이 감소하고 따라서 시편통과 자속이 증가하고 상대적으로 검출코일을 통과하는 자속을 감소시킨 결과를 나타낸다. 그리고 전원주파수는 3KHz 를 공급하였는데 주파수 증가에 따라 표피효과(Skin Effect)현상이 일으나므로 검출감도와 표피효과를 고려한 최적주파수는 측정시편의 두께, 측정방식, 이격거리에 따라 계속적인 탐구가 필요하다. Fig. 5 는 검출코일과 시편과의 거리를 변화시켜가면서 측정한 유기전압과 누설자속을 무시한 이상적인 자기모델(Fig.1)을 이용하여 수치해석한 계산결과를 비교한 결과이다. 측정결과와 수치해석을 비교해보면 거리증가에 따른 출력전압의 감소경향은 비슷하지만 누설자속의 존재, 상대투자율의 정확성, 표피효과에 따른 시편통과자속의 유효단면적 등의 차이로 인해 계산오차가 존재한다.

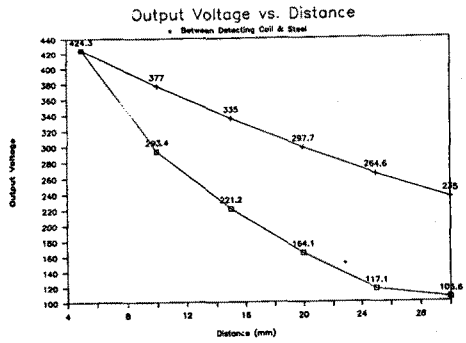

Fig.5 Characteristics of output voltage vs. distance between detecting coil & steel (□ experiment, + computer simulation)

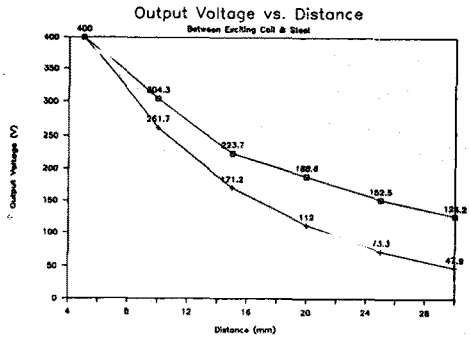

Fig.6 Characteristics of output voltage vs. distance between exciting coil & steel (□ experiment, + computer simulation)

Fig.6 는 여자코일과 시편과의 이격거리를 변화시킬때 측정결과와 계산결과를 비교한 그림이다. 이격거리 변화실험의 시편은 변태율이 98.3 % 인 시편을 사용하고 여자전류는 300 mA 를 흘려주었다.

3. 결론

본 연구에서는 상변태율이 다른 4가지의 stainless duplex 시편을 제작하고, EE type 의 측정구조 사이에 시편을 놓고, 여자코일에 일정전류를 흘려주면서 검출코일에 유기되는 전압을 측정비교하여 변태율의 증가에 따라 검출코일의 출력전압 경향이 비선형적으로 감소하는 특성을 도출하고, 시편과의 이격거리변화에 따른 측정값과 계산값을 비교해보았다. 변태율에 따른 출력전압 특성을 반복측정하여 측정데이타의 신뢰성을 높이면 측정전압으로 변태율을 추정할 수 있을 것이다. 앞으로 주파수변화에 따른 표피효과문제와 측정센서의 구조, 이격거리 변동과 온도변화에 따른 보상문제는 계속적인 연구가 요구된다.

4. 참고문헌

1)SISE'89, July 25-27, Matsuyama, pp 1033-1036
2)Tetsu to Hagane, '86, S1165-1167
3)Tetsu to Hagane, '86, S543