

자기유도법에 의한 합금강의 템퍼링 온도에 따른 기계적성질과 임피던스 특성과의 관계에 관한 연구

조경식* 장홍근* 이주석* 배종수*

A Study on the Relationship between Mechanical Property and Impedance Characteristics with respect to Tempering Temperature in Alloy Steels by Electromagnetic Method

K. S. Cho, H. K. Chang, J. S. Lee, J. S. Bae

Abstract Microstructure and mechanical properties of most steels change by heat treatment. Such variation of structure and properties of steel cause an impedance change on electromagnetic induction coil. The objective of this study is, by searching the relationship between the mechanical property or microstructural changes and impedance value of induction coil, to examine the applicability of a monitoring the heat treated condition of products nondestructively.

1. 서론

소재의 기계적 성질의 개선 또는 요구하는 기계적성질을 얻기 위하여 목적에 따라 여러가지의 열처리 방법이 적용되고 있다. 열처리하는 한가지 공정이 제품의 특성 및 품질을 크게 좌우하는 공정중의 하나로서 제품의 균일성을 확인하는 과정이 수반되어야 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 특히 동일제품이 대량으로 생산되는 체제에서는 품질관리 측면에서 생산 Lot나 Charge에 관계없이 제품의 균일성이 유지되는 것이 매우 중요하나 자동차나 항공기 부품과 같이 고도의 신뢰도가 요구되는 부품에 대해서는 전수검사의 필요성이 증대되고 있다.

열처리제품의 열처리상태를 검사하는 방법으로는 금속조직 검사나 경도 또는 인장시험 등과 같은 파괴시험법과 초음파 또는 와전류를 이용하는 비파괴시험법이 주로 이용되고 있다. 유럽 등지에서는

오래 전부터 수많은 부품들에 대하여 전자기유도 또는 와류탐상법을 이용하여 강종분류(sorting)나 열처리제품의 검사(monitring)를 수행하고 있을뿐 아니라 검사과정이나 결과판정이 자동화 되어 있으며 최근에 와서는 이 방법의 적용이 급증하고 있는 추세에 있다.¹⁾

본 연구에서는 기계구조용 부품 제조에 주로 사용되며 특수강 생산량의 50% 이상을 차지하는²⁾ 기계구조용 탄소강 및 합금강 중에서 3강종(AISI1-45, AISI 4130, AISI 4140)을 선택하여 열처리조건에 따른 기계적성질 및 금속조직의 변화와 전자기적 특성 변화와의 상호관계를 검토하였다.

2. 실험방법

실험순서를 모식적으로 나타내면 Fig.1과 같다.

* 한국기계연구소 비파괴시험연구실

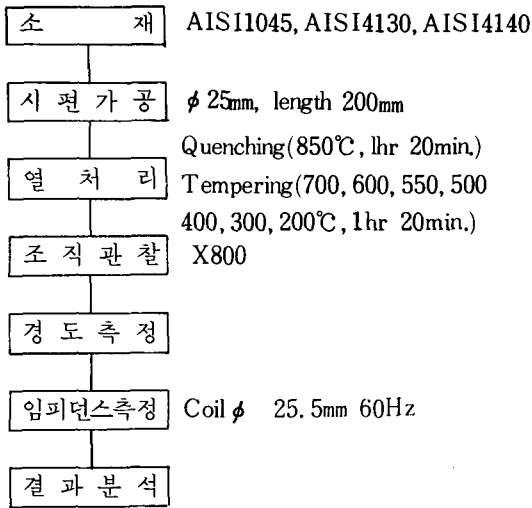


Fig. 1. Block diagram of experimental procedure

Fig. 1 Block diagram of experimental procedure

본 연구에서는 기계구조용 AISI 1045, AISI 4130, AISI 4140 3강종의 압연 환봉을 Fig. 2와 같이 φ 25mm, 길이 200mm로 선반가공후 기계적성질을 조정하기 위해 Quenching 및 Tempering처리를 하였다. 열처리 조건은 850°C에서 1시간 20분 가열후 AISI 11045는 Water quenching, AISI 4130 및 4140은 Oil quenching한 후 각각 700°C, 600°C, 550°C, 400°C, 300°C, 200°C에서 Tempering하였으며 표면 Scale을 제거하기 위해 산세하였다. 시편의 화학조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen (wt. %)

구분	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
AISI 1045	0.44	0.19	0.79	0.017	0.033	-	-
AISI 4130	0.34	0.20	0.77	0.011	0.013	0.96	0.17
AISI 4140	0.44	0.19	0.85	0.012	0.011	1.10	0.16

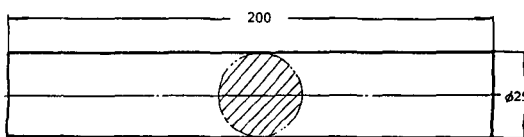


Fig. 2. Specimen for heat treatment

조직검사 및 경도측정은 열처리 시편의 끝에서 20mm를 절단하여 연마한 후 광학현미경으로 배율 X800으로 관찰하였고 경도는 Fig. 3과 같이 단면 외주에서 4mm위치에서 4개소를 측정하였다.

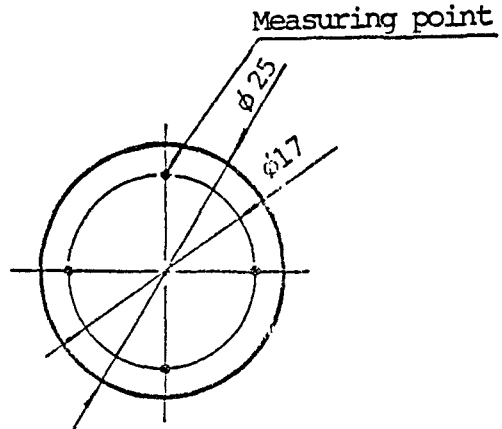


Fig. 3. Hardness measuring points of heat treated specimen

동일강종으로서 서로 열처리 조건이 다른 시편에 대하여 유도코일을 사용하여 임피던스의 상대적인 값을 측정하였으며, 사용주파수는 60Hz, Fill factor는 98%로 하였다. 임피던스 측정장치의 구성 및 임피던스 측정을 위한 시편의 Setting방법은 각각 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

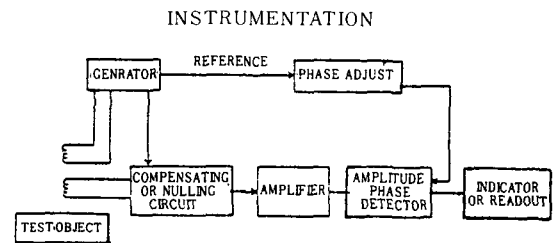


Fig. 4. Block diagram of Vitometer 5022

AISI4140 시편의 열처리 조건에 따른 현미경 조직사진을 Fig.7에 나타내었다.

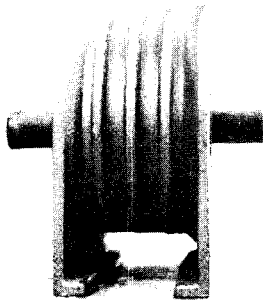


Fig. 5. Specimen alignment for a coil impedance measuring

3. 결과 및 고찰

3.1 경도측정 및 조직관찰

열처리한 시편의 경도측정 결과는 Table 2 및 Fig. 6과 같다.

Table 2. Result of hardness measurement of heat treated specimen(HB)

Q. T Specimen	Quenched	Tempered temperature						
		200℃	300℃	400℃	500℃	550℃	600℃	700℃
AISI1045	470	450	375	350	289	265	259	202
AISI4130	448	390	365	350	320	299	277	223
AISI4140	542	542	430	395	348	330	302	232

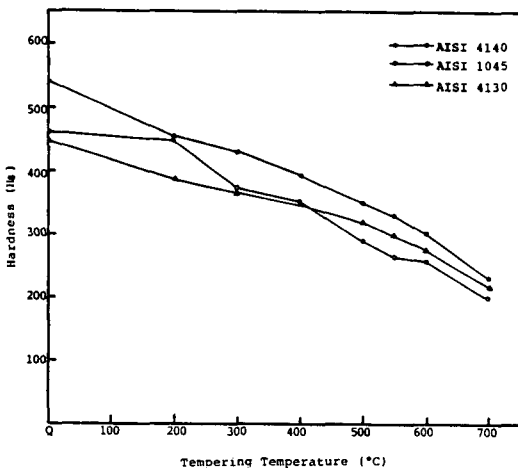
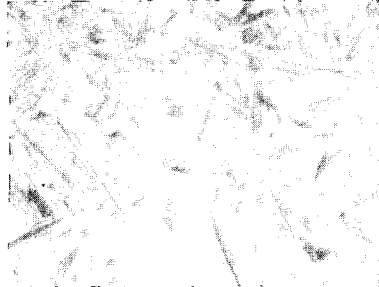
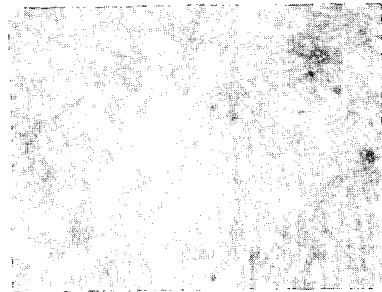


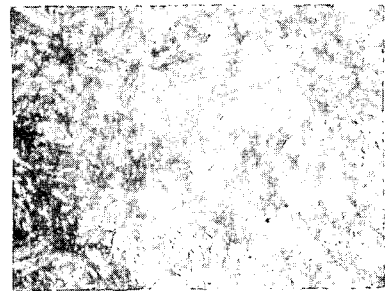
Fig. 6. Hardness- to- temperature of specimen



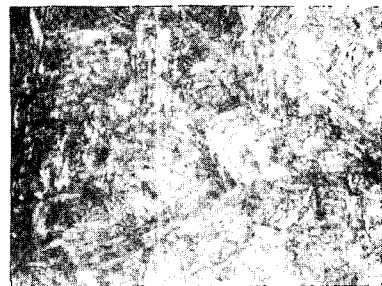
(1)



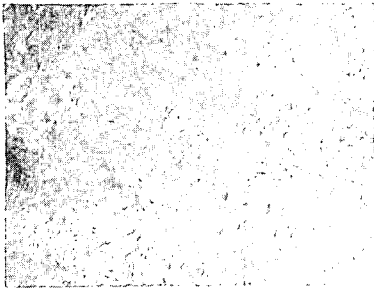
(2)



(3)



(4)



(5)

- (1) As quenched (Oil)
- (2) Tempered at 400°C (1.4hr)
- (3) " 500°C (")
- (4) " 600°C (")
- (5) " 700°C (")

Fig. 7. Microstructure of heat treated AISI 4140 specimen(X 800)

3.2 기계적성질과 코일 임피던스 변화와의 관계

Table3 및 Fig.8,9,10에는 시편의 강종 및 Tempering온도별 경도와 유도코일의 상대적인 임피던스 측정값을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 경도값은 Tempering온도가 증가함에 따라

났으나 AISI 1045와는 달리 임피던스의 증가추세는 700°C 근방에서 나타났다. 한편 Normalized 시편에서의 임피던스값을 강종별로 비교해 보면 AISI 1045의 경우가 가장 높고 AISI 4140의 경우가 가장 낮은 것으로 미루어 볼때 AISI 4130과 AISI 4140의 임피던스의 최소값은 700°C 보다 더 높은 온도일 것으로 추정된다.

임피던스 측정치의 Scattering은 AISI 1045, AISI 4130, AISI 4140의 순으로 감소하는 것을 그림에서 확실히 볼 수 있는데 이것은 세 강종의 경화능(Hardenability)의 순서와 동일하고 Normalized 시편에서의 임피던스의 값도 이와 동일한 경향을 보여 주고 있다.

이와같은 임피던스의 변화를 Tempering시의 조직변화와 관련지어 고찰해 보면 탄소강의 경우 보통 마르텐사이트 조직을 Tempering하는데 있어서의 조직변화 과정을 Fig. 11과 같이 4단계로 나누고 있다.³⁾ 여기서 이러한 조직의 변태 과정과 코일의 임피던스 측정결과를 비교해 보면 300°C 부근의 임피던스 변화는 카바이드의 석출이 완료된 후 조대화 및 회복이 일어나는 온도구간과 대체로 일치하고 있으며 AISI 1045 시편의 600°C 부근에서의 임피던스 변화는 재결정온도 구간과 일치함을 보여

Table 3. Relative coil impedance value on tempered AISI1045, AISI4130, AISI4140 specimen.

	Q	200°C	300°C	400°C	500°C	550°C	600°C	700 °C	N
AISI 1045	-4 ~ -2	-1 ~ 7	16 ~ 17.5	9.5 ~ 11.5	2 ~ 7	-4 ~ 2.5	-3 ~ -1	14 ~ 21	54 ~ 68
AISI 4130	-4 ~ -1	5 ~ 8.5	13.5 ~ 16	7 ~ 10	2.5 ~ 6	0 ~ 2	-4.5 ~ -1	-10 ~ -9	12 ~ 13
AISI 4140	-11.5 ~ -10	8.5 ~ 9	16 ~ 17	9 ~ 9.5	3.5 ~ 4.5	0 ~ 1.5	-3.5 ~ -1	-13.5 ~ -11.5	-9 ~ -8

점차 감소하고 있으나 코일의 임피던스값은 세 강종 모두가 Quenching에서 Tempering온도 300°C까지는 계속 증가하다가 300°C보다 높아지면서는 거의 직선적으로 감소하였으며 600°C 이상에서는 다시 증가하여 Normalized 상태에서 최대치를 보였다. AISI 4130 및 4140의 경우도 300°C 부근에서는 AISI 1045와 마찬가지로 임피던스의 최대값을 나타냈고 300°C 이상에서는 직선적인 감소를 나타

주었다. 이러한 현상은 조직의 변태에 따라 금속의 전자기적 특성이 급변한 것으로 보이며 저합금강(AISI 4130, 4140)에서 임피던스 변화의 전환점이 AISI 1045 보다 높은 온도에서 나타나는 이유는 Alloy carbide의 영향으로 재결정 작용이 저지되는데 기인하는 것으로 추정된다.^{3) 4) 5)}

한편 Tempering온도 300°C에서 600°C ~ 700°C 사이에서는 임피던스의 변화가 경도값의 감소와 동

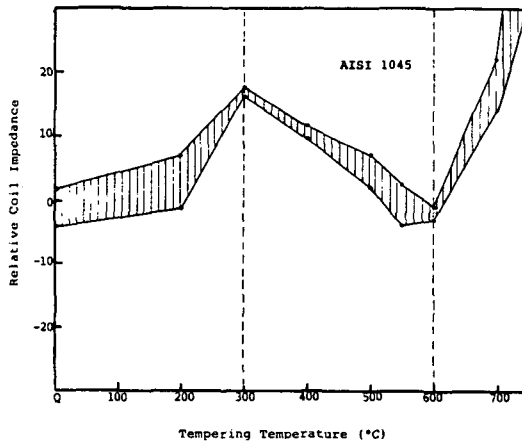
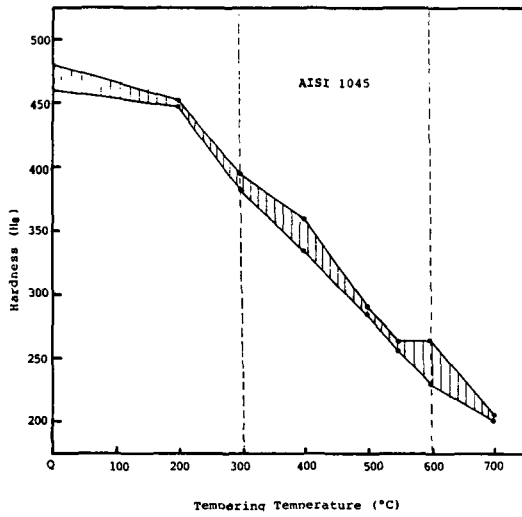


Fig. 8. Hardness and relative coil impedance of AISI 1045 specimen

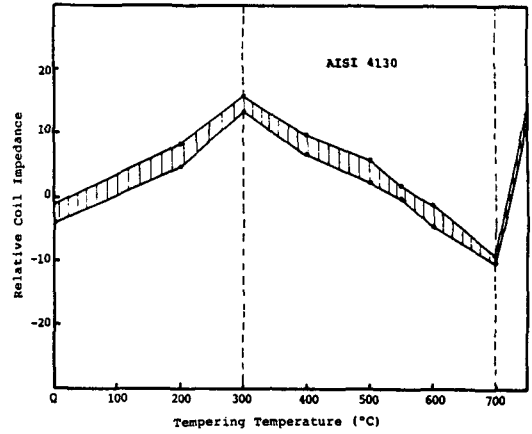
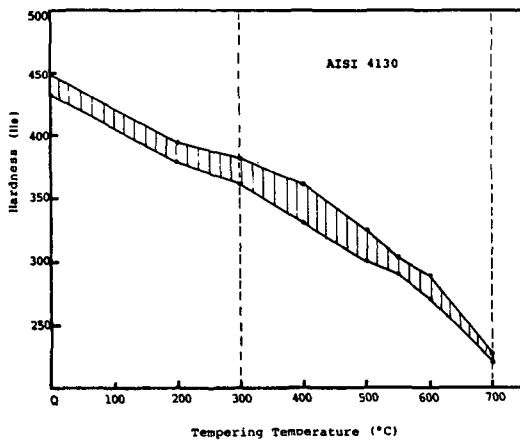


Fig. 9. Hardness and relative coil impedance of AISI4130 specimen

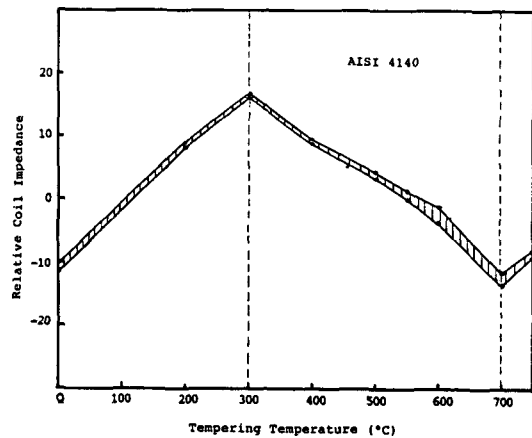
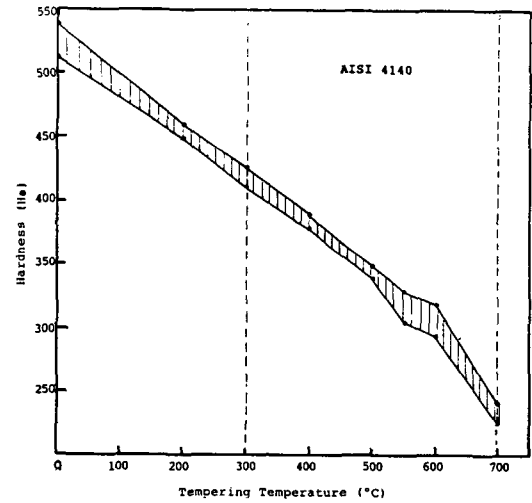


Fig. 10. Hardness and relative coil impedance of AISI 4140 specimen

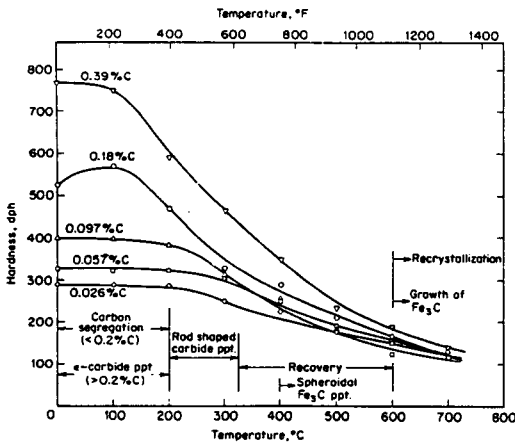


Fig. 11. Hardness of iron carbon martensites tempered 1 hr at 100-700°C³⁾

일한 경향을 나타내고 있고 이 온도구간이 이 강종의 열처리시 주로 이용되는 구간이므로 열처리제품에 대한 품질관리에의 적용이 가능할 것으로 생각된다.

4. 결 론

기계구조용 중탄소강인 AISI 1045와 저합금강인

AISI 4130, 4140의 Tempering 온도에 따른 조직 및 기계적 성질의 변화와 코일 임피던스 측정실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 임피던스 측정값의 Scattering은 경화능이 클수록 작아진다.
- 2) 강의 전자기적 특성은 조직에 따라 변하며 특히 Tempering 온도 300°C와 600°C~700°C 부근에서 큰 변화가 나타난다.
- 3) 고온 Tempering 온도 구간에서는 임피던스와 경도의 변화가 동일한 경향을 나타낸다.

참 고 문 헌

- 1) Robert C McMaster, Nondestructive Testing Handbook, Vol. II Sec. 36-42, ASNT
- 2) 특수강, 삼미중합특수강(주), 1978, pp 19
- 3) R W K Honeycomb, Metallurgy and Materials Science, pp 121-165
- 4) Smith, Structure and Properties of Engineering Alloys, pp 40-66
- 5) Leslie, The Physical Metallurgy of Steels, pp 211-232