

〈 論 文 〉

중탄소강의 기계적성질에 미치는 잔류오스테나이트의 영향

宣 詰 坤 · 金 永 勳 · 金 漢 軍*

* 부산공업대학교 금속공학과

Effect of retained austenite on mechanical properties in medium carbon steel

C. G. Sun, Y. H. Kim, H. G. Kim *

* Dept. of Metallurgical Eng., Pusan National University of Technology, Pusan 608-739

ABSTRACT

We were studied to the effect of alloying element and retained austenite on a mechanical properties and that used steels were composed three types composition. According to the soaking temperature, a retained austenite was precipitated in the bainitic ferrite matrix and it was precipitated to a flake type of about $2\mu\text{m}$, a mixture of massive and bar type and a flake type of about $1\mu\text{m}$ size. Through x-ray diffraction analysis, the amount of retained austenite was increased with addition of Si and Ni for equal heat treatment condition and it was best abundanted in the soaking temperature of 855°C . The balance value of strength and elongation were complexly controlled not only a retained austenite formation but also a formation characteristic and shape of the retained austenite and bainite. The balance value of strength and elongation were most satisfactory obtained with "B" and "C" specimens in a firstly heat treated at 855°C and the best result was that a $2840\text{kg}/\text{mm}^2\%$ with the heat treatment condition of $855^\circ\text{C}-400^\circ\text{C}$ used for "C" specimen.

1. 서론

자동차 산업이 발달함에 따라 박강판의 주요한 소비자로서 자동차업계의 비중이 증가하고 있으며¹⁾, 환경보호와 에너지 절약이라는 두 가지 조건을 동시에 만족시키기 위해서는 자동차의 고연비화가 필수적이며, 이러한 목적을 달성하기 위해서는 차량중량의 경감이 현실적으로 가장 효율적인 방법이다²⁾. 그러나 강도를 무시한 채 차량중량의 경감만을 생각하면 유사시 탑승자의 안전도가 위협을 받기 때문에 이러한 조건을 동시에 만족시키

기 위해서는 자동차에 사용되는 강재의 고강도화가 요망된다. 강재의 고강도화를 이룰 수 있는 방법은 Mn, Si 등에 의한 고용강화형에서 부터 시작하여³⁾ 최근에는 마르텐사이트를 미세하게 분산시켜 이용한 Dual phase 강, 변태조직강화, 가공경화, 고용강화 및 석출경화 등을 이용한 초고장력 강판들이 개발되고 있다^{4,5)}.

고장력강판의 재질특성을 표시하는 방법의 한 가지로서 강도(Ts)-연성(El) 바란스를 $Ts \times El$ 로 표시하는 방법이 있으며, 이러한 특성이 우수한 것으로서는 석출경화강, 고용강화강 등이 있다. 고장력강판 중에서 현재 가

장 연신율이 우수하다고 인정받고 있는 것은 Dual phase강이지만, 이보다 가공성이 우수한 고강도강의 개발 필요성에 대한 욕구를 만족시키기 위하여 주목되고 있는 방법은 잔류오스테나이트를 다량 함유시킨 강판이 있다^{6,7)}.

잔류오스테나이트는 가공시 소성유기변태(TRIP)현상에 의하여 마르텐사이트로 되면서 가공에 수반하여 생기는 변형을 분산시키기 때문에 연신율을 향상시킨다^{8,9)}. 이러한 소성유기변태 현상은 잔류오스테나이트의 함유량에 영향을 받으며, 생성되는 잔류오스테나이트의 양은 오스테나이트의 안정도에 의하여 지배되고 오스테나이트의 안정도는 주로 화학조성 및 변형도에 의해 지배되지만 변형속도, 전가공도, 시험분위기, 결정입도 등에도 영향을 받는다고 알려져 있다¹⁰⁾. 그러나 Trip강은 잔류오스테나이트를 이용한 것이라기 보다는 오스테나이트계 스텐레스강 등에서와 같이 오스테나이트 그 자체를 이용한 것이기 때문에 잔류 오스테나이트를 이용하여 기계적 성질을 변화시키고자 하는 본 연구와는 근본적인 차이가 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 소성유기변태 현상으로 잔류오스테나이트를 이용한 고장력 강판을 개발하기 위하여 약 0.35% C가 함유된 중탄소강에 합금원소로서 Si와 Ni을 첨가하였을 때 잔류 오스테나이트 생성특성과 기계적 성질에 미치는 합금원소와 열처리특성에 따른 영향을 고찰코자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 실험에 사용한 시료는 탄소 및 망간 함유량을 0.35% 및 1.0%를 목표로 일정하게 하고, 여기에 실리콘과 니켈을 추가로 첨가한 3가지 종류를 진공고주파 유도용해로에서 용해주조하였다. 시료의 화학성분은 Table 1과 같으며, 각 강의 화학성분에 따른 시료의 명칭을 A, B 및 C로 표시하기로 한다.

Table 1. Chemical composition of specimens

specimens	C	Mn	Si	Ni
A	0.34	0.95		
B	0.35	1.0	1.48	
C	0.35	0.99	1.48	1.96

진공고주파 유도용해로에서 주조한 Ingot를 열간압연하여 두께 4mm의 판재로 만든 후 열간압연시 생긴 산화스케일을 제거하고 표면의 평활성을 좋게 하기 위하여 평면 연삭기로 연삭가공하여 두께가 3mm가 되도록 하였다. 다시 두께가 2mm가 되도록 냉간압연한 다음 KS B 0801규격에 의한 13B 인장시험편을 제작하였다.

2.2 열처리

냉간압연한 시료를 910℃에서 노멀라이징 처리하여 가공시 생긴 내부응력을 제거하였다. 노멀라이징 처리한 시편을 각각 분당 30℃의 속도로 열팽창시험하여 As 및 A₁점을 측정하였으며, 여기서 얻은 결과와 Grange¹¹⁾와 Andrews¹²⁾식을 이용하여 Intercritical annealing 및 오스테나이트화처리가 이루어지는 균열온도(均熱溫度, soaking temperature)를 설정하였다. 균열처리는 페라이트+오스테나이트 2상영역에서 2가지 및 오스테나이트 단상영역에서 1가지를 선택하여 1차적으로 균열처리한 다음 M_s변태점 직하에서 1가지, M_s변태점 위에서 2가지를 선택한 염욕속에 10분 간 등온유지한 후 공랭시켰다. 이때 사용한 열처리 사이클은 Fig. 1과 같다.

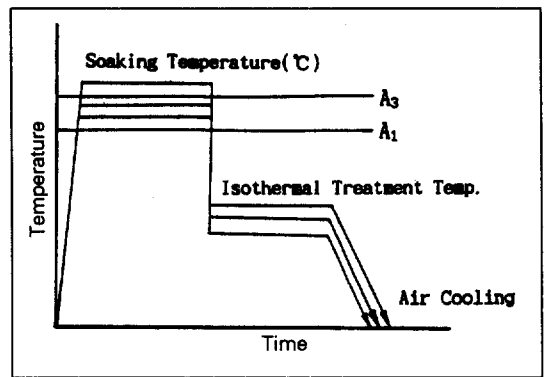


Fig. 1 The heat treatment cycle used for production of high strength steels

2.3 현미경조직시험

30xV용량의 Hitch M S2700 모델의 주사전자현미경을 사용하여 열처리후의 조직특성과 잔류오스테나이트의 분포특성을 고찰하였다. 또한 투과전자현미경 조직관찰은 Phillips CM 12 모델을 사용하여 시편연마지에서 약 80μm두께까지 연마한 후 Twin Jet Polisher

(Thinner)를 사용하여 Jet Polishing 하였다. 이때 사용한 용액은 Perchloric Acid 10% + CH₃COOH 90%이며, 전류 10mA 전압 25V의 Thinning 조건으로 하였다.

2.4 x-선 회절 및 기계적 성질시험

Cu Target 를 사용하여 35kV, 25mA의 조건으로 x-선 회절시험을 실시하였으며, Integrated intensity를 측정한 후 Miller's equation을 사용하여 열처리 후에 잔존하는 잔류 오스테나이트의 양을 측정하였다.

열처리 조건에 따른 기계적 성질을 시험하기 위하여 Shimadzu, DSC-25t 인장시험기를 사용하여 Full load 5t, Chart ratio 5, Crosshead speed 2mm의 조건으로 강도 및 연신율을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 현미경 조직

Photo 1은 "C" 시료를 760 및 780℃ 2상영역에서 10분간 유지하여 400℃의 염욕속에서 10분간 등온유지한 시편과 855℃의 오스테나이트 단상영역에서 동일한 시

간 유지한후 위의 경우와 동일한 조건의 염욕속에 등은 유지한 시편의 주사전자 현미경조직사진이다. 760℃의 페라이트 + 오스테나이트 2상 공존영역에서 1차가열한 "a)" 사진에서는 생성된 제 2상의 형상이 연결형으로 이루어져 있으며, "b)" 사진에서는 고립형, "c)" 사진에서는 미세침상형으로 나타나고 있으며, a), b), c) 모든 경우에 잔류오스테나이트가 존재하고 있다. 여기서 존재하는 잔류오스테나이트의 양을 X-선회절 시험에서 측정한 결과 쿨링온도가 높을수록 증가하고 있다. 杉本公一¹³⁾에 의하면 오스테나이트상이 대단히 미세하게 존재하고 있거나 혹은 페라이트입계를 따라 가늘게 존재하는 조직의 경우 오스테나이트상태에서 급냉하여 400℃근방에서 등온유지할 때 C 및 Mn의 농화가 효과적으로 진행되어 준안정 오스테나이트상의 안정화가 촉진된다고 하였다.

Photo 2는 "A", "B" 및 "C" 시료를 각각 855℃에서 10분간 가열한 다음 400℃의 염욕속에 10분간 등온유지했을 때의 주사전자 현미경조직 사진을 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 Si나 Ni이 첨가되지 않은 "A" 시료에서는 석출된 제2상의 형태가 prior-austenite의 결정입계를 따라서 조대하게 발달되어 있



Photo 1. SEM photomicrographs of the "C" specimens quenched from various temperature and isothermal treated at 400℃. a) quenched from 760℃, b) quenched from 780℃, c)quenched from 855℃.



Photo 2. SEM photomicrographs of the specimens quenched from 855℃ and isothermal treated at 400℃. a) specimen "A", b) specimen "B", c) specimen "C".

으며, Si가 첨가된 "B" 시료에서는 판상형태를 나타내고 있다. "B" 시료에 Ni이 추가로 첨가된 "C" 시료에서는 제 2상의 형상이 더욱 미세하고 균일하게 분리된 형상을 나타내고 있다.

Photo. 3은 베이나이트변태 처리후의 투과전자 현미경 사진을 나타낸 것이다. 사진 a)에서는 Bainitic Ferrite 기지조직¹⁴⁾에 비교적 크기가 큰 2 μm 내외의 판상 잔류오스테나이트가 존재하고 있다. 사진 b)에서는 1 μm 정도 크기의 피상 잔류오스테나이트와 2 μm 정도 크기를 갖는 봉상의 잔류오스테나이트가 페라이트 조직에 혼재하고 있음을 알 수 있다. 또한 855 $^{\circ}\text{C}$ 에서 오스테나이트화 처리한 사진 c)에서는 1 μm 이상의 잔류오스테나이트가 Bainitic Ferrite 기지조직과 교대로 존재하고 있다.

Photo. 4는 "C" 시료를 855 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 오스테나이트화 처리한 후 400 $^{\circ}\text{C}$ 염욕에서 10분간 항온처리한 시편의 투과전자현미경 사진을 나타낸 것이다. 사진 a)는 Bright field image로 나타낸 것이며, 사진 b), c)에서는 회절패턴과 Indexed result를 나타낸 것이다. 여기서 존재하는 상의 형태는 페라이트기지조직에 석출한 잔류오스테나이트가 나타나고 있다¹⁵⁾.

3.2 기계적 성질

3.2.1 인장강도 및 연신율

Fig.2, Fig.3 및 Fig.4는 "A", "B" 및 "C" 시료를 760, 780 및 855 $^{\circ}\text{C}$ 의 세가지 온도에서 10분간 유지한 다음 각각 340, 370 및 400 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 등온유지한 시편에 대하여 인장강도 및 연신율을 측정한 것이다. 세 가지 항온처리한 온도에서 다같이 인장강도와 연신율이 변하는 경향이 비슷하게 나타나고 있다.

사용된 세 가지의 균열온도에 관계없이 인장강도는 "A" 시료 보다는 Si가 첨가된 "B" 시료, 그리고 Ni이 첨가된 "C" 시료의 순으로 그 값이 증가하고 있다. 또한 균열온도가 높아질수록 인장강도의 크기도 증가하고 있다. 이러한 사실은 澤井 嚴 등¹⁶⁾과 Matsumura 등⁶⁾의 실험결과와 잘 일치하고 있다. 이것은 현미경 조직특성에서 알 수 있었던 바와 같이 균열온도가 높을 수록 또한 Si과 Ni이 첨가될수록 제2상 입자의 형상이 미세해지고 균일하게 분포되어 있으며, 생성된 잔류 오스테나이트의 양이 증가하여 변형에 따른 소성유기변태를 일으켜 마르텐사이트로 변하면서 가공에 수반하여 생기는 응력을 분산

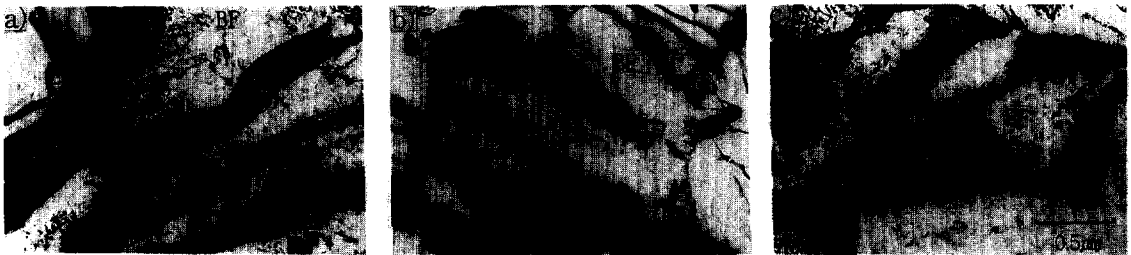


Photo 3. Transmission electron micrographs of "C" specimens quenched at various temperature and isothermal treated at 400 $^{\circ}\text{C}$. a) quenched from 760 $^{\circ}\text{C}$. b) quenched from 780 $^{\circ}\text{C}$. c) quenched from 855 $^{\circ}\text{C}$

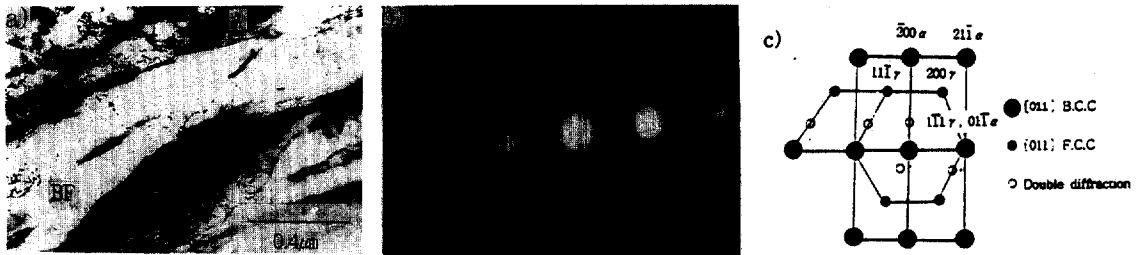


Photo 4. Transmission electron micrographs of "C" specimens quenched from 855 $^{\circ}\text{C}$ followed by isothermal holding at 400 $^{\circ}\text{C}$. a) Bright field image. b) Diffraction pattern. c) Indexed result.

시켜 강도를 증가시킨 결과로 생각된다.^{8,9)}

연신율은 Si가 첨가된 "B" 시료에서는 균열온도가 증가함에 따라 등온처리온도에 상관없이 증가하고 있다. 이것은 A_s 및 A_r점 측정결과에 의하여 확인된 사실이기도 하지만 Si이 페라이트형성 원소로서 첨가량이 증가함에 따라 A_s 및 A_r점을 상승시키기 때문에 사용된 균열온도 중 온도가 높을수록 오스테나이트로의 변태가 촉진되어 등온퀵칭시 제2상입자의 미세화와 잔류오스테나이트 생성이 촉진된 결과 때문이라고 생각된다.

340 및 370℃에서 등온처리한 "A" 및 "C" 시편에서는 오스테나이트 단상영역에서 균열처리한 경우보다 780℃의 오스테나이트 + 페라이트 2상영역에서 균열처리한 경우가 연신율이 우수한데, 이것은 澤井 殿¹⁾과 Matsumura 등⁶⁾의 실험결과와 잘 일치한다. 또한 "C"보다 "A"시료가 연신율이 높게 나타나고 있으나, 855℃-400℃ 열처리 조건의 "C"시료에서는 연신율이 높게 나타나고 있다.

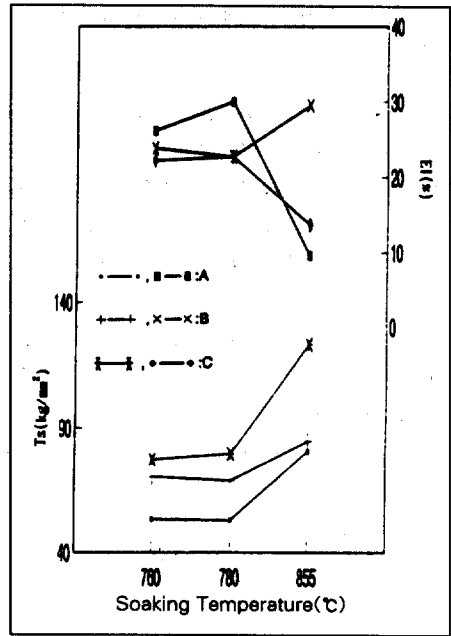


Fig. 3 Effect of the tensile strength and elongation on the soaking temperature in the isothermal treated specimens at 370℃.

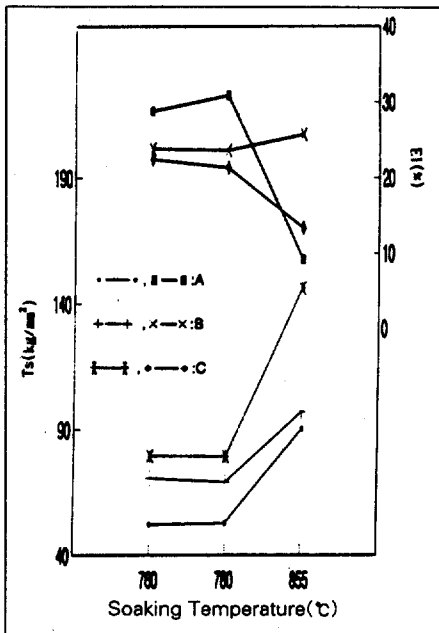


Fig. 2 Effect of the tensile strength and elongation on the soaking temperature in the isothermal treated specimens at 340℃.

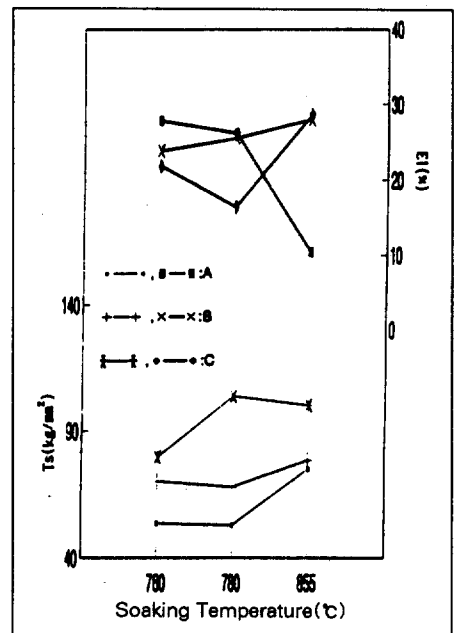


Fig. 4 Effect of the tensile strength and elongation on the soaking temperature in the isothermal treated specimens at 400℃.

3.2.2 강도-연성비율과 잔류오스테나이트의 생성특성

Fig.5, Fig.6 및 Fig.7은 각각 340, 370 및 400℃의 온도로 등온처리 온도를 일정하게 하였을 때 균열온도의 변화에 따른 강도-연성비율과 잔류오스테나이트의 함량 변화를 나타낸 것이다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 "A" 시료는 760 및 780℃의 2상공존영역에서 비교적 높은 $T_s \times EI$ 값을 나타내지만, 855℃의 오스테나이트의 단상영역에서 급격히 저하하고 있다. "B" 및 "C" 시료에서는 760 및 780℃의 2상공존영역에서는 비슷한 $T_s \times EI$ 값을 나타내지만 오스테나이트 단상영역에서 급격히 증가하고 있다. 370 및 400℃에서 등온처리한 조건에서 780℃에서 균열처리한 경우가 잔류오스테나이트량이 최소로 나타나고 있다. 이것은 澤井 嚴¹¹⁾의 실험결과와는 다소 상반된 결과를 나타낸다. $T_s \times EI$ 값은 대체로 잔류오스테나이트량이 증가함에 따라 상승되는 경향을 나타내기는 하지만, 정량적으로 일치하고 있지는 않다. 잔

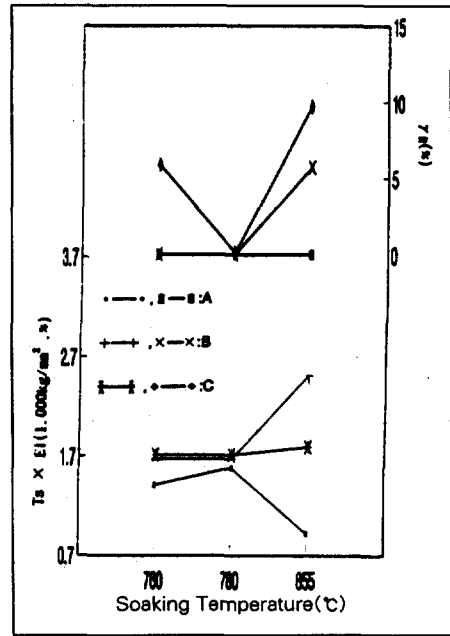


Fig. 6 Effect of the soaking temperature on the strength-elongation balance and retained austenite in the isothermal treated specimens at 370℃.

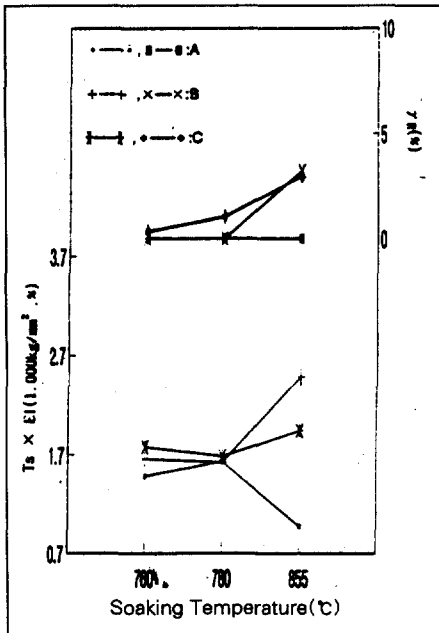


Fig. 5 Effect of the soaking temperature on the strength-elongation balance and retained austenite in the isothermal treated specimens at 340℃.

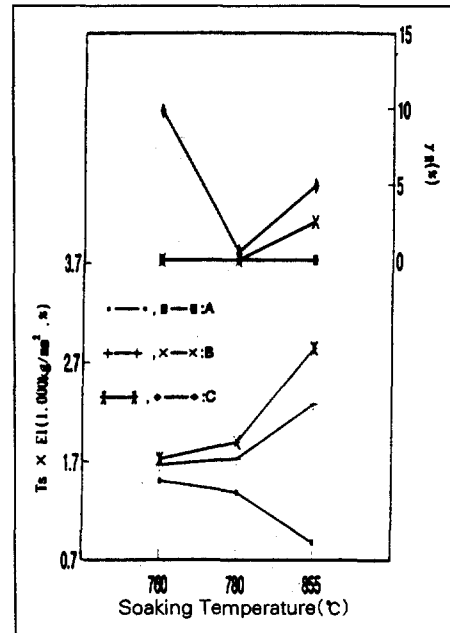


Fig. 7 Effect of the soaking temperature on the strength-elongation balance and retained austenite in the isothermal treated specimens at 400℃.

류오스테나이트가 인장강도와 연신율에 미치는 영향에 대해서는 陣登¹⁵⁾, 澤井 嚴¹⁶⁾의 연구결과에서는 그 양이 증가함에 따라 인장강도와 연신율이 증가한다고 보고된 반면 다른 연구자들에 의해서는 인장강도가 감소한다는 보고도 있다^{6), 13)} Photo 3의 TEM사진에서 나타난 바와 같이 균열처리온도가 증가함에 따라 잔류오스테나이트의 형상이 미세해지고 Bainitic Ferrite의 형상이 바뀌고 있다. 따라서 Ts×EI값은 잔류오스테나이트의 생성량 뿐만 아니라 베이나이트의 존재형태 및 생성특성에 따라서 복합적으로 지배된다고 할 수 있다.

4. 결 론

0.35%C, 1%Mn강에 각각 Si와 Ni를 약 1.5 및 2.0%를 첨가하여 성분율 변화시켰을 때 이들 강의 기계적 성질에 미치는 합금원소의 영향과 잔류오스테나이트의 존재 특성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 잔류오스테나이트는 베이나이트 페라이트 기지조직에 석출해 있으며, 균열처리온도에 따라 2 μ m 내외의 편상, 피상과 봉상의 혼합 및 1 μ m 정도의 편상으로 존재하였다.
- 2) 잔류오스테나이트의 생성량은 동일 열처리조건에서 Si와 Ni첨가에 의하여 개선되었으며, 균열온도가 855 $^{\circ}$ C에서 가장 많이 나타났다.
- 3) 강도-연성바란스값은 잔류오스테나이트의 생성량과 잔류오스테나이트와 베이나이트의 존재형태 및 생성특성에 따라 복합적으로 지배된다.
- 4) 강도-연성 바란스값은 855 $^{\circ}$ C에서 균열처리한 "B" 및 "C" 시료에서 우수한 값을 나타내며, 최고의 값은 855 $^{\circ}$ C~400 $^{\circ}$ C의 "C" 시료를 열처리한 조건에서 2840kg/mm²가 얻어졌다.

후 기

본 연구는 1994년도 포항종합제철주식회사의 연구비 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. 澤井 嚴, 內田尙志: 熱處理, 31, (1991), 225.
2. 大橋正昭: 第74, 75回西山記念講座, 日本鐵鋼講座, 日本鐵鋼協會, (1981), 1.
3. 荒木 透: 金屬, 50, No. 1(1980), 73.
4. 武智 弘: 日本金屬學會報, 23(1984), 896.
5. 大澤 紘一: 塑性と加工, 27(1986-1), 55.
6. Matsumara, O., Sakuma, Y. and Takechi, H.: Transactions ISIJ, 27, (1987), 570.
7. 澤井 嚴: 熱處理, 32, 1(1992), 53.
8. 松村 理, 佐久間康治, 武智 弘: 鐵と鋼, 71, (1985), 1261.
9. 澤井 嚴, 內田尙志, 神坂榮治: 鐵と鋼, 72, (1986), 1407.
10. 澤井 嚴, 內田尙志: 熱處理, 30, (1990), 27.
11. R. A. Grange: Metal Progress, April, (1961), 73.
12. K. M. Andrews, D. Sc.: J. Iron and Steel Inst. July, (1965), 721
13. 杉本公一, 翠 正宏, 小林光征, 白澤秀則: 鐵と鋼, 76, (1990), 1356.
14. 津崎兼影, 牧 正志: 熱處理, 32(1992), 70
15. 陳 煌泉, 友清憲治, 惠良秀則, 清水峯男: 鐵と鋼, 75, (1989), 626.
16. 澤井 嚴, 內田尙志, 神坂榮治: 鐵と鋼, 72, (1986), 1406.
17. K. E. Thelning: Steel and its heat treatment, 2nd. ed. (1984), 91