

2단열처리를 이용한 고연신율 고장력 강판의 개발

김용현 · 김영훈 · 김한군

부경대학교 공과대학 금속공학과

Development of the high elongation and high strength steel sheets
utilizing two step heat treatment

Y. H. Kim, Y. H. Kim, H. G. Kim

Dept. of Metall. Eng., Pukyong National University

ABSTRACT

The variation of the mechanical properties and the formation of retained austenite with heat treatment conditions in austempered Si bearing carbon steels has been investigated. In the case of a steel containing 0.35C-1.48Si-0.95Mn, it has been found that a feather shape bainite structure of lath are obtained under a isothermal treated condition at just below the Ms temperature, and the martensite, bainitic ferrite and retained austenite of second phase particles on the ferrite matrix for a isothermal treated steels after intercritical annealing are precipitated in a linked shape. The retained austenite with 2 μ m size induced as TRIP is found to increase with increasing the formation rate of retained austenite for the intercritical annealing and high Si containing steels. The tensile strength is increased as austempering temperature increases in all isothermal treatment temperature, whereas the elongation is shown to roughly decrease as the tensile strength increases. The values of tensile strength-elongation balance have showed a marked dependence upon the elongation rather than the tensile strength, and their values are increased for high Si containing steels and intercritical annealing condition. The most optimum result has been shown to be the tensile strength-elongation balance of 2882.4kgf/mm².% and the elongation of 33.3% for a "B" steel in the heat treating temperature range of 780~370°C.

1. 서 론

박강판의 주요한 소비처 중의 하나는 자동차 업계이다¹⁾. 최근 세계적으로 에너지 절약과 환경 보호를 위하여 자동차 배기가스에 대한 규제가 강화되고 있으며, 이에 대비하기 위해서는 자동차의 저연비화를 달성하여 차량중량을 경감시키는 것이 가장 효율적인 방법이다. 차량중량을 경감시키면서도 탑승자를 보호

할 수 있는²⁾ 두 가지 목적을 동시에 달성하기 위해서는 사용강판의 고강도화가 필수적이다. 그러나 강재의 고강도화를 위하여 탄소와 합금원소의 함유량을 증가시키면 성형성, 용접성을 어렵게 만들며 이에 따른 생산 원가의 상승이 유발된다.

고장력 강판의 개발은 이와 같은 욕구를 만족시키기 위하여 자동차용 강판을 중심으로 개발되기 시작하였다. 이러한 고장력 강판을 제조하는 방법 중에

현재 연신율이 우수한 고장력 강판으로 주목되고 있는 것으로서 잔류 오스테나이트를 다량 함유시킨 고장력 강판이 많이 연구되고 있다³⁾⁻⁵⁾.

강중의 잔류 오스테나이트 상에 대해서는 지금까지 주로 퀸칭시킨 강의 경도 저하, 시효치수변화 및 인성에 미치는 영향 등에 대하여 연구되었다⁶⁾⁻⁹⁾. 그러나 1961년 Matas and Hehemann 등^{10), 11)}에 의하여 Si 함유강을 오스테퍼링 처리하여 다량의 오스테나이트를 생성시키는 방법이 보고된 이후 항온 변태에 의하여 생성시킨 잔류 오스테나이트와 베이나이트 혼합조직을 이용하는 방법이 많이 연구되고 있다¹²⁾⁻¹⁶⁾.

본 연구에서는 고가의 합금 원소가 첨가되지 않은 소재를 사용하여 강중의 성분변화와 열처리 조건변화에 따른 잔류 오스테나이트의 생성특성, 현미경조직 및 기계적 성질에 미치는 영향을 분석하여 연신율이 우수하면서도 강도가 높은 자동차용 고장력강 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작 및 열처리

본 실험에 사용한 시료는 0.25-0.45% 범위의 탄소를 함유한 세 가지 종류의 시료를 진공 고주파 유도용해로에서 용해 주조하였으며, 각 시료의 화학 성분은 Table 1과 같다. 각 강의 화학성분에 따른 시료의 명칭을 Table 1에 표시한 바와 같이 각각 "A", "B" 및 "C"로 표시하기로 한다.

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

Specimens	C	Si	Mn
A	0.25	1.01	0.99
B	0.35	1.48	0.95
C	0.45	1.01	0.99

진공 고주파 유도용해로에서 용해 주조한 ingot를 열간 압연하여 두께 4mm의 판재로 만든 후 열간 압연시에 생긴 산화 스케일을 제거하고, 표면의 평활성을

좋게 하기 위하여 평면 연삭기로 연삭가공하여 두께 3.5mm가 되도록 하였다. 이것을 다시 냉간 압연하여 두께 1.3-1.5mm로 감소시켰다. 910℃에서 노르말라이징 처리하여 KS B 0801 규격에 의한 13 B 인장시험편을 제작하였다.

노르말라이징 처리한 시편을 분당 30℃의 속도로 열팽창 시험하여 A₁ 및 A_r 점을 측정하였다. 여기서 얻은 결과와 Grange¹⁷⁾와 Andrews¹⁸⁾ 식을 이용하여 이상영역 가열 온도로서 760 및 780℃를 설정하고 오스테나이트 단상영역 가열온도로서 855℃를 설정하였다. 설정된 이상영역 온도와 오스테나이트 단상영역으로 유지된 염욕속에 시료를 침지하여 10분간 유지한 다음 340, 370 및 400℃로 유지된 항온 염욕속에 10분간 항온 변태 시킨 후 공냉시켰다. 이때의 염욕로의 온도분포를 균일화시키기 위하여 염욕 내에 소형 임펠러를 설치하여 염욕을 교반하였다.

2.2 현미경 조직시험

광학현미경과 주사전자현미경을 사용하여 열처리 후의 조직특성과 잔류오스테나이트의 분포특성을 관찰하였다. 또한 투과전자현미경 조직관찰은 Philips CM 12 모델을 사용하여 화학연마 및 기계적 연마과정에 의하여 약 80μm까지 연마한 후 Twin Jet Polisher (Thinner)를 사용하여 Jet Polishing하였다. 이 때 사용한 용액은 Perchloric Acid 10%+CH₃COOH 90%이며, 전류 10mA, 전압 25V의 Thinning 조건으로 하였다.

광학현미경 관찰에 의하여 마르텐사이트, 베이나이트 및 잔류 오스테나이트 식별을 돕기 위하여 Na₂S₂O₈ 8g+H₂O 100ml 수용액 속에서 각 상의 조건을 서로 상이한 색깔로 부식시킨 후 관찰하였다.

2.3 X-선회절 및 기계적 성질시험

Mo Target를 사용하여 Regaku-Dmax 3 회절 시험기에서 35kV, 25mA의 조건으로 X-선 회절 시험을 실시하였으며, Integrated intensity를 측정한 후 Miller's equation을 사용하여 열처리 후에 존재

하는 잔류 오스테나이트량을 측정하였다. 열처리 조건에 따른 기계적 성질을 시험하기 위하여 Shimadzu DSC-25t 인장 시험기를 사용하여 Full load 5t, Chart ratio 5, Crosshead speed 2mm의 조건으로 인장강도, 항복점 및 연신율을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 현미경조직

Photo. 1은 "A", "B" 및 "C" 시료를 760℃에서 10분간 열처리 한 후 340℃의 등온열처리에서 10분간 유지하여 공랭시킨 열처리 조건에서 얻어진 광학현미경 조직사진이다. Si함유강에서 잔류 오스테나이트와 제2상의 존재형태를 식별하기 위하여 열처리 후 시료를 피로아황산나트륨 수용액($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, 8g + H_2O 100ml)을 부식액으로 사용하였으며, 여기서 볼 수 있는 바와 같이 페라이트 기지에 제2상으로서 잔류 오스테나이트와 베이나이트 페라이트 조직이 석출해 있다. 여기서 가장 겹게 보이는 부분이 베이나이트 페라이트 조직이며, 회색은 마르텐사이트 조직이고, 페라이트 조직내에 회계 보이는 부분이 잔류 오스테나이트이다¹⁹⁾.

0.35%C-1.48%Si-0.95%Mn인 (b)에서는 탄소강에서 상부베이나이트 조직에 해당하는 비교적 폭이 긴 라스상의 우모상 베이나이트 페라이트가 석출해 있다. 여기서 탄화물의 석출은 나타나지 않으며 Si함유강에서는 베이나이트 페라이트는 탄화물의 석출이 거의 나타나지 않는 점이 일반 탄소강과 다른점이다. Si함유강에서 등온처리 시간이 증가함에 따라 베이나이트 페라이트가 오스테나이트쪽으로 성장하면서 오스테나이트중의 탄소농도가 높아지며, 탄화물 생성을 억제시켜 베이나이트 페라이트의 생성과 성장을 촉진하는 것으로 알려져 있다^{20), 21)}. 이러한 베이나이트 페라이트의 생성과 성장은 베이나이트 페라이트 라스 사이에 존재하는 오스테나이트의 탄소농도를 증가시키고, 오스테퍼링 시간이 10분을 초과 하면 상부 베이나이트로 변태 하는 것으로 알려져 있으며^{20), 21)},

사진(b)에서 석출한 우모상 베이나이트 페라이트가 상부 베이나이트로 석출한 것도 이러한 관점으로 해석할 수 있다.

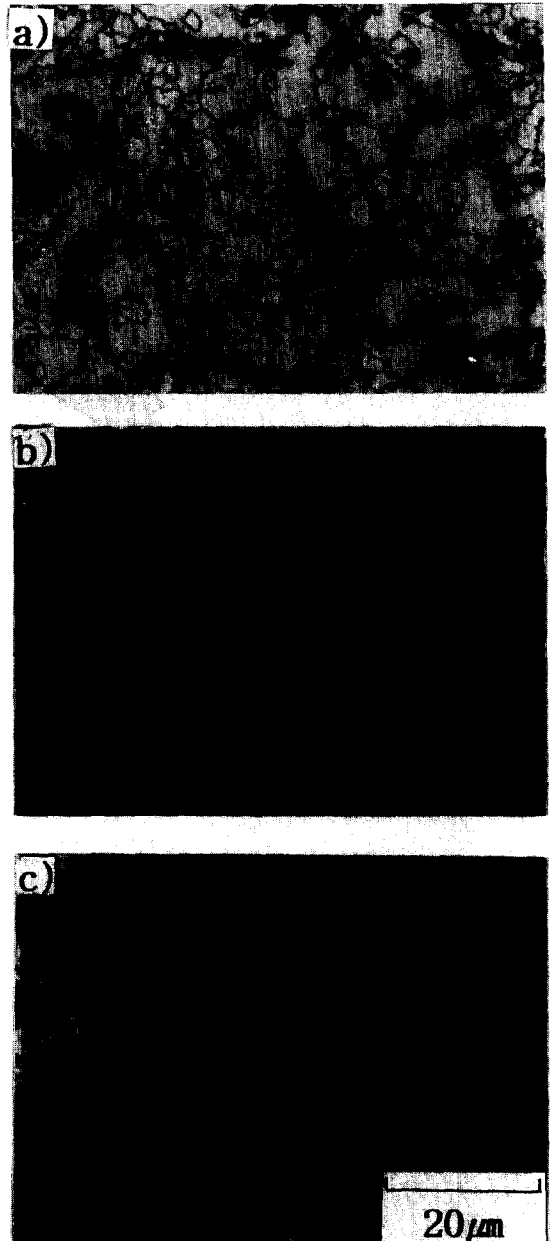


Photo. 1 Optical microstructure of the "A", "B", and "C" specimens quenched from intercritical annealing temperature of 760℃ to isothermal treating temperature of 340℃

등온처리 온도에 따른 제 2상의 석출특성을 규명하기 위하여 760℃ 2상영역에서 열처리 하여 340, 370 및 400℃ 의 등온염욕속에 10분간 유지한 후 “A” 시료에 대한 주사전자현미경 조직을 Photo. 2에 나타내었다. 여기서 보는 바와 같이 초석 페라이

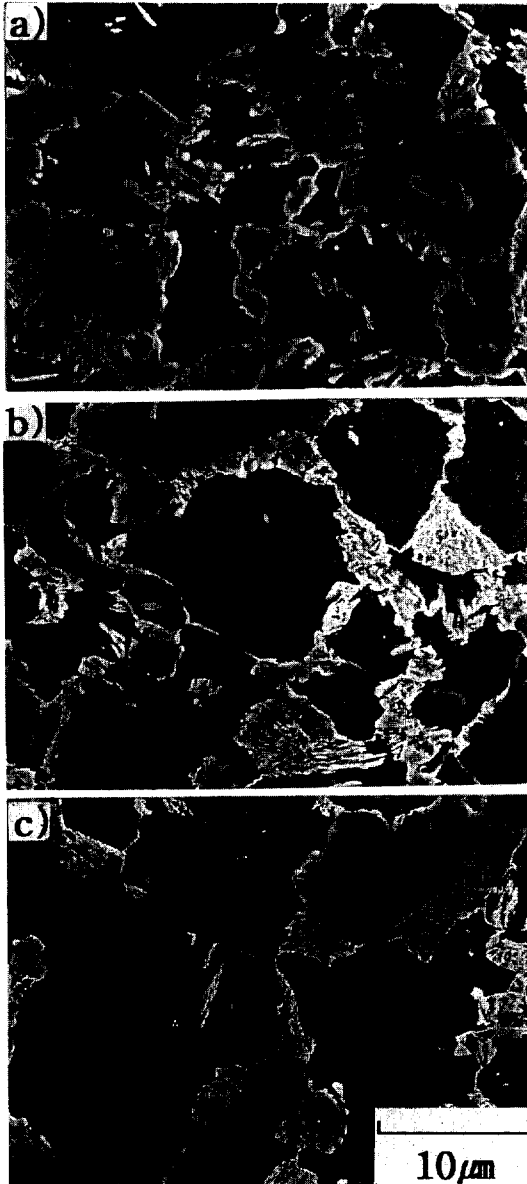


Photo. 2 SEM photomicrographs of the “A” specimen quenched from 760℃ and isothermal treated at various temperature.
a) 340℃ b) 370℃ c) 400℃

트 기지에 제 2상인 베이나이틱 페라이트와 잔류 오스테나이트 및 마르텐사이트가 페라이트 결정입계를 따라 연결형으로 석출해 있다. 그 연결도는 등온 처리 온도가 증가 함에 따라 감소하며, 석출된 제 2상의 체적분율도 감소하고 있다. 한편, 杉本²²⁾ 등에 의한 0.17% C-0.41% Si-2.0% Mn 강을 770℃로 가열한 후 400℃ 염욕속에 등온유지시킨 비슷한 실험에서 유지시간이 10s에서 1000s까지 증가함에 따라 석출 제 2상의 연결도가 저하한다고 보고한 경우와 유사한 결과를 나타낸다. 여기서 층상형태로 나타난 것은 베이나이틱 페라이트³⁵⁾이며, 나머지 제 2상은 잔류 오스테나이트와 마르텐사이트 혼합조직이다. 석출된 제 2상은 등온처리 온도가 낮은 (a)에서는 페라이트 결정입계는 물론이고 결정입내에도 석출해 있으나 등온 처리 온도가 증가함에 따라 주로 결정입계를 따라 분포하고 있다. x-선 회절실험에 의한 잔류 오스테나이트 체적분율은 등온처리 온도가 증가함에 따라 각각 5.29, 3.23 및 3.14%로 그 양이 점차 감소 하였다.

석출된 제 2상의 성분특성을 규명하기 위하여 Photo. 2 (a)에 대하여 실시한 SEM-EDX 분석결과를 Photo. 3에 나타낸다. 여기서 화살표 표시된 “M”부분의 제 2상은 Mn이 높고 Si이 낮게 나타나므로 마르텐사이트 조직으로 판단되며, “A” 화살표 표시된 부분은 Mn이 낮고 Si가 높게 나타나기 때문에 잔류 오스테나이트 조직으로 생각된다²³⁾. Lian²⁴⁾ 등에 의하면 2상영역 어닐링 과정에서 오스테나이트의 안정성은 화학적 안정성과 크기효과에 의하여 좌우된다고 하였다. 화학적 안정성은 오스테나이트내의 C 및 Mn에 의존한다. 즉 보다 많은 양의 C와 Mn은 Ms 온도와 오스테나이트→마르텐사이트 변화에 의한 구동력을 감소시키기 때문에 C와 Mn을 보다 많이 함유할수록 더욱 안정된 오스테나이트가 된다.

Photo. 4는 “A” 시료를 760℃의 2상영역에서 어닐링하여 370℃에서 등온열처리한 시편에서 얻어진 투과전자현미경 조직사진이다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 약 2μm의 크기를 갖는 잔류 오스테나이트가 페라이트와 인접한 베이나이틱 페라이트 조직에 석출해

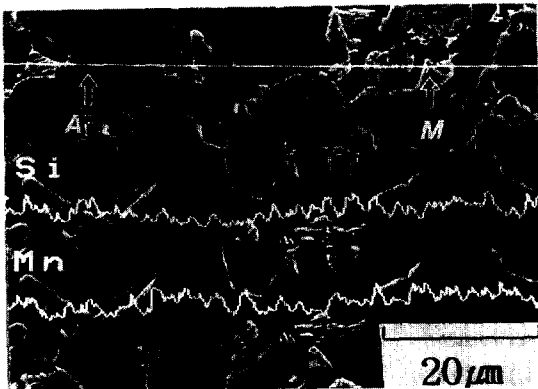


Photo. 3 Analysis results of SEM-EDX utilized photo. 2 (a)

있다. 陳²⁵⁾등은 잔류 오스테나이트의 형태를 크게 다음과 같은 3가지로 분류 하였다.

- I. 베이나이트와 인접한 잔류 오스테나이트
- II. 적층결함을 갖는 2 μ m 전후의 잔류 오스테나이트
- III. 기계적 안정성을 나타내는 1 μ m이하의 잔류 오스테나이트

Rao²⁶⁾등은 1 μ m 이하의 잔류 오스테나이트는 크기가 작기 때문에 심한 변형을 받아도 마르텐사이트로 변태하지 않고 기계적 안정성을 나타낸다고 하였다. 마르텐사이트와 인접하고 있는 잔류 오스테나이트는 단단한 마르텐사이트의 영향으로 대단히 큰 변형을 받아도 거의 변태하지 않는다고 알려져 있지만 베이나이트의 경우에는 어느 정도의 변형까지 안정하다고 생각할 수 있다. 따라서 Photo. 5에서 나타난 바와 같은 잔류 오스테나이트는 TRIP 효과를 나타내어 기계적 성질 특히 연신율을 향상시키는데 크게 기여하는 것으로 알려져 있다²⁶⁾.

3.2 기계적 성질과 잔류오스테나이트 생성특성

3.2.1 인장 강도 및 연신률

“A”시료를 오스테나이트 단상영역인 855 $^{\circ}$ C와 ($\alpha + \gamma$) 2상영역인 760 및 780 $^{\circ}$ C에서 10분간 염속 속에 유지한 후 각각 340, 370 및 400 $^{\circ}$ C의 등온염속 속에 10분간 등온유지시킨 시편에서 얻어진 인장강

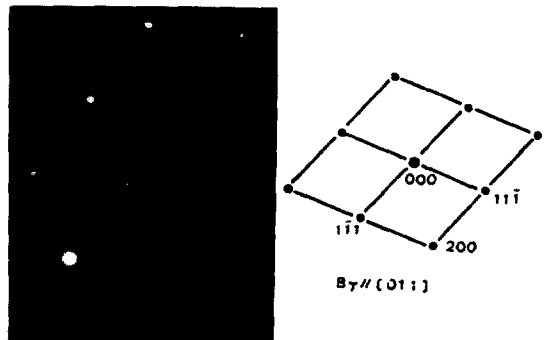


Photo. 4 TEM photomicrographs of the “A” specimens quenched from intercritical annealing temperature of 760 $^{\circ}$ C to isothermal treating temperature of 370 $^{\circ}$ C

도와 연신을 값을 Fig. 1에 나타내었다. 인장강도의 값은 전 등온열처리 온도에서 2상영역 처리한 경우보다 오스테나이트 단상영역에서 열처리한 경우가 높게 나타나고 있으며, 760 및 780 $^{\circ}$ C에서 동일하게 2상영역 열처리한 경우에는 큰 차이를 보이지 않는다.

연신율은 인장특성과 대체로 상반되는 결과를 나타내고 있으나, 855 $^{\circ}$ C에서 오스테나이트화 처리한 경우를 제외하면 370 $^{\circ}$ C에서 등온처리한 조건에서 가장 우수한 값을 나타내고 있으며, 이것은 0.36% C강에 대하여 실험한 澤井¹⁾등의 실험결과와 비슷하다.

Fig. 2는 370 $^{\circ}$ C의 등온열처리온도에서 강의 성분 변화에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 전 열처리 조건에서 탄소함량이 증가함에 따라 인장강도가 증가하고 있으며, 특히 0.35에서 0.45%로 탄소

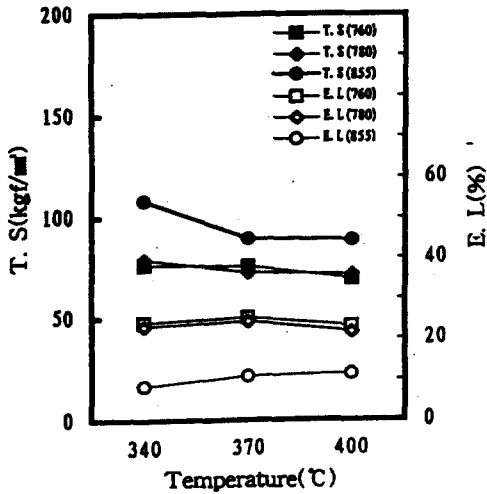


Fig. 1 Effect of isothermal treatment temperature on the tensile strength and elongation after the intercritical annealing and austenitizing for "A" steel.

함량이 증가하는 경우에 그 증가율이 높게 나타나고 있다. 2상영역의 경우보다는 오스테나이트 단상영역에서 인장강도 값이 높게 나타나며, 최고의 값은 855-340°C의 열처리조건인 "C" 시료에서 146.3 kgf/mm²가 얻어졌다.

강의 성분에 따른 열처리 조건의 변화특성은 인장강도가 가장 높은 "C" 시료의 연신율이 상대적으로 가장 낮기는 하지만, 최고 연신율의 값은 전 등온열처리 조건에서 "B" 시료가 가장 높게 나타나고 있다. 이것은 재료의 연신율에 미치는 영향은 탄소함량 뿐만 아니라 강 조직특성과 깊은 관계가 있음을 나타내고 있다. 즉, "B" 시료는 "A"와 "C" 시료보다 Si 함량이 높기 때문에 이로 인하여 펄라이트나 베이나이트의 생성이 억제되고 잔류 오스테나이트량이 증가하여 이로인한 조직적 특성차이에 기인한 것으로 생각할 수 있다. 탄소함량이 비교적 낮은 "A", "B" 시료에서는 760 및 780°C 2상영역 열처리 온도 사이에서는 큰 차이가 없으나 탄소함량이 높은 "C" 시료에서는 온도가 증가함에 따라 비교적 큰 폭으로 연신율이 감소하고 있으며, 최고 연신율의 값은 2상영역에서 가열하여 370°C에서 등온변태시킨 "B" 시료

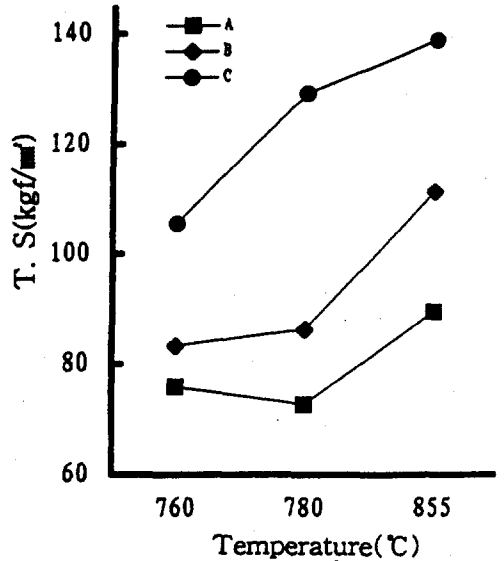


Fig. 2 Variation of the tensile strength according to chemical composition at isothermal temperature 370°C.

에서 33.4%의 값이 얻어졌다.

3.2.2 항복점 및 항복비

Fig. 3은 각각 "A" 시료의 열처리 온도에 따른 항복점과 항복비에 대한 값을 나타낸 것이다. 오스테나이트 단상 및 2상영역 열처리 온도가 높을수록 대부분의 등온변태온도에서 항복강도가 증가하고 있으며, 탄소함량이 비교적 낮은 "A" 및 "B" 시료는 2상영역에서 처리한 경우보다 오스테나이트 단상영역에서 처리한 경우와의 항복 강도 차이가 심하게 나타나고 있다. 이것은 오스테나이트화 온도가 높을수록 탄화물 고용도가 증가하고 등온열처리 후 초석 페라이트의 양이 감소하였기 때문이다.

대부분의 등온처리온도에서 탄소함량에 따라 항복강도가 변하고 있으며, "C" 시료가 가장 높은 항복값을 나타내고 그 다음 "B", "A" 순이지만 "B" 시료와 "A" 시료는 근소한 차이를 나타내고 있다. 또한 동일한 시료의 경우 대부분의 오스테나이트 단상 및 2상영역 열처리 온도가 높을수록 항복강도가 증가하고 있는데, 이것은 등온열처리시간이 6-15분의 경우에 대한 澤井 및 内田¹¹⁾이 실시한 실험의 경우와 비

숫하다. 항복점이 가장 낮은 조건은 "A"시료의 760-340℃에서 36.5kgf/mm²이며, 가장 높은 조건은 "C"시료 855-340℃에서 121.2kgf/mm²으로 나타났다.

항복비에 대한 특성도 항복강도의 변화경향과 거의 비슷하게 나타나고 있으며, "A"시료 0.48-0.83, "B"시료 0.43-0.78, "C"시료 0.59-0.85의 범위의 값으로서 Si함량이 높은 "B"시료가 항복비가 가장 낮고 따라서 가공성도 가장 양호한 것으로 평가된다.

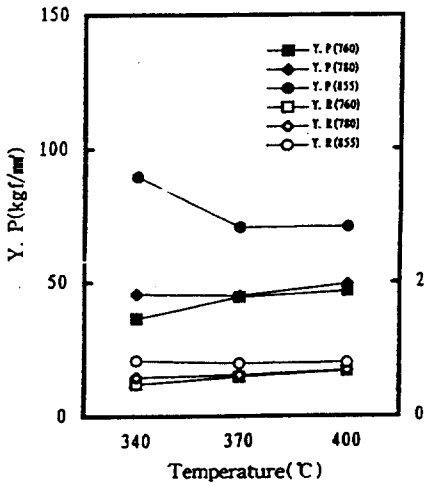


Fig. 3 Effect of isothermal treatment temperature on yielding point and ratio after austenitizing and intercritical annealing for "A" steel.

3.2.3 강도-연성 밸런스 및 잔류 오스테나이트 생성 특성

370℃의 일정한 등온 열처리 온도에서 오스테나이트 단상 및 2상영역 열처리 온도에 따른 강도-연성 밸런스 값을 Fig. 4에 나타내었다. "A" 및 "C"시료보다 "B"시료가 특히 그 값이 높게 나타나며, 780℃의 2상영역에서 열처리한 경우가 3가지의 항온처리한 전 조건가운데 가장 높은 값을 나타내는데, 이것은 澤井 및 内田¹⁾의 실험에서 가열 시간이 6분에서 15분 사이에서 얻어진 결과와 유사하며, 강도-연성 밸런스값이 가장 높은 값은 "B"시료 780-370℃의 조건에서 얻어진 2882.4kgf/mm².%이다.

"A" 및 "C"시료에서는 대체로 오스테나이트 및

2상영역 열처리 온도가 높을수록 강도-연성 밸런스 값이 감소하고 있음을 알 수 있으며, 여기서 강도-연성 밸런스 값은 강의 인장강도에 의해서 영향을 미치기도 하지만 연신율에 의하여 더 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 여기서 얻어진 값은 필자등²⁷⁾이 이전에 실험한 결과와 다소 차이가 있는데 이러한 차이는 주로 오스테나이트 단상 및 2상영역 열처리조건의 차이에 기인한 것으로 생각할 수 있다. 즉, 이전에 필자가 사용한 가열조건은 가열시 분위기로를 사용하였으나 본 실험의 경우에는 염욕로를 사용하였기 때문에 그에 따른 실제 시편에서 얻어지는 시편의 균열시간 차이에 기인한 것으로 생각된다.

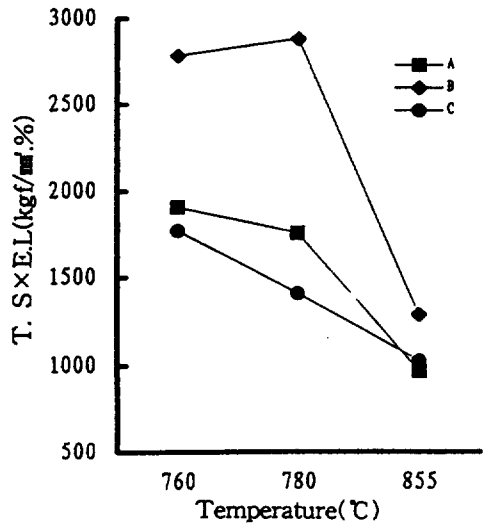


Fig. 4 Effect of the austenitizing and intercritical annealing temperature on T.S x E.L balance according to chemical composition variation at isothermal treated temperature of 370°C.

Fig. 5는 "B"시료에 대한 강도-연성 밸런스와 잔류 오스테나이트 생성특성을 나타낸 것이다. 2상영역 열처리한 2가지 경우 잔류 오스테나이트 생성량은 등온 열처리온도의 증가에 따라 감소하고 있으며, 그 생성량은 단상영역 오스테나이트화 처리한 경우보다 높으며, 2상영역 열처리온도가 760℃인 경우에 가장 많이 나타나고 있다. 사용된 전 열처리 조건 가운

데 생성되는 잔류 오스테나이트량은 760-340°C의 조건의 경우가 가장 높은 12.2%를 나타내고 있다. 잔류오스테나이트의 생성량이 많은 열처리조건에서 강도-연성 밸런스의 값도 대체로 높게 나타나며, 2상영역 열처리 조건이 단상영역에서 오스테나이트 처리한 경우보다 높고 780-370°C의 열처리 조건에서 가장 높은 2882.4kgf/mm².%가 얻어졌다.

Fig. 6은 인장강도와 연신율이 TS×EL에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 TS×EL값이 2500 이상인 경우에는 대부분 인장강도 80-90kgf/mm², 연신율 30% 전후로 연신율 값이 비교적 높은 경우에 주로 얻어지며, 인장강도가 높은 120kgf/mm² 이상인 경우에는 상대적으로 TS×EL 값이 1500 이하로 낮게 나타나는 경우가 많다. 따라서 본 실험에서 사용한 실험조건에서 TS×EL 값은 인장강도보다 연신율에 대한 의존성이 높으며, 연신율은 잔류 오스테나이트의 생성량과 상관관계가 많음을 알 수 있다. 전 열처리조건에서 잔류오스테나이트 생성량은 Si함량이 높은 "B"강이 가장 높게 나타나고 그 다음이 "A"강, "C"강의 순서이며 2상영역 열처리한 조건이 오스테나이트 단상영역 조건보다 많이 나오고 있다.

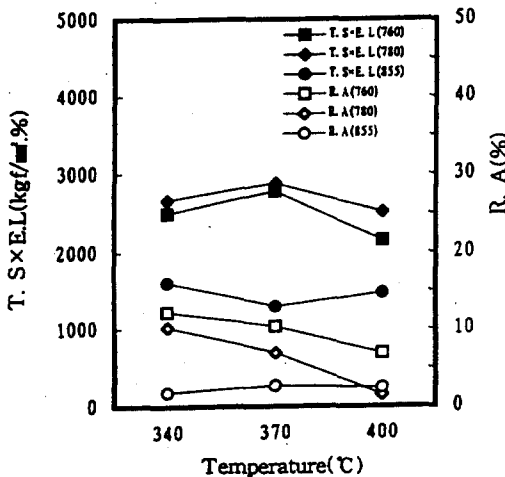


Fig. 5 Characteristics of the retained austenite and T.S×E.L balance according to isothermal temperature for "B" steel.

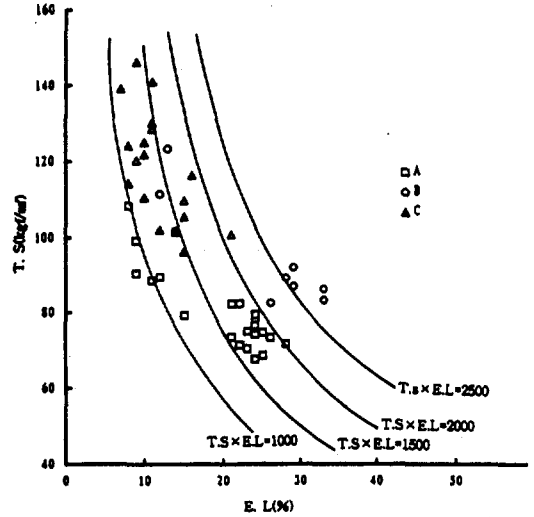


Fig. 6 Effect of T.S×E.L balance on the tensile strength and elongation in various heat treatment condition for "A", "B" and "C" steels.

4. 결 론

0.25-0.45% 범위의 탄소함량을 갖는 Si함유강을 오스템퍼링처리하였을 때 열처리 조건에 따른 기계적성질과 잔류 오스테나이트의 생성특성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 0.35% C-1.48% Si-0.95% Mn강에서 2상영역 열처리후 Ms직하의 온도에서 등온처리한 조건에서 라스상의 우모상 베이나이트 조직이 얻어졌으며, 2상영역 열처리후 등온처리한 조직은 초석 페라이트 기지에 제2상으로서 마르텐사이트, 베이나이트 페라이트 및 잔류 오스테나이트가 연결형으로 석출하였다.
- 잔류 오스테나이트는 TRIP 효과를 나타내는 약 2μm 크기로서 주로 베이나이트 페라이트 기지조직에 석출하여 연신율 향상에 기여하고 있으며, Si 함량이 높고 2상영역 열처리한 조건에서 잔류 오스테나이트의 생성량이 많고 그에 따라 강도-연성 밸런스값도 증가하였다.
- 인장강도는 전 등온열처리 조건에서 오스테나이트화 온도가 높을 수록 높게 나타나며, 연신율은 인장강도와 대체로 상반되는 경향을 나타내고, 2상

영역 열처리하여 370℃에서 등온처리하였을 때 가장 높은 값이 얻어졌다.

- 4) 전 등온처리조건에서 오스테나이트화 온도가 높을 수록 항복강도가 증가하며, Si함유량이 높은 "B"강에서 가장 낮은 항복비가 얻어졌다.
- 5) 강도-연성 밸런스값은 인장강도보다 연신율에 대한 의존성이 높으며, Si함량이 높은 강과 2상 영역 열처리 조건에서 높고 가장높은 값은 780-370℃ 열처리조건인 "B"강에서 연신율 33.4%일때 2882.4kgf/mm².%가 얻어졌다.

후 기

본 연구는 1995년도 포항종합제철주식회사의 연구비 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. 澤井 嚴, 內田尙志 : 熱處理, 31, (1991),225.
2. 伊藤哲夫 : 自動車技術, 41, (1987), 230
3. 澤井 嚴, 內田尙志, 神坂榮治 : 鐵と鋼, 71, (1985), 1292
4. 松村 理, 佐久間康治, 武智 弘 : 鐵と鋼, 71, (1985),1261.
5. 陳 煌泉, 憲良秀則, 清水峯男 : 鐵と鋼, 73, (1987),1261
6. Marschall, C. W. : Trans., ASM, 55,(1962), 135.
7. 大岡耕之, 三村 宏, 矢野清之助, 杉野和男, 泉武 : 日本金屬學會地, 30, (1966), 442
8. 武井英雄, 中佐啓治郎 : 日本金屬學會誌, 35, (1971), 1067
9. 須藤一 : 日本金屬學會報, 14, (1975), 681
10. Metas, S. J. and Hehemann, R. F. : Trans. Met. Soc. AIME, (1961), 221
11. 澤井 嚴, 內田尙志 : 熱處理, 30, (1990),27
12. Le Houillier, R., Begin, G. and Dube, A : Metal. Trans., 2, (1971), 2645
13. Pivovarov, V.M., Tananko, I.A. and Levchenko,A.A. : Phys. Met. Metallogr., 33,(1972), 116
14. Bhadeshia, H. K. D. H. and Edmond, D. V. : Metal. Trans. A, 10A, (1972), 895
15. Bhadeshia, H. K. D. H. and Edmond, D. V. : Acta Metall., 28,(1980), 1265
16. Sandvik, B.P.J. : Metall. Trans. A, 13A, (1982), 777
17. R. A. Grange : Metal Progress, April, (1961), 73
18. K. M. Andrews, : J. Iron and Steel Inst. July, (1965), 721
19. 津崎兼彰, 牧 正志 : 熱處理, 32,(1992), 70
20. Matsumara, O., Sakuma, Y. and Takechi, H. : Metall. Trans. A, Vol.22A(1991),489
21. W. S. Owen : Trans. ASM, 46, (1954), 812
22. 杉本公一, 翠 正宏, 小林光征, 白澤秀則 : 鐵と鋼,8,(1990),154
23. Matsumara, O., Sakuma, Y. and Takechi, H. : Transactions ISIJ, 27,(1987),570.
24. S. Lian and L. Hua : Meterials Science and Technology, 11, (1995), 499
25. 陳 煌泉, 友清憲治, 憲良秀則, 清水峯男 : 鐵と鋼, 4,(1989),56
26. B. V. N. Rao and M. S. Rashid : Metallography, 16, (1983),19
27. 宣詰坤, 金永勳, 金漢軍 : 韓國熱處理工學會誌, 8, (1995), 56