

《論 文》

응력제거 열처리가 60kg/mm²급 조질 고장력강의 용접부 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향

김은석* · 정인상** · 박경채**

*창원기능대학 용접학과

**경북대학교 금속공학과

The Influence of Stress Relieving on Microstructures and Mechanical Properties of Weld Metal in 60kg/mm² Quenched and Tempered High Strength Steel

O.S. Kim*, I.S. Chung** and K.C. Park**

*Dept of Welding, Changwon Industrial Masters College

**Dept. of Metallurgical Engineering, Kyungpook National Univ.

ABSTRACT

For the purpose of studying the influence of stress relieving on microstructures and mechanical properties of weld metal, manual arc welding, onepole and twopole submerged arc welding were accomplished on 60kg/mm² quenched and tempered high strength steel.

After stress relieving, a lot of carbides were precipitated, developed and subsequently coarsened at the grain boundaries and within matrix due to multiple tempering effect in manual arc welding, resulting in deteriorated toughness. Meanwhile pearlite and cementite films were spheroidized and shortened in submerged arc welding, resulting in improved considerable toughness.

It was observed that main effect of stress relieving was to reduce solut supersaturation by nucleation and growth of carbide precipitates, and stress relieving led to some reduction in the yield and tensile strenath but did not significantly affect elongation.

1. 서 론

용접구조물의 응력제거열처리(stress relieving : 이하 SR)는 용접 이음부의 잔류응력제거, 열영향부의 연화, 인성회복, 수소방출의 촉진등을 목적으로 행한

다. 이 열처리는 보통탄소강에서는 용접부가 냉각된 후 580~650°C범위로 재가열한 후 노냉시키는 것이다. 한편 SR처리는 일종의 뜨임처리로 생각되어지기 때문에 용접부 조직변화에 의해 인장특성보다 충격특성쪽이 더 크고, 그 충격특성변화는 모재부보다 용접

이음부 특히 경계부가 현저하다고 보고되어 있다.¹⁾

그러나 Suzuki²⁾에 의하면 SR처리에 의해 용접부 특히 열영향부가 뜨임효과를 받아 취화한다고 보고했고, Evans³⁾는 망간함량이 1.4%이고 탄소함량이 0.07~0.09%범위일 때 및 SR처리한 상태가 최상의 인성이었고, 여기에 탄소함량이 감소하면 SR처리후 인성이 향상되고, 탄소함량이 증가하면 인성이 저하된다고 보고하였다.

따라서 용접이음부에 대한 SR처리의 효과는 잔류응력의 완화와 인성회복 또는 취화를 명확히 구분해야 한다고 볼 수 있다. SR처리에 의한 용접 열영향부의 취화에 대해서는 주로 재현 열사이클에 의한 미세조직으로 해명되고 있지만, 실제 복잡한 미세조직 분포를 갖고 있으므로 해명이 복잡하고 연구자들간에 아직 이견이 많은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 60kg/mm²급 조질 고장력강이 미세조직과 기계적 성질에 미치는 SR처리의 영향을 살펴보기 위하여 SR처리 전후의 미세조직의 변화를 투과전자현미경을 이용하여 분석하고, 용접열영향부의 기계적 성질의 변화와의 관계를 상호 비교 조사코저한다.

2. 실험 방법

2.1. 재료 및 용접

본 연구에 사용한 모재는 두께 22mm의 ASTM A 537-2에 해당하는 재료로서 910°C 정도에서 두께 1.6mm당 20분으로 roller quenching하였고, 다시 630°C에서 두께 1.9mm당 20분으로 temp-ering후 공냉한 60kg/mm²급 조질 고장력강이다. Table 1은 모재의 화학성분 및 기계적 성질을 나타낸 것이다.

모재의 용접을 위하여 용가제로서 수동용접에서는 저수소계 고장력강용 AWS E9016-G 용접봉을, 자동용접에서는 AWS F7A8-EH14, ϕ 4.8mm를 사용했다.

용접은 입열량의 변화를 주기 위해 다층수동과 one-pole 및 two-pole Tandem 자동 서브머지드 방법으로 하였다. 그리고 one-pole로는 양면용접, two-pole로는 한쪽 편면 용접을 하였다. 각 용접 조건은 Table 2에 나타내었다. 수동용접에서는 용접일열이 17kJ/cm로 비교적 적었고 one-pole 용접에서는 57kJ/cm 및 two-pole 용접에서는 104kJ/cm로 대일열이다.

Table. 1. Chemical composition and mechanical properties of base metal

| Base metal A 537-2 (22mm) | Chemical composition (wt%) | | | | | | | | | Mechanical property | | | | Ceq* | Pcm** |
|---------------------------------|----------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|-----|----------|------|-------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Al | Cr | V | YS | TS | EL | V-charpy | | |
| | | | | | | | | | | (kg/mm ²) | | (%) | (-20°C) | | |
| | .14 | .35 | 1.38 | .009 | .003 | .016 | .049 | .069 | .013 | 52 | 62.7 | 29 | 28.2 | .339 | .2067 |

* Ceq=C+Mn/6+Si/24+Cr/5+Ni/40+Mo/4+V/14(%)

** Pcm=C+Mn/26+Si/30+Cv/20+Ni/60+Mo/15+V/10+5B(%)

Table. 2. Welding conditions

| Welding Cond. | Electrods | Current (A) | Voltage (V) | Speed (cm/min) | Heat input (kJ/cm) | Remarks |
|----------------|-----------|-------------|-------------|----------------|--------------------|---------|
| SMAW | | 160~190 | 24 | 15 | 17 | |
| SAW (one pole) | | 750 | 38 | 30 | 57 | DCSP |
| SAW (two pole) | L* | 800 | 45 | 35 | 104 | DCSP |
| | T** | 750 | 33 | | | AC |

2. 2. 조직관찰

미세조직 관찰은 투과전자현미경(JEOL-JEM 2000 FX II)을 이용하였으며, 사용된 가속전압은 200kV로 하였다. 투과전자현미경 조직관찰용 박편은 다이아몬드 절단 휠로 0.3mm 정도 두께로 절단하여, 0.1mm 이하로 기계연마한 후 3mm 직경으로 펀칭하여 제트연마하였다. 이때 전해연마액은 20% 과산화수소산과 80% 에타놀이고, 전해액의 온도는 -40°C였으며, 전압은 40V로 하였다.⁴⁾

2. 3. 기계적 성질

충격치는 용량이 30kg m(259J)인 샤피 충격시험기(MFL. PSW300)을 이용하여 ASTM E23의 규정⁵⁾에 따라 시험하여 측정하였다. 충격시험편은 Charpy V-notch 시험편으로서 판 표면으로부터 5mm 정도 기계 가공 후 시험편을 채취했다.⁶⁾

시험은 모재, 용접금속 및 열영향부를 구분하여 하였다. 여기서 용접부를 15% HNO₃용액으로 macro 부식 시킨 후 노치 위치를 용접금속(WM)과 열영향 경계부(BOND), 결정립 조대화부(HAZ 1), 결정립 미세화부(HAZ 2), 뜨임부(HAZ 3)로 구분하였다. 또 용접금속의 노치는 용접금속부의 중심부에 두었으며 모재의 압연방향에 대한 두께방향으로 했다.

강도측정을 위한 인장시험은 자동변위 측정장치가

부착된 25ton만능시험기(Schenck Trebel RSA 250)로 하였다. 시편은 용접이음부가 평행부에 위치하도록 하였으며 규격은 ASTM E8M-90의 small-size이고, 시험은 KS B 0802⁷⁾에 규정된 금속재료 시험방법에 따라 상온에서 5.0mm/min변형속도로 하였다.

용접부의 경도측정은 마이크로비커스 경도기(일본 Matuzawa, MHT-1)에서 300g 하중으로 하였다. 경도값은 5회 측정하여 최대 및 최소값을 제외한 후 평균값으로 하였다.

SR처리는 용접된 시편의 탈탄을 방지하기 위해 Ar 분위기에서 580°C에서 2시간 동안 유지시킨 후 노냉 시켰다.

3. 실험 결과

3. 1 SR처리전의 미세조직

SR처리전 수동용접의 경우 열영향부에서 조대 및 미세영역의 미세조직을 Photo. 1에 나타내었다. 여기서 수동용접에서는 적은 용접입열로 인해 냉각속도가 빠르고, 다층용접으로 인한 뜨임효과를 받아서 탄화물이 입계 또는 입내에 가는 관상또는 구상(화살표)으로 석출되어 있는 것이 관찰되었다.

SR처리전의 자동용접의 경우 열영향부에서 조대 및 미세영역의 미세조직을 Photo. 2와 Photo. 3에 나타내었다. 자동용접에서는 큰 입열량으로 인한 느린 냉각

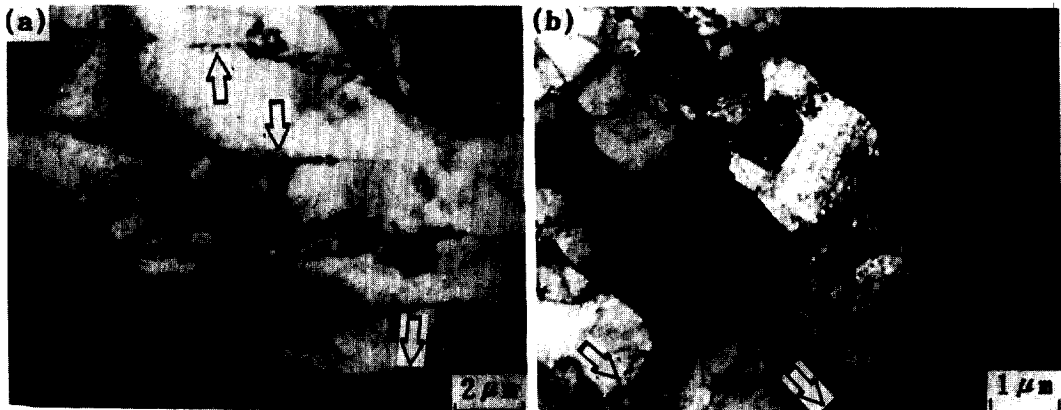


Photo. 1 Transmission electron micrographs of HAZ of SMAW, as-welded

a) coarsened grain region b) refined grain region



Photo. 2 Transmission electron micrographs of HAZ of SMAW after SR
 a) coarsened grain region b) refined grain region



Photo. 3 Transmission electron micrographs of HAZ of one-pole SAW, as-welded
 a) coarsened grain region b) refined grain region

속도 때문에 결정립계에 탄화물이 필립형태(화살표)로 석출되었고, 오스테나이트에서 페라이트로 변화가 촉진되면서 탄소의 확산으로 카바이드의 층상조직으로 석출된 퍼얼라이트(화살표)가 많이 나타났다.

3. 2. SR처리후 미세조직 변화

SR처리후의 수동용접의 경우 열영향부에서 조대 및 미세영역의 미세조직 변화를 Photo. 4에 나타내었다. 사진에서와 같이 재차 뜨임효과로 인해 보다 많은 양의 탄화물이 입계로의 석출, 용접 조대화된 것을 볼 수 있다. 그러나 용접금속부와 열영향부내의 결정립

크기의 변화는 없었다.

SR처리후의 자동용접의 경우 열영향부에서 조대 및 미세영역의 미세조직 변화를 Photo. 5 및 6에 나타내었다. SR처리로 인해 입계에 필립형태로 존재하던 카바이드가 분리되어 짧은 형태로 되었고, Photo. 5(a)와 같이 퍼얼라이트 조직내 층상의 세멘타이트가 분리되어 구상(화살표)으로 변화였으며, 입내에도 약간의 미세한 구상화된 탄화물이 석출하였다. 이 경우 역시 수동용접부와 마찬가지로 용접금속과 열영향부의 결정립 크기에는 변화가 없었다.

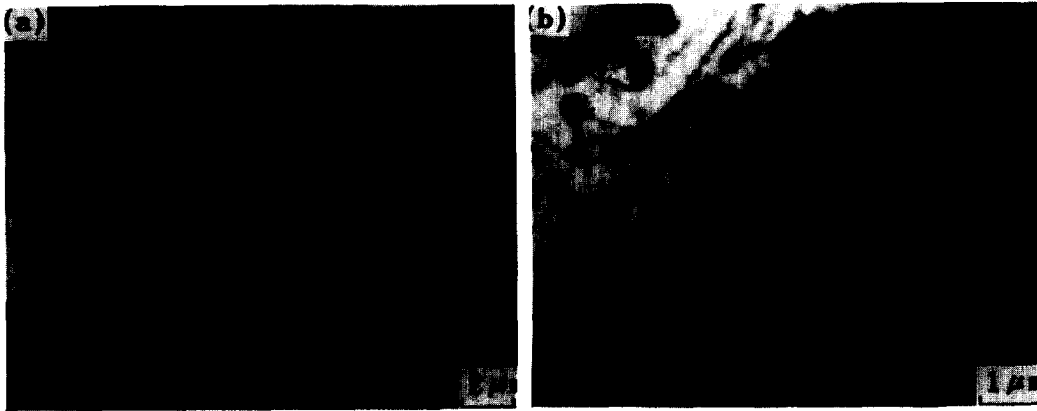


Photo. 4 Transmission electron micrographs of HAZ of one-pole SAW, after SR
a) coarsened grain region b) refined grain region

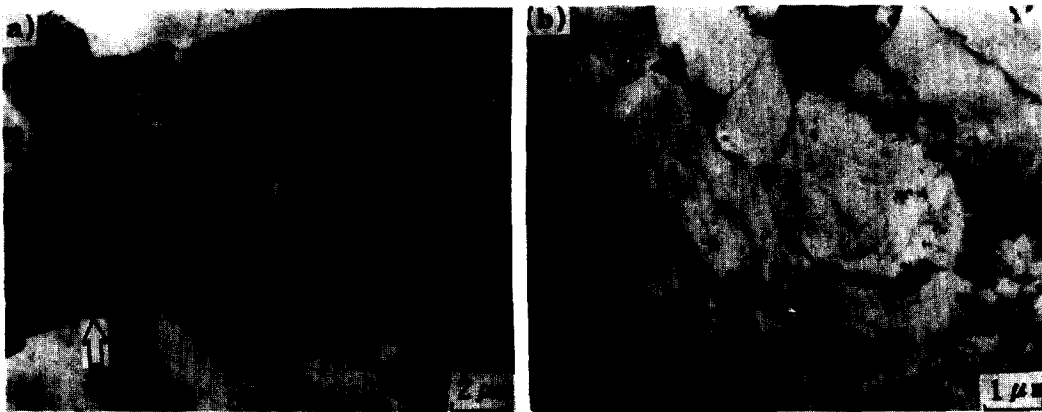


Photo. 5 Transmission electron micrographs of HAZ of two-pole SAW, as-welded
a) coarsened grain region b) refined grain region

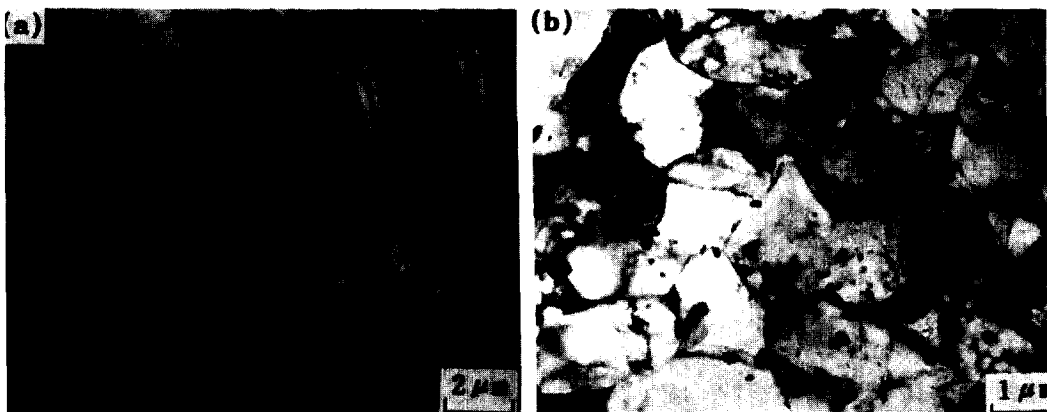


Photo. 6 Transmission electron micrographs of HAZ of two-pole SAW, after SR
a) coarsened grain region b) refined grain region

3. 3. SR처리후 용접부 기계적성질 변화

용접한 그대로와 SR처리후의 용접부 강도변화를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보면 용접한 그대로와 SR처리후의 경우 모두 용접 입열이 증가하면 인장과 항복강도는 감소하였으나, SR처리후의 경우가 용접한 그대로보다 항복 및 인장강도가 각각 평균 35MPa와 20MPa 감소 하였다. 또한 SR처리후의 경우 인상에 대한 항복강도비(YS/TS)가 0.82이하로 감소하여 전반적인 연화현상이 나타났다.

용접 각 부위별 SR처리전후의 충격흡수에너지를 Fig. 2에 나타내었다. SR처리후, 수동용접부는 전반적으로 SR처리전보다 인성이 감소하였고, 그중 경계부가 가장 많이 저하하였다. 반면 one-pole 및 two-pole 자동용접에서는 SR처리후 각 부위 모두 인성회복을 가져 왔으나 전반적으로 수동용접부보다는 흡수 에너지가 낮았다.

용접금속의 용접입열변화에 따른 SR처리전, 후의 경도변화는 Fig. 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 SR처리전의 경도치는 용접입열이 증가하면 감소하고 있으나, 어느경우나 용접금속과 열영향부 경계부가 가장 높았으며 용접금속의 경도가모재보다 대체로 높았다.

SR처리후의 용접부의 경도변화는 수동용접에서는

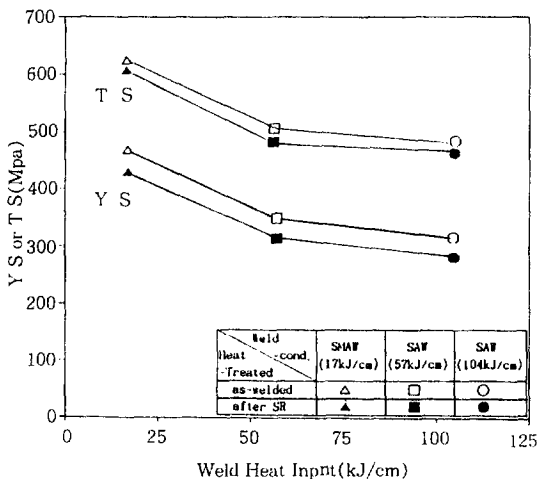


Fig. 1. Effect of SR on the tensile properties of welded joints

거의 같거나 부위별 약간 증가했으나, 자동용접에서는 one-pole 및 two-pole 경우 모두 20-30Hv 정도 감소하는 경향을 보였다.

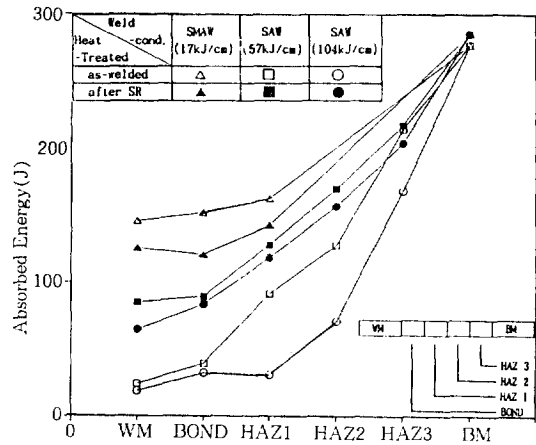


Fig. 2. Charpy test absorbed energy on each zone of weld at -20°C

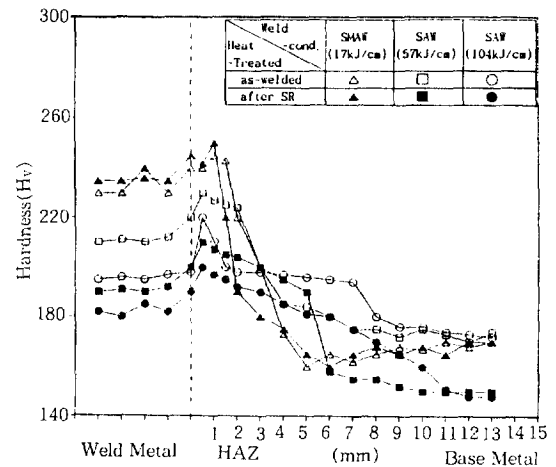


Fig. 3. Vicker's hardness measurements in the weld melted HAZ and base metal

4. 고찰

SR처리는 Photo. 4, 5 및 6과 같이 미세조직의 변화 즉 2차상 입자들의 석출과 구상화를 가져왔다. 이와 같은 현상은 Cochrance⁸⁾와 Farrar⁹⁾의 실험결과와 일치했고, 특히 Farrar는 SR처리로 인해 퍼얼라이트

내 층상의 세멘타이트 필름의 구상화 및 결정립계의 카바이드 형성과 기지내 미세한 카바이드 입자 석출의 두가지 중요한 미세조직변화를 관찰했다.

이 두가지 기구를 고찰하면 파괴인성의 영향에 대해서로 상반된 것으로 생각되어진다. 첫째로 카바이드가 특히 퍼얼라이트내에서 구상화되면 파괴과정이 어려워진다. 둘째로는 시간이 경과함에 따라 입계 석출된 카바이드는 크랙 시발점으로 작용하기 때문에 취화현상이 일어난다. Conch-rance⁸⁾에 의하면 세멘타이트 입자 크기, 특히 두께와 충격전이온도 상승과 상관관계가 있다고 보고했다.

본 실험에서 SR처리후 충격흡수에너지는 수동용접부에서는 약간 감소하고 자동용접에서는 상당한 인성회복을 가져왔다. 이러한 현상은 수동용접부의 SR처리전 미세조직은 다층용접으로 인한 적당한 뜨임효과를 받아서 용접금속부 및 열영향부의 결정입계에 탄화물이 미세한 필름형태 또는 구상으로 석출되었고 입내에도 미세한 구상의 석출물이 나타났다. 그러나 SR처리후의 미세조직은 Photo. 4에서와 같이 재차 뜨임효과를 받아서 용접열에 의해 과포화 고용된 보다 많은 양의 탄화물이 입계 및 입내로 석출, 응집, 조대화된 것을 알 수 있으며, 이러한 조대화된 탄화물은 크랙의 시발점으로 작용하기 때문에 인성저하를 초래한다고 볼 수 있다. 이와같은 사실은 Cochrane⁶⁾과 Suzuki⁷⁾ 등의 실험결과와 일치했다.

자동용접의 경우는 두가지 용접조건 경우 모두 다 상당한 인성회복을 가져왔다. 이는 SR처리전 자동용접부의 미세조직은 Photo. 2, 3과 같이 대체로 지연된 냉각속도에 의해 결정입계에 탄소화산에 의한 필름형태의 탄화물이 많이 석출되고 또한 많은 양의 퍼얼라이트조직이 인성저하원인으로 고찰되었다. SR처리후 미세조직 변화는 Photo. 5, 6과 같이 SR처리로 인한 일종의 뜨임효과를 받아서 입에 존재하던 관상의 세멘타이트 필름이 분리되어 짧게 되고, 퍼얼라이트내의 층상의 세멘타이트는 구상으로 변화했다. 이와같은 현상은 Farrar⁹⁾의 실험 결과와 일치하였고 퍼얼라이트내 세멘타이트의 구상화와 입계의 필름 형태의 세멘타이트가 떨어져 짧게 되어 크랙전파에 저항역할을 함으로써 인성회복을 가져온 것으로 생각된다.

SR처리 결과 항복 및 인장강도는 감소하였고 인장보다 항복강도의 감소가 더 크게 나타났는데 이것은 보통 탄소-망간계에서 나타나는 일반적인 연화현상이며,¹⁰⁾ 입계카바이드 석출로 인한 경화현상을 기대할 수 있으나 탄소-망간계 용접금속에서는 이러한 2차적 경화현상¹¹⁾은 나타나지 않았다.

5. 결 론

수동 및 자동용접부를 580°C에서 2시간동안 SR처리한 결과 미세조직과 기계적 성질의 변화는 다음과 같았다.

수동용접부에서는 재차 뜨임 효과로 인한 결정입계 및 입내에 다층용접에 의해 과포화 고용된 많은 양의 탄화물이 석출, 응집, 조대화 되어 약간의 인성저하를 가져온 반면, 자동용접부에서는 퍼얼라이트내의 층상의 세멘타이트 필름이 구상으로 되고, 입계에 관상의 세멘타이트 필름이 분리되어 짧은 형태로 변하여 상당한 인성 회복을 가져왔다.

SR처리가 인장과 항복강도를 감소시키는 것은 탄화물을 입계 및 입내에 핵생성 및 성장시킴으로서 용접열에 의해 모상중에 과포화된 탄소농도를 감소시키기 때문이다.

참 고 문 헌

1. 田中 : 日本鋼管技報, 1971, No. 55, pp671
2. M. Suzuki : J. W. S., 1976, Vol. 45, No.1, pp38
3. G. M. Evans : OERLIKON-Schweißmittellungen, 1980, Vol. 38, No. 93, pp12
4. K. C. Thompson-Russell and J. W. Edington, Practical Electron Microscopy in Materials Science, Vol. 5, 1977, pp416.
5. ASTM Stand., E23, 1978, : Method for Charpy Notchs Impact Testing
6. JIS Z 3040, 1981 : Method of Qualification Test for Welding-Procedure
7. KS B 0802 : 금속재료 인장시험 방법

8. R. C. Cochrane : The Iron and Steel Institute, 1971, pp101
9. R. A. Farrar, L. G. Taylor and E. M. Harrison : Metals Technology, 1979, pp380
10. G. M. Evans : OERLIKON-Schweißmittelungen, 1983, Vol. 41, No.103, pp15-27
11. G. M. Evans : IIW Doc. II-A-432-77.