

論文

304L Stainless Steel의 인장성질에 대한 변형온도, 변형속도 및 결정입도의 영향

강 창 룡* · 성 장 현**

*부산공업대학 금속공학과

**동아대학교 금속공학과

Effect of Deformation Temperature, Strain Rate and Grain Size on the Tensile Properties of 304L Stainless Steel

C. Y. Kang* J. H. Sung**

*Department of Metallurgical Engineering, Pusan National University of Technology

**Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University

ABSTRACT

This investigation has been carried out to make clear the effect of deformation temperature, strain rate and grain size on the tensile properties of 304L stainless steel.

Tensile properties of the metastable austenitic 304L steel remarkably influenced by deformation temperature. Tensile strength increased with decreasing deformation temperature and the elongation showed maximum value near 40°C.

In order to obtain the high elongation, a large amount of deformation is available in austenite before martensitic transformation and the martensite has to be induced gradually.

Tensile strength and elongation increased with decreasing grain size. The temperature representing the maximum elongation shifted to low temperature and the peak width of elongation became broaden with decreasing austenite grain size. The volume fraction of strain induced martensite decreased with decreasing austenite grain size.

As the strain rate increase, the temperature representing the maximum elongation value shifted to high temperature and volume fraction of strain induced martensite decreased.

1. 서 론

상온에서 준안정 오스테나이트(austenite) 조직을 갖는 스테인레스강을 변형에 의하여 오스테나이트 조직이 마르텐사이트(martensite)로 변태하는 온도(Md)와, 냉각에 의해 마르텐사이트로 변태하는 온도(Ms) 사이의 구간에서 가공하면, 마르텐사이트로 변태하는 소위 변

태유기소성(transformation induced plasticity : 이하 Trip 현상이라 한다) 거동을 나타낸다는 것은 이미 잘 알려져 있다¹⁻⁵⁾.

이와 같은 Trip 현상을 나타내는 재료는 가공에 의하여 기지인 오스테나이트상 보다도 강한 마르텐사이트상이 변태 생성되기 때문에, 강도가 현저히 상승되고^{5,6)}, 연신율은 가공 중 변태유기 생성되는 마르텐사이트에

의해, 재료내 국부적인 응력이 완화되므로서 넥킹(necking)을 억제하여 높은 연신율을 나타낸다고 보고되고 있다^{7,8)}.

이러한 Trip 거동을 나타내는 재료는 Seo⁹⁾ 등에 의해서 Fe-Ni, Fe-Ni-C, Fe-Cr-Ni-C, Fe-Mn, Fe-Cr-Ni-Mn-C계 등이 있다고 보고되고 있고 Zacky 등은^{10~12)} 이러한 현상을 이용하여 높은 강도와 우수한 인성을 갖는 Trip강을 개발하였다.

한편 Trip 거동은 오스테나이트의 안정도에 좌우되고 오스테나이트의 안정도는 그 재료의 화학조성과 변형온도에 지배되지만, 변형속도, 전기공도, 시험분위기, 결정입도 등에도 영향을 받고있다는 많은 연구 보고가 있다.^{3,7,8,13~19)}

그러나 이들 연구의 대부분은 Fe-Ni과 Fe-Ni-C계 및 Fe-Cr-Ni-C계에 대하여 수행되었고, 그중 Fe-Cr-Ni-C계에 대한 연구는 특정조성(12~19% Ni, 15~20%Cr의 조성범위)에 국한되어 있으며, 304L 스테인레스강에 대한 연구는 실용적인 면의 연구와 더불어, 가공과 강화²⁰⁾ 가공과 조직변화²¹⁾ 가공유기변태기구에 대한 성분원소의 영향 등에^{3,4,22)} 관한 연구가 진행되어 왔지만, 304L 스테인레스강의 Trip성에 미치는 결정입도와 변형속도에 대한 연구는^{17,23)} 거의 없고 체계적이지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 304L 스테인레스강의 기계적 성질이 가공중에 변태유기되는 마르텐사이트에 크게 지배를 받는다는 관점에서, 304L 스테인레스강을 열처리에 의하여 결정입도를 달리한 후 여러 온도에서 변형속도를 변화시켜 이들 인자들이 304L 스테인레스강의 인장성질에 미치는 영향을 보다 계통적으로 연구하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료

시료는 304L의 조성을 갖는 두께 12mm의 판재를 구입하여 열간압연에 의해 약 3.4mm판재로 압연한 다음 산세 등의 과정을 그친 후 냉간압연에 의해 1mm두께의 판재로 압연하였다.

이 판재를 ASTM E-8의 규격을 따라서 인장시편을 제작하였고, 그 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2. 열처리

Table 1의 화학조성을 갖는 시료를 인장시편으로 제

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

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.046	0.3	1.32	0.02	0.001	8.4	18.1

Table 2. Heat treatment conditions, grain size number and grain diameter

Temp (°C)	Time (min)	ASTM G.S.N	Dia (μm)
930	20	8.2	18
1,000	40	5.9	49
1,100	40	3.0	112
1,200	35	1.4	178

작 후, 1,100°C로 유지된 진공로에서 오스테나이트화 처리를 한 다음 진공 tube로에서 결정입도를 달리하기 위한 열처리를 하였다. 이때의 열처리 조건과 얻어진 결정립 크기를 Table 2에 나타내었다.

2.3. 현미경 조직시험

결정입도를 달리한 시료의 오스테나이트 조직관찰과 변형유기된 마르텐사이트의 조직관찰은 25g Cr₂O₃, 193ml CH₃COOH와 7ml H₂O를 혼합한 용액에서 전해연마와 전해부식을 행한 후 광학현미경과 주사전자현미경을 사용하였다. 한편 투과전자현미경에 의한 조직관찰은 인장변형된 시료를 CH₃COOH와 HCl₀₄를 혼합한 용액을 사용하여 상온에서 45V의 조건으로 Jet연마에 의해 박판을 만든 후 JEOL-200CX 투과전자 현미경을 사용하여 가속전압 200Kv에서 관찰하였다.

2.4. 마르텐사이트량 측정

인장변형에 의해 변태유기된 마르텐사이트량의 측정은 가능한 한 인장시험에 의해 파단된 부위를 포함시켜 시편을 채취하여, 가공의 영향을 배제하기 위하여 전해연마하여, X-Ray 회절기와 VSM 마르텐사이트 측정기를 이용하여 측정하였다.

2.5. 인장시험

인장시험은 shimadzu DSC-25T 인장시험기에 저온 및 고온시험을 할 수 있도록 장치를 부착하여 시험하였다.

시험중의 분위기는 0~100°C 온도 범위에서는 물을, 100°C 이상의 온도 범위에서는 oil을 사용하였고, 0°C이

하의 온도에서는 드라이아이스, 메틸알콜 및 액체질소를 혼합 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 인장변형에 따른 현미경조직 변화

Photo.1은 304L 스테인레스강을 Table.2에서와 같은 조건에 의해 열처리하였을 때 얻어진 결정입도가 다른, 쌍정(twin)을 포함하고 있는 전형적인 오스테나이트의 광학현미경 사진이다.

Photo.2는 결정립 크기가 $49\mu\text{m}$ 를 갖는 시료를 최대 연신율을 나타내는 온도인 40°C 에서 인장변형하였을 때

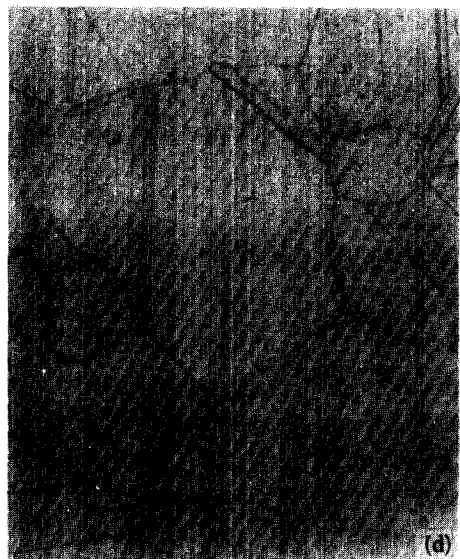
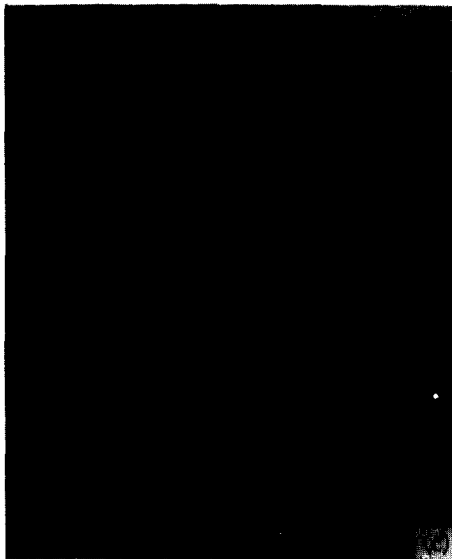
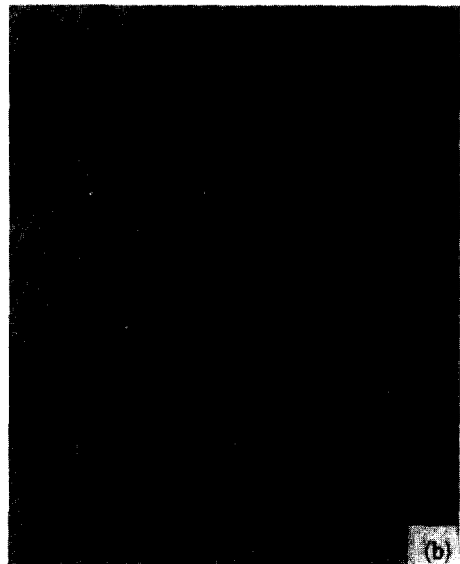


Photo.1. Optical micrograph of 304L stainless steel. ($\times 100$) Austenite grain sizes are : (a) $18\mu\text{m}$, (b) $49\mu\text{m}$, (c) $112\mu\text{m}$, (d) $178\mu\text{m}$.

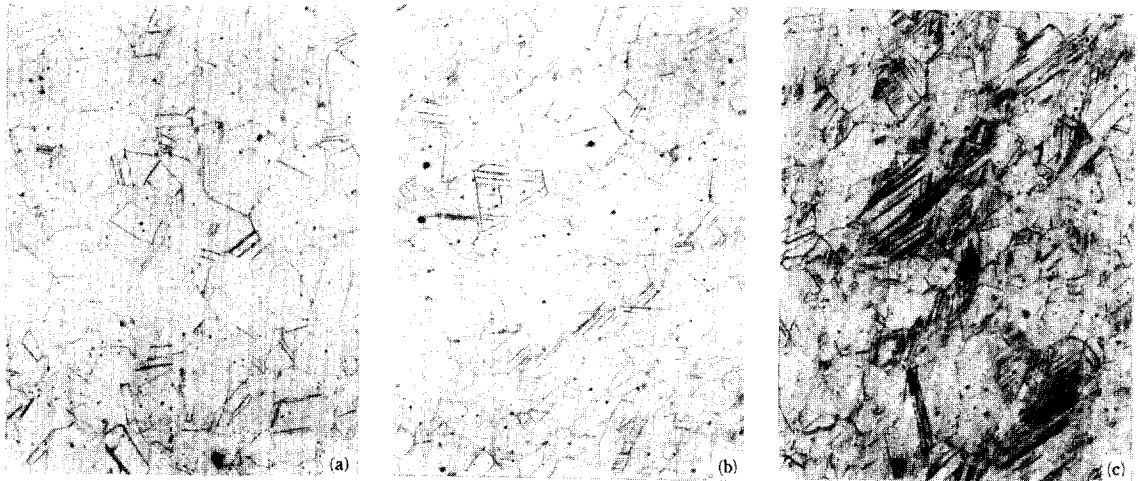


Photo.2. Optical micrograph of deformation induce martensite obtained by tensile testing at 40°C. (×100)
a) 10% Strain, b) 20% Strain, c) 32% Strain.

변형량에 따라서 변태되어진 변태유기 마르텐사이트를 나타내는 광학현미경 사진이다.

변형량의 증가와 더불어 마르텐사이트가 오스테나이트 내에서 점진적으로 변태유기 되어지고 있다.

Photo.3은 40°C에서 32%변형에 의해 생성된 마르텐사이트를 주사전자현미경에 의해 나타낸 사진으로서, 변태유기 생성되는 마르텐사이트 역시 표면기복 현상을 일으키면서, 생성되고 있음을 나타낸다.

Photo.4는 40°C의 온도에서 인장변형시켰을 때 파단된 시료의 평행부에서 변태된 조직을 나타내는 투과전

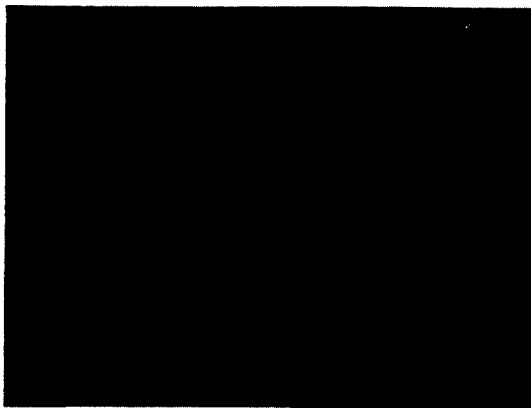


Photo.3. SEM micrographs of martensite obtained by tensile deformation at 40°C. (×1000)

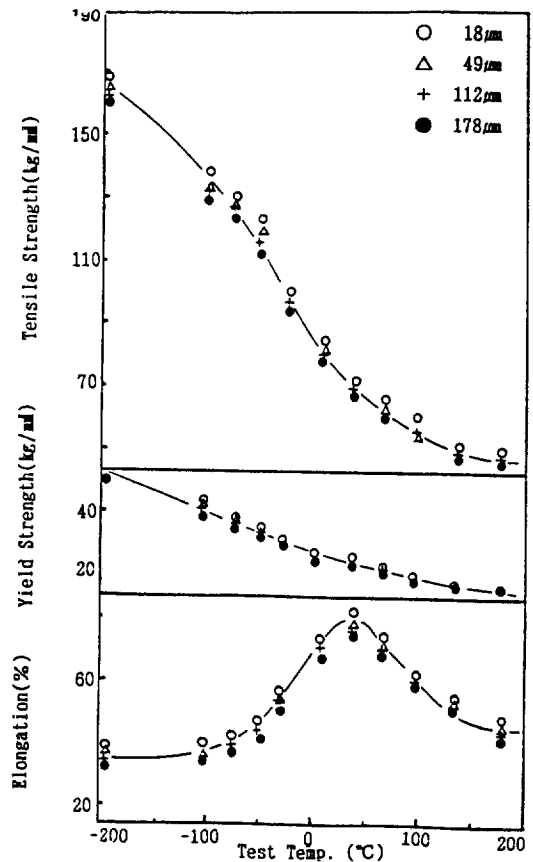


Fig.1. Effect of test temperature on the tensile properties of 304L stainless steel.

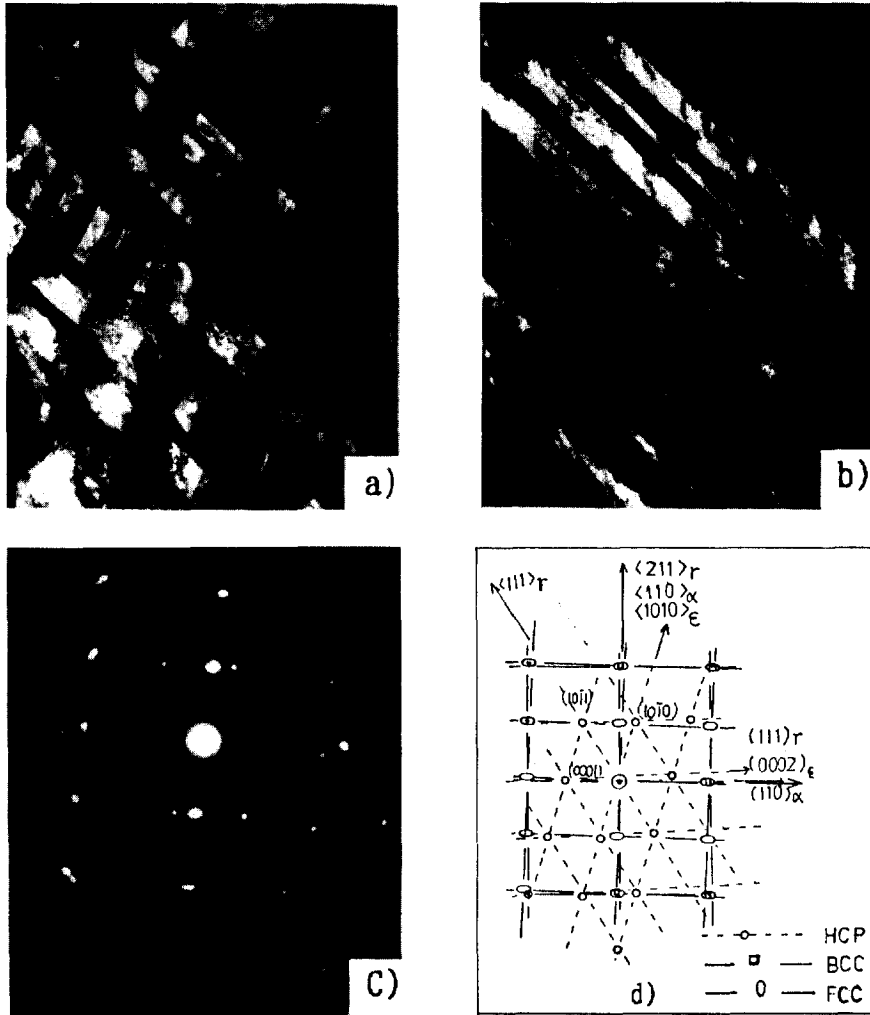


Photo. 4. TEM micrographs of the transformation induced martensite. ($\times 10000$)
 (a) bright field, (b) dark-field illumination, (c) diffraction pattern, (d) indexed pattern.

자현미경 조직 사진이다. 사진 c)의 회절패턴 분석에서와 같이, 오스테나이트상에서 변태유기 소성이 일어나 ϵ 및 α' 마르텐사이트가 생성되고 있다는 것을 알 수 있다.

304L 스테인레스강은 상온에서 면심입방정의 오스테나이트 조직이지만 Ms-Md사이의 온도 영역에서 가공하면 ϵ 과 α' 의 마르텐사이트로 변태한다고 알려져 있고, 이러한 ϵ 과 α' 마르텐사이트의 변태과정에 대한 많은 연구가 진행되었다^{2,4,20,21}.

3.2. 인장성질에 미치는 변형온도의 영향

3.2.1. 인장성질과 변형온도와의 관계

준안정 오스테나이트 조직을 갖는 304L 스테인레스강의 인장성질은, 소성변형에 의해 변태유기 생성되는 마르텐사이트에 밀접한 관계가 있고, 변태유기 생성되는 마르텐사이트의 양은 변형온도에 따라 달라지기 때문에 인장성질도 변형온도에 따라서 변화한다.

Fig.1은 $-196^\circ\text{C} \sim +180^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 인장시험 하였을 때 얻어진 강도와 연신율을 시험온도에 따라서 나타낸 것이다.

Fig.1에서 나타내는 바와 같이 인장강도는 온도감소

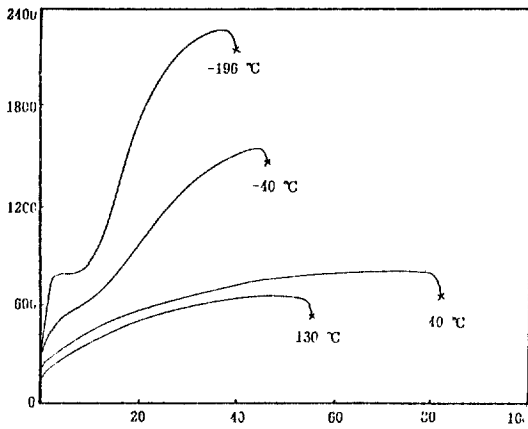


Fig. 2. Stress-strain curves obtained by the tensile testing at various temperatures.

와 함께 100°C 정도 까지는 서서히 증가하고, 그 이하의 온도범위에서는 온도감소와 더불어 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 반면에 연신율은 저온과 고온 영역에서는 낮고 40°C 부근에서 최대값을 나타내고 있다. 이와같이 특정 온도에서 연신율이 최대값을 갖는 이유는 오스테나이트의 안정도에 관계되기 때문이다^{3,7,8)}.

또한 고온에서 저온으로 시험온도가 낮아짐에 따라, 최대연신율을 나타내는 온도까지는 강도와 연신율이 동시에 증가하는 특이한 현상이 관찰되지만, 최대 연신율을 나타낸 이후에, 연신율 감소와 더불어 인장강도가 급격히 증가하고 있다.

이와같은 현상은 인장변형에 의해 가해진 응력이 기존의 오스테나이트상을 마르텐사이트로 유기변태시키는데 그 원인이 있다고⁷⁾ 알려져 있다. 따라서 저온영역에서 강도가 높고, 연신율이 낮은 이유는 저온에서는 오스테나이트의 안정도가 낮아 변형의 초기부터 다량의 마르텐사이트가 발생되어 강도와 연신율을 지배하기 때문이고, 고온 영역에서 강도가 낮고 연신율이 낮은 이유는, 오스테나이트의 안정도가 높기 때문에 변형의 최종단계에서도 마르텐사이트의 생성량이 작아 강도와 연신율을 지배하기 때문이라고 생각할 수 있다^{5,6)}.

Fig. 2는 결정입도가 동일한 시료를 여러 온도에서 인장변형하여 얻어진 응력-변형률-곡선을 나타낸 것이다.

40°C와 130°C의 온도에서 얻어진 곡선은 완만한 포물선 형태를 나타내고 있는데 반하여, -40°C와 -196°C

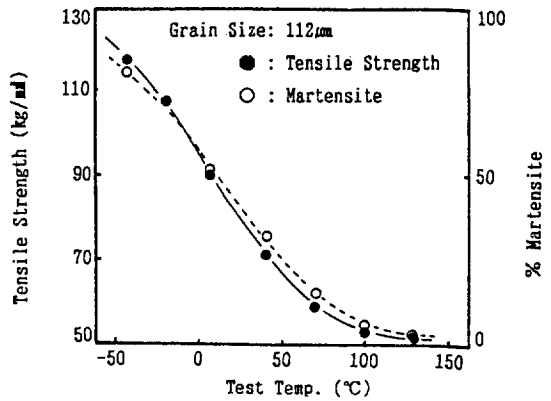


Fig. 3. Tensile strength and percent martensite as a function of testing temperatures in 304L stainless steel.

에서 얻어진 곡선은 S곡선 모양의 특이한 형태를 나타낸다. 이와같이 변형온도에 따라서 곡선의 형태가 상이한 원인은 -40°C와 -196°C의 온도에서는 작은 변형에서도 많은 마르텐사이트가 생성되기 때문이고, 40°C와 130°C의 경우는 마르텐사이트가 변형과 더불어 점진적으로 형성되기 때문이라고⁷⁾ 알려져 있다.

이상의 결과로부터 변형온도에 따라서 마르텐사이트의 생성량도 달라지고, 인장성질도 변화되고 있음을 알 수 있다.

3.2.2. 인장성질과 변태유기 마르텐사이트와의 관계

앞에서 304L 스테인레스강의 인장성질이 변형온도에 따라서 달라지는 원인이 변태유기 생성되는 마르텐사이트에 기인되고 있음을 알 수 있었다. 이 관계를 보다 더 명확하게 규명하기 위해서 인장성질과 마르텐사이트량의 관계를 조사하였다.

Fig. 3은 결정립 크기가 112µm인 시료를 -40°C ~ 130°C의 온도 범위에서 인장변형하였을 때 얻어진 인장강도와 마르텐사이트량은 변형온도에 따라서 나타낸 것이다. 변형온도 감소에 따른 인장강도의 증가가 마르텐사이트량의 증가와 잘 일치하고 있다.

Fig. 4는 Fig. 3에서와 같은 동일한 조건에서 얻어진 인장강도와 변태유기 생성된 마르텐사이트량과의 관계를 나타낸 것으로서, 변태유기 생성된 마르텐사이트량의 증가에 따라서, 인장강도가 직선적으로 증가하고 있다.

이 결과로부터 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 재

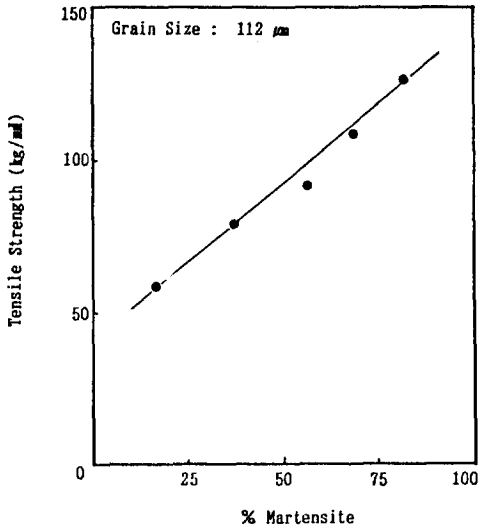


Fig. 4. Tensile strength as a function of percent martensite in 304L stainless steel.

료의 인장강도는 마르텐사이트량에 지배되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 시료의 연신율과 마르텐사이트량과의 관계를 나타낸 것으로, 연신율은 마르텐사이트량의 증가와 함께 증가하는 특이한 거동을 나타내다가 마르텐사이트의

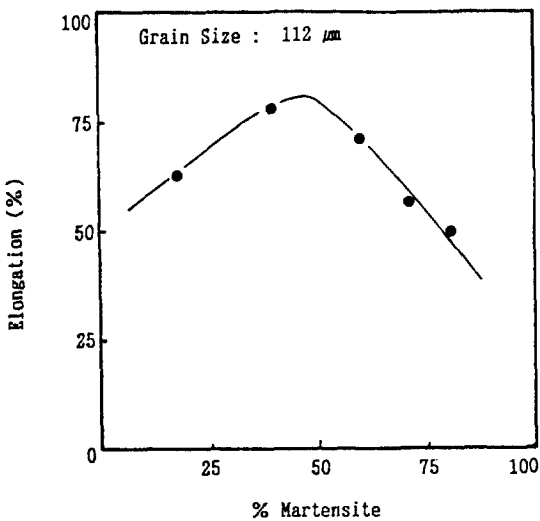


Fig. 5. Relation between percent martensite and elongation in 304L stainless steel.

양이 50%인 부근에서 최대의 연신율이 나타난 후 감소하고 있다.

이러한 연신율의 거동을 좀더 명확하게 규명하기 위하여, 결정립 크기가 47μm인 시료를 최대 연신율을 나타내는 온도인 40°C에서 인장변형시켜, 변형량에 따른 마르텐사이트량과의 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 20%의 변형까지는 변태유기 생성되는 마르텐사이트의 양이 5% 이하로 적고, 30~50%의 변형에서는 변형과 더불어 서서히 증가하기 시작하며, 변형률이 50%를 넘으면 마르텐사이트량은 급속히 증가하고 있다. 또한 파단이 일어난 후에 얻어진 마르텐사이트의 양은 약 50% 정도이다.

변태유기소성에 대한 Tamura⁸⁾ 등의 보고에 따르면, 준안정 오스테나이트조직을 갖는 시료의 연신율이 Ms점 이상의 온도 영역에서 증가하는 현상에 대하여, 소성 변형시 넥킹부에서 가공유기 마르텐사이트가 생성됨에 의해, 넥킹부의 응력이 완화되기 때문에 더 이상의 넥킹이 억제되어 지므로, 균일연신율이 증가되어 총 연신율이 높아진다고 하였다. 또한 Md점 직하에서는 소성 변형시 생성되는 마르텐사이트의 양이 적어 넥킹을 억제하기에 충분하지 못하기 때문에 연신율이 낮고 Ms점 직상에서는 변형 초기에 다량의 마르텐사이트가 생성되므로 연신율이 낮다고 보고하였다.

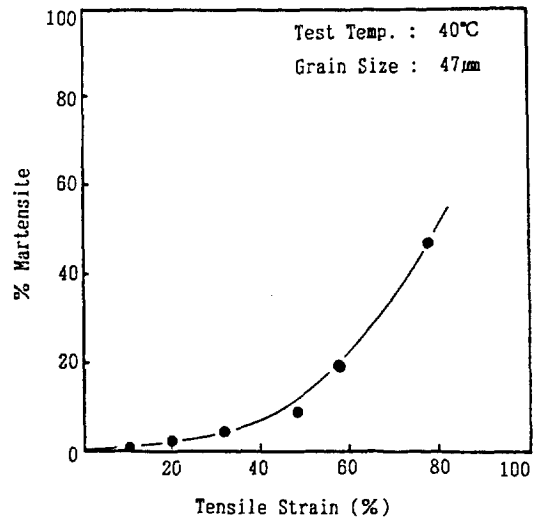


Fig. 6. Relation between martensite percent and tensile strain.

이러한 내용과 본 실험에서 얻어진 결과를 종합하여 볼 때, 높은 연신율을 얻기 위해서는 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하기 이전에 오스테나이트 자신의 변형량이 많아야 하고 그 후에는 마르텐사이트가 변형과 더불어 점진적으로 생성하여 마르텐사이트에 의한 강화가 넥킹을 일으키는 응력을 극복하여야 한다고 예상할 수 있다.

본 실험에서는, 이와같은 조건을 만족시키는 마르텐사이트의 양은 Fig.5와 Fig.6에서와 같이 40~60% 범위로 예상할 수 있다.

3.3. 인장성질에 미치는 결정입도의 영향

준안정 오스테나이트 조직을 갖는 스테인레스강의 인장성질은 오스테나이트 안정도에 영향을 미치는 인자의 하나인 변형온도에 의해 큰 영향을 받고있다고 보고^{17,23)} 되어 있다.

Trip성을 갖는 재료의 오스테나이트 안정도에 관해서

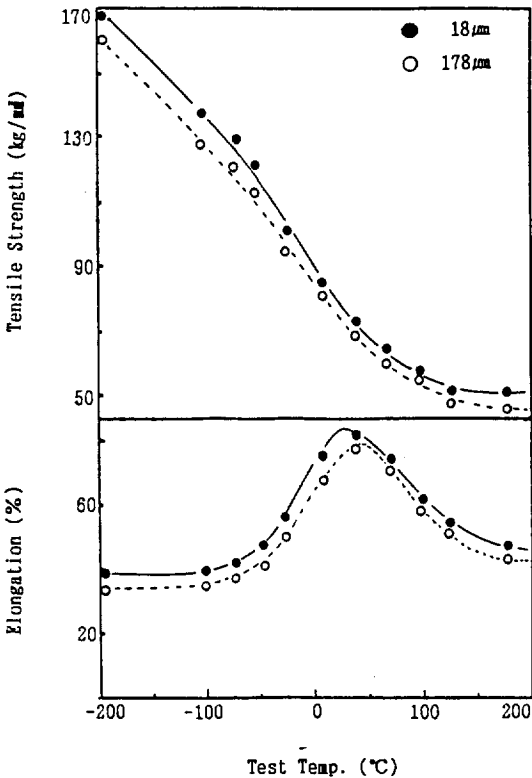


Fig. 7. Effect of test temperature and grain size on the tensile properties in 304L stainless steel.

Angel²⁴⁾은 Md_{30} (오스테나이트 단상 조직의 시료에 0.30 진변형을 가할 때 조직의 50%가 마르텐사이트로 변태하는 온도)을 제시하여 오스테나이트 안정도에 관해서 논하였다.

한편, Tamura⁸⁾에 의하면 Fe-Ni계의 Trip현상은 결정입도의 영향을 받지만 Fe-Cr-Ni-C계는 그다지 영향을 받지 않는다고 보고하였다. 본 실험에서는 시험분위기를 액체로 하여, 결정립 크기가 Trip성에 미치는 영향을 보다 체계적으로 조사하였다.

Fig.7은 결정립 크기가 다른 시료를 $-196^{\circ}\text{C} \sim +180^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 인장시험 하였을 때 변형온도에 따른 인장강도와 연신율의 변화를 나타낸 것이다.

인장강도는 전 변형온도 구간에 걸쳐 결정립이 미세할수록 약간 높게 나타났지만, 최대 연신율을 나타내는 온도는 미세한 결정립의 시료가 저온으로 이동하였고, 동일 연신율에서 피크의 폭도 넓어져 있다.

이와같은 현상은 결정립 크기에 따라서 오스테나이트의 안정도가 달라지기 때문이다^{13~19)}. 즉 결정립 크기가

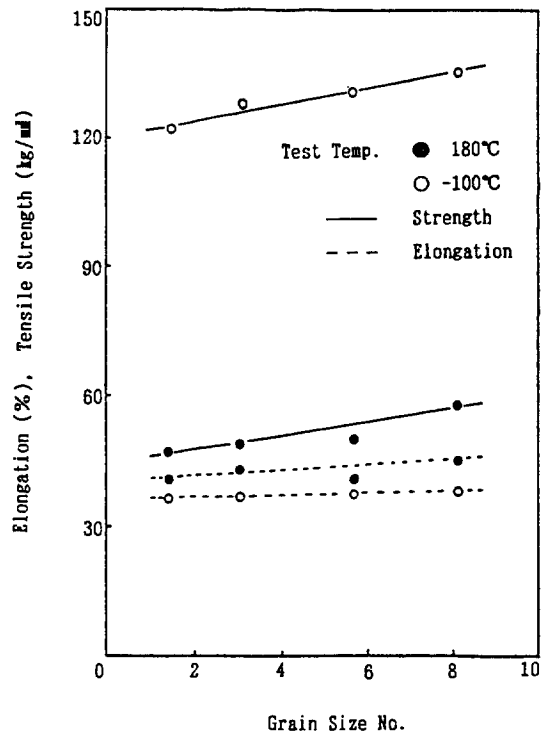
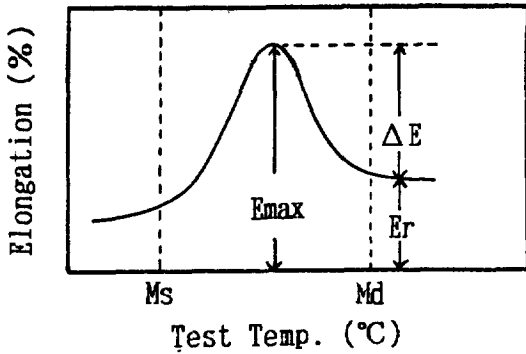


Fig. 8. Effect of austenite grain size on the tensile properties in 304L stainless steel.

Table 3. Analysis of increase in elongation by TRIP.



Grain Size (μm)	Er (%) Test Temp. : 180°C	Emax. (%) at. 40°C	ΔE (%)
18	43	82	39
178	38	74	36

Er : Elongation of stable austenite obtained by +180°C test (without TRIP)

Emax : Maximum elongation (with TRIP)

ΔE : Amount of increase in elongation by TRIP phenomenon

미세할수록 Md점과 Ms점이 낮아지기 때문에 최대 연신율을 나타내는 온도가 저온으로 이동하고, 동일 연신율에서 피크의 폭이 넓어지는 것은 Md점이 낮아지는 정도가 Ms점이 낮아지는 정도에 비하여 적어서 Ms점과 Md점의 구간이 넓어지기 때문¹⁹⁾이라 생각된다.

Fig. 8은 결정입도가 다른 4가지 시료를 180°C와 -100°C에서 인장시험 하였을 때 얻어진 인장강도와 연신율 변화를 결정입도에 따라 나타낸 것이다.

결정입도가 미세할수록 강도와 연신율은 약간 증가하고 있다.

Table. 3은 결정입도가 Trip성에 미치는 영향을 정확하게 분석하기 위하여 나타낸 것이다.

Table. 3에서 알 수 있는 바와 같이 Trip성이 없는 180°C에서 결정입도 차이에 따른 연신율의 차이는 5%이고, 최대 연신율을 나타내는 40°C에서 총 연신율의 차이는 8%이다. 그러나 여기서 오스테나이트 결정입도 차이에 의해 나타나는 연신율의 차이를 빼면 Trip성에 기여하는 결정입도의 차이는 3%로서 대단히 적다. 따라서 304L 스테인레스강의 Trip성에 미치는 결정입도의 영향은 그다지 크지 않다고 추측할 수 있다.

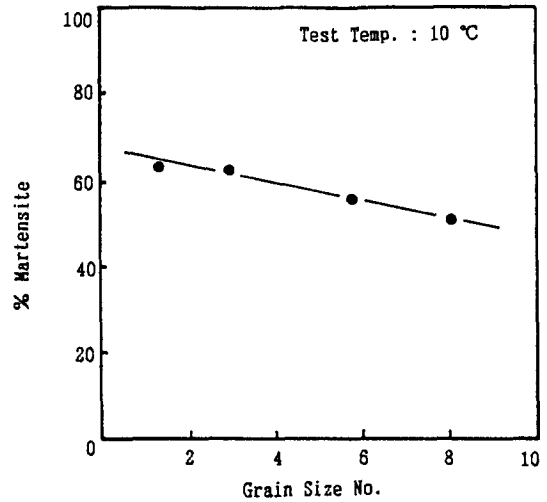


Fig. 9. Relation between grain size and percent martensite in 304L stainless steel.

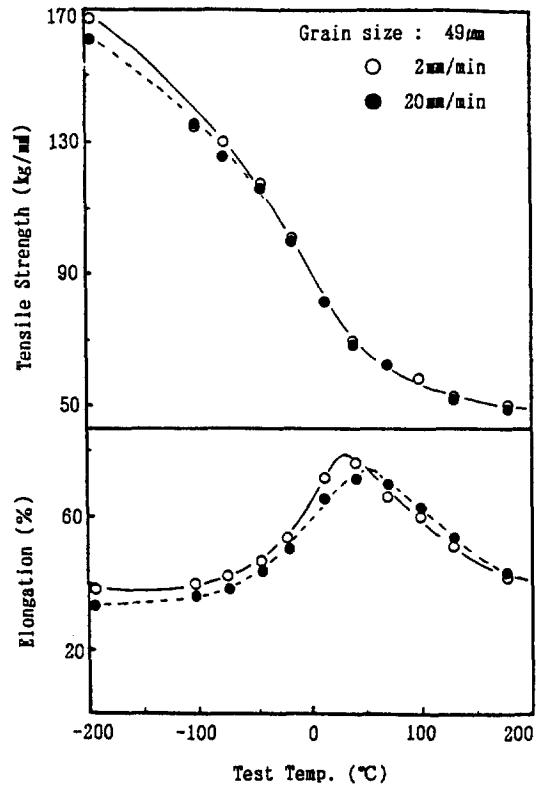


Fig. 10. Effect of test speed and test temperature on the tensile properties in 304L stainless steel.

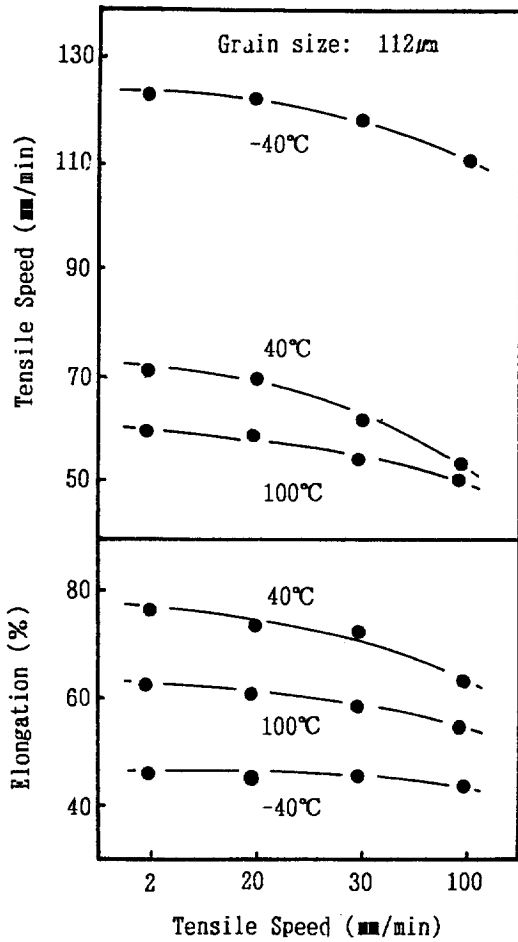


Fig.11. Effect of tensile speed on the tensile properties in 304L stainless steel.

Fig.9는 시료를 10°C에서 인장시험 하였을 때 마르텐사이트량과 결정입도와의 관계를 나타낸 것이다. 결정입도가 작아짐에 따라서, 변태유기 생성된 마르텐사이트량도 감소하고 있다. 이와같이 결정립이 미세할수록 마르텐사이트량이 적어지는 이유는 Md점과 Ms점이 낮아지므로 오스테나이트 안정도가 변화하는데 원인이 있다고²³⁾ 예상할 수 있다.

그러나 결정입도의 변화에 따른 마르텐사이트량의 변화는 강도에는 크게 영향을 미치고 있지만, 연신율의 증가는 마르텐사이트량 그 자체 보다는 앞에서 논한 바와 같이 변형에 따라 점진적으로 마르텐사이트가 생성되어져야 하며, 그때 얻어지는 마르텐사이트량은 50

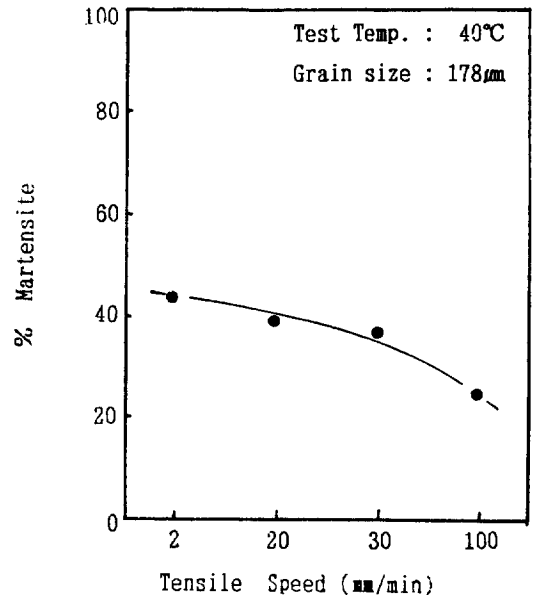


Fig.12. Relation between tensile speed and percent martensite in 304L stainless steel.

~60% 정도가 될 것으로 판단할 수 있다.

3.4. 인장성질에 미치는 변형속도의 영향

준안정 오스테나이트 조직을 갖는 재료의 기계적 성질은 변형에 의한, 변태유기 생성되는 마르텐사이트에 의해 지배를 받고 변태유기 생성되는 마르텐사이트의 양은 변형속도에 지배를 받는다고 알려져 있다^{3,20,25)}.

따라서 본 실험에서는 변형속도를 변화시켜 인장시험하여 인장성질과 마르텐사이트량과의 관계를 계통적으로 조사하였다.

Fig.10은 결정입도가 49µm인 시료를 -196°C ~ +180°C 온도 범위에서 인장시험하여 인장성질에 미치는 변형속도의 영향을 나타낸 것이다. 20mm/min 이하의 변형속도 범위에서는 상온 부근과 고온에서 인장강도와 연신율에 미치는 변형속도의 영향은 거의 없으나 저온 영역에서는 약간의 차이가 나타나고 있다. 또한 변형속도가 빨라지면 최대연신율을 나타내는 온도가 약간 저온으로 이동하고 있다.

변형속도가 빠를수록 저온영역에서 강도와 연신율이 낮아지는 이유는 변형속도가 빨라짐에 따라 오스테나이트의 안정도가 낮아져서 마르텐사이트가 급격히 생성되기 때문이라고 보고⁶⁾되어 있다.

인장성질에 미치는 변형속도의 영향을 좀더 폭넓게 조사하기 위하여 결정입도가 112 μm 인 시료를 몇개의 온도에서 2mm/min에서 100mm/min까지 변형속도를 변화시켜서 Fig.11에 나타내었다.

Fig.11에서 변형속도가 30mm/min을 넘으면 강도와 연신율이 낮아지기 시작하고, 특히 최대연신을 나타내는 40 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우 인장성질에 미치는 변형속도의 영향이 가장 민감하게 나타났다.

변형속도 변화에 따른 연신율의 변화는 변형속도가 변화됨에 따라 변태유기되는 마르텐사이트량이 변화되는데 원인이 있다고^{7,27)} 생각할 수 있다.

Hirano²⁸⁾ 등은 변형속도가 빠를수록 가공에 의해 열이 발생되므로 시험편의 온도가 상승하여 변태유기 마르텐사이트의 양이 감소하기 때문에, 변형속도가 빠를수록 강도와 연신율이 낮아진다고 보고하였다.

이러한 관계를 조사하기 위해서 결정립 크기가 178 μm 인 시료를 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 변형속도를 달리하여 인장변형 시킨 후 마르텐사이트량과 변형속도와의 관계를 Fig.12에 나타내었다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 변형속도 증가와 함께 변태유기된 마르텐사이트량이 감소하고 있다.

이상에서 변형속도가 증가함에 따라 오스테나이트의 안정도가 낮은 저온에서 강도가 낮고 연신율 또한 감소하고 최대연신율을 나타내는 온도가 고온으로 이동하는 것은 Fig.12에서와 같이 마르텐사이트량이 변형속도에 따라 감소하는데 주된 원인이 있다고 생각된다.

4. 결 론

상온에서 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 304L 스테인레스강을 열처리하여 결정입도를 달리한 후 변형온도와 변형속도를 변화시켜, 인장성질에 미치는 변형온도, 결정립크기 및 변형속도의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 304L 스테인레스강의 인장성질은 변형온도에 따라 크게 달라지고 있으며, 주로 변태유기된 마르텐사이트에 지배되었다. 인장강도는 변형온도 저하와 더불어 증가하고, 연신율은 40 $^{\circ}\text{C}$ 부근의 온도에서 최대값을 나타내었다.

2. 높은 연신율을 얻기 위해서는 마르텐사이트로 변태하기 이전에 오스테나이트 자체의 변형이 커야 하고,

변형량의 증가와 더불어 마르텐사이트가 점진적으로 변태유기되어야 한다.

3. 결정입도가 Trip성에 미치는 영향은 대단히 작고, 결정립이 미세할수록 강도와 연신율은 증가하고, 최대연신율을 나타내는 온도는 저온으로 이동하며, 동일 연신율에서 피크의 폭도 크게 나타났다. 결정립이 미세할수록 변태유기 생성되는 마르텐사이트의 양도 감소하였다.

4. 변형속도가 증가하면 강도와 연신율이 낮아지고 최대연신율을 나타내는 온도는 고온으로 약간 이동하며, 변태유기 생성되는 마르텐사이트량도 감소하였다.

5. 참고문헌

1. G.H. Eichelman and F.C. Hull : Trans. ASM, 45 (1953), 77.
2. L. Kauffman and M. Cohen : Trans. AIME, 208 (1956), 1393.
3. H.M. Otte : Acta Met., 5, (1957), 614.
4. B. Cina : Acta Met., 6 (1958), 748.
5. 平山, 小切間 : 日本金屬學會誌, 34 (1970), 507.
6. 平山, 小切間 : 日本金屬學會誌, 34 (1970), 511.
7. Y. Fukase, K. Ebato, N. Okubo and S. Murao : Trans. ISIJ, 8 (1968), 311.
8. I. Tamura, T. Maki and H. Hato : Trans. ISIJ, 10 (1970), 163.
9. S. Seo, T. Miyazaki, E. Yajima and K. Morito : 日本金屬學會誌, 37 (1973), 1172.
10. V.F. Zackay, E.R. Parker, D. Fahr and R. Busch : Trans. ASM, 60 (1967), 252.
11. R.R. Chanani, V.F. Zackay and E.R. Parker : Met. Trans., 2 (1971), 133.
12. D. Fahr : Met. Trans., 2 (1971), 1883.
13. T. Hirayama : 日本金屬學會誌, 5 (1971), 447.
14. G.W. From and W.M. Baldwin : Trans. ASM, 48 (1954), 474.
15. S. Floreen and G.W. Tuffnell : Trans. ASH, 57 (1954), 301.
16. F. Lacroisey and A. Pineau : Metallurgical Trans., 3 (1972), 387.
17. J.P. Bressanelli and A. Moskowitz : Trans.

- ASM, 59 (1966), 223.
18. D. Fahr : Metallurgical Trans. 2 (1971), 1883.
19. T. Maki, Y. Tomota and I. Tamura : 日本金屬學會誌, 38 (1974), 871.
20. R.P. Reed : Acta Met., 10 (1962), 865.
21. P.L. Mangonon and G. Thomas : Metall. Trans., 1 (1970), 1577.
22. V.N. Krirobok and A.M. Talbot : Proc. ASTM, 50 (1950), 895. D.T. Liewellyn and J. D. Murray : ISI S.R. 86, pp.197.
23. B. Cina : JISI, 177, 1 (1954), 406.
24. T. Angel : JISI., 177 (1954), 165 : D.C. Ludwigson and J.A. Berger : JISI, 61 (1969), 63.
25. K. Nohara, Y. Ono and N. Ohashi : 鐵と鋼, 63 (1977), 212.
26. 野原清彦, 渡邊健次, 小野實, 大橋延夫 : 鐵と鋼, 60 (1974), 317.
27. A. Rosen, R. Jago and T. Kjer : J. Met. Sci., 7 (1972), 870.
28. H. Hirano, M. Sudo and Y. Yutor : 日本金屬學會誌, 33 (1969), 975.