

## 역변태된 준안정 오스테나이트계 STS강의 기계적 성질에 미치는 Cr과 Ni의 영향

金榮煥 · 鄭炳琥 · 安龍植\* · 鄭海用\* · 裴且憲\* · 朴興日\*\* · 金雨烈\*\*

부산공업대학교 금속공학과, \*재료공학과, \*\*생산가공공학과

### Effect of Cr and Ni on the Mechanical Properties in Reversed Metastable Austenitic STS Steels

Y. H. Kim, B. H. Jeong, Y. S. Ahn\*, H. Y. Jeong\*, C. H. Bae\*, H. I. Park\*\*, W. Y. Kim\*\*

Dept. of Metallurgical Engineering, \*Dept. of Materials Engineering, \*\*Dept. of Joining and Production Engineering, Pusan National University of Technology

초 록 준안정 Fe-Cr-Ni 3원 오스테나이트 STS강을 90% 냉간압연한 후 여러온도에서 어니링하여 얻은 가공유기 마르텐사이트( $\alpha'$ )와 역변태 오스테나이트( $\gamma$ )와의 2상 혼합조직강에 있어서 기계적 성질과  $\gamma$ 안정도와와의 관계를 조사하였다. 모든 강들은 90% 냉간압연에 의하여 거의  $\alpha'$  단상조직이 되었고, 변태된  $\alpha'$ 는 773~873K의 온도범위에서 급격하게  $\gamma$ 로 역변태하였다. Cr과 Ni함량이 많을수록, 그리고 결정립 미세화에 의해서  $\gamma$ 는 더욱 안정화하여  $M_s$ 점의 저하를 초래하였다. Cr량을 적게하여  $\gamma$ 를 불안정하게 함으로써 많은  $\alpha'$ 를 품는 고강도, 고연성의 초미세립강이 얻어졌다.

**Abstract** The relation between the mechanical property and austenite( $\gamma$ ) stability in metastable Fe-Cr-Ni ternary stainless steels consisting of deformation-induced martensite( $\alpha'$ ) and reversed  $\gamma$  after 90% cold rolling followed by annealing at several temperatures was investigated. All the steels 90% cold rolled almost showed  $\alpha'$  single phase structure and the deformed  $\alpha'$  rapidly reversed to  $\gamma$  in the temperature range of 773 to 873K. The  $\gamma$  phase was more stabilized by the increase of Cr and Ni contents and grain refining of  $\gamma$ . The reversed  $\gamma$  had a ultrafine grain diameter of 0.5 $\mu$ m. As a result of the decrease in  $\gamma$  stability with decreasing Cr content and ultrafine grain structure of  $\gamma$ , the two phase structure containing a higher amount of retained  $\alpha'$  was obtained and showed the good combination of high strength and elongation.

### 1. 서 론

오스테나이트계 스테인리스강은 높은 내식성 및 우수한 연성으로 인하여 화학공업용기, 가정용품등 광범위한 분야에 응용되고 있으나 강도가 낮아서 철도차량용 강판등 고강도재료로서의 응용은 곤란한 것으로 생각되어 SUS301 및 SUS201등의 강종을 냉간 가공하여 마르텐사이트와 오스테나이트와의 2상조직으로서 사용<sup>1)</sup>하고 있는 실정이나, 가공상 고도의 기술을 요하기 때문에 문제가 되고 있다. 강도를 향상시키기 위한 가장 일반적인 방법으로서 고용강화, 석출강화<sup>2)</sup>를 들 수 있으나 한계에 와 있는 감이 있고, 결정립 미세

화가 최상의 선택이라고 생각된다. 그러나 18-8 스테인리스강의 경우 재결정온도가 1200K부근의 고온에 있기 때문에 10~30 $\mu$ m 정도의 미세화<sup>3)</sup>가 고작이다.

高木등<sup>4~6)</sup>은 준안정 오스테나이트계 강종을 강가공후 각종 온도에서 소둔하는 역변태법에 의하여 오스테나이트를 미세화시키고 항복응력도 약 690MPa까지 크게 향상시켜 주목되고 있고, 국내에서도 역변태기구의 해명등에 대해 일부 보고되고 있다<sup>7,8)</sup>. 이들을 더욱 강화시키기 위해서는 연질의 오스테나이트 기지에 마르텐사이트를 적당량 분산시킨 2상 혼합조직을 얻는 방법이 매우 효과적이라고 예상된다.

최근 저자들은 준안정 Fe-(15.5~18.5)%Cr-(7~10)%Ni 3원합금을 가공열처리함으로써 초미세립의 오스테나이트와 잔류 마르텐사이트로 이루어진 2상 혼합상태에서 고강도와 고연성이 얻어진다는 사실을 알았다. 본 연구는 이 2상 혼합조직상에 있어서 오스테나이트 안정도와 기계적 성질과의 관계에 대해 얻어진 결과를 보고한다.

## 2. 실험 방법

실험에 사용한 시료는 전해철, 금속크롬, 전해니켈을 고주파유도로에서 진공용해함으로써 실험실적으로 제작한 것으로 그 화학조성을 표 1에 나타낸다.

Table 1. Chemical Compositions of Steels used (wt%).

Steels	C	Cr	Ni
15.5-7	0.002	15.64	6.95
-8	0.002	15.60	7.90
-9	0.002	15.56	8.98
-10	0.002	15.62	9.83
16.5-10	0.002	16.61	10.04
17.5-10	0.004	17.49	9.94
18.5-10	0.005	18.53	10.02

Ingot는 1473K에서 3.6ks 균질화소둔후 열간에서 11mm까지 압연하고 스케일을 연삭 제거한 다음 1223K에서 1.8ks동안 용체화후 냉각하였다. 이것을 단면감소율 90%로 냉간 압연한 다음 마르텐사이트( $\alpha'$ ) 단상으로써 750~1100K사이의 온도범위에서 역변태처리하여 잔류  $\alpha'$ 와 재결정 오스테나이트로 이루어진( $\alpha' + \gamma$ ) 2상혼합조직을 가지는 시료를 얻어서 각종 시험에 제공하였다. 인장시험은 평행부의 폭 6mm, 길이 35mm, 두께 약 0.7mm의 평판시편을 사용하여 인스트론형 시험기에 의해 변형속도  $4.8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 로 행하였다. 각 온도에서의 인장시험은 180~290K에서는 액체질소와 에틸알콜의 혼합액중에서, 290~370K에서는 온수중에서 행하였다. 가공유기  $\alpha'$ 량은 페라이트스코프와 직류자화자속계법<sup>2)</sup>에 의해서 구하였다. 투과전자현미경용 시료는 전해액으로서 혼합액(황산 200cc+메틸알콜400cc+에틸알콜400cc)을 사용하여 twin jet법에 의해서 박막화시킨 다음 투과전

자현미경(TEM)에서 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 가공유기변태에 미치는 Cr 및 Ni의 영향

그림 1은 Cr함량이 다른 여러가지 Fe-Cr-Ni계 강종을 냉간압연하였을 때의 가공도(단

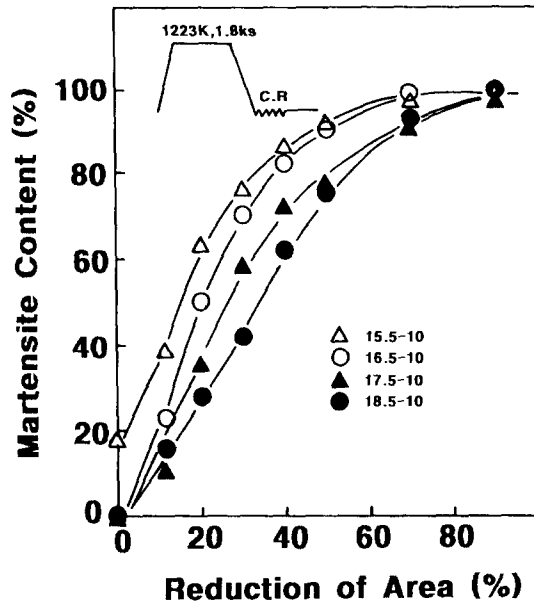


Fig. 1. Effect of reduction of area by cold rolling on deformation-induced  $\alpha'$  content for (15.5~18.5)Cr-10Ni steels.

면감소율)와 가공유기  $\alpha'$  상의 증가거동을 나타낸 것이다. 모든 강종이 약 90% 강가공후 거의  $\alpha'$  단상이 되지만 Cr량이 많을수록 동일 가공도에서도 유기  $\alpha'$ 량은 감소하는 것을 알 수 있다. 예를들면 가공초기부터 급격하게 변태하는 15.5%Cr강의 경우 변태량이 90%를 넘으면 거의 포화상태에 도달하여 그 이상의 변태는 매우 곤란하게 된다.

$\alpha'$  변태가 활발한 15.5%Cr강을 대상으로 하여서 Ni함량을 변화시켰을 때 변태유기  $\alpha'$  변태에 미치는 가공도의 영향을 그림 2에 나타낸다. 4강종 모두 실온이상의  $M_s$ 점을 가지므로 1223K에서 용체화처리후에 변형전부터 다량의 냉각 $\alpha'$  (athermal  $\alpha'$ ,  $\alpha'_s$ )를 포함하고 있다. 가공도가 증가함에 따라서 유기 $\alpha'$ 량은 증가하여 약 50%의 가공으로 모두다 90%이상의  $\alpha'$ 로 변태된 것을 알 수 있고, Ni함량이 적을수록 변형전 냉각 $\alpha'$  변태량이 급격하게

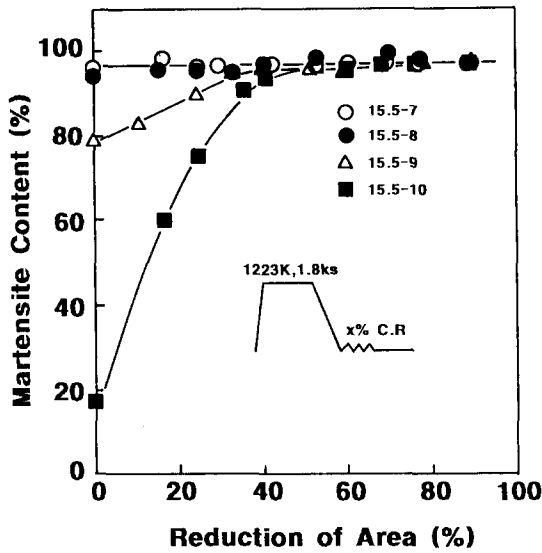


Fig. 2. Effect of reduction of area by cold rolling on deformation-induced  $\alpha'$  content for 15.5Cr-(7-10)Ni steels.

증가하여 Cr보다는 Ni이 훨씬 더  $\gamma$ 를 안정화시킨다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 역변태 거동

그림 3은 Ni함량이 10%이고 Cr량을 15.5%와 18.5%인 강을 약 90%냉간압연한 다음

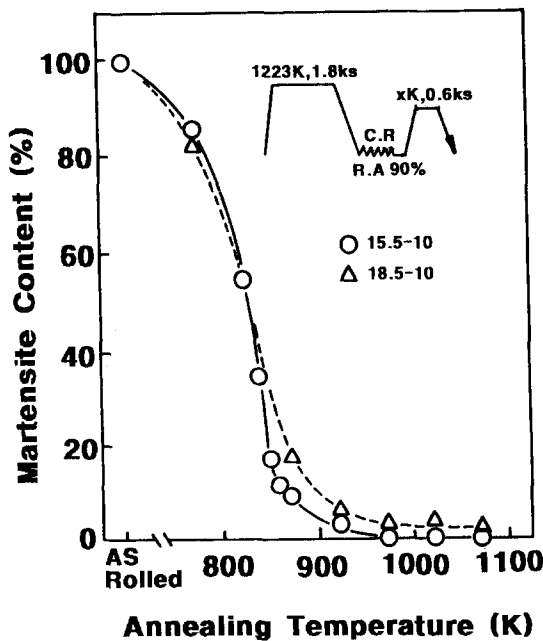


Fig. 3. Changes in  $\alpha'$  content in 90% cold rolled 15.5Cr-10Ni and 18.5-10Ni steels annealed for 0.6ks at various temperatures.

여러 온도에서 0.6ks간 소둔한 경우의 역변태 거동을 나타낸다. 두 합금 모두 가공도가 약 90%일때 90%이상  $\alpha'$  상으로 변태한 것으로서 다음의 소둔에 의해서 다시  $\gamma$  상으로 역변태하여  $\alpha'$  량이 감소한다. 이때 가공유기  $\alpha'$  는 약 770K~870K의 온도범위에서 매우 빠른 속도로  $\gamma$  상으로 역변태하고, 약 970K이상에서 거의  $\gamma$  단상상태가 되는 것을 알 수 있다. Cr함량이 많은 18.5%Cr에 있어서  $\gamma$  상으로의 역변태가 완료하는 온도가 고온쪽으로 이동하는 경향을 나타내고 있다. 실험결과 Cr보다는 Ni쪽이 역변태 거동에 매우 커다란 변화를 준다는 것을 알았다. 그림 4에 나타낸

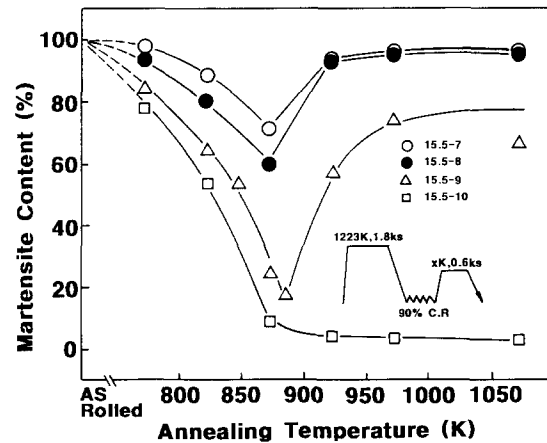


Fig. 4. Changes in  $\alpha'$  content in 90% cold rolled 15.5Cr-(7-10)Ni steels annealed for 0.6ks at various temperatures.

바와 같이 Ni량을 증가시키면 이 역변태곡선이 전체적으로 저온쪽으로 이동하는 경향이 있고, 10%Ni강은 약 873K의 비교적 낮은 온도에서 거의  $\gamma$ 로의 역변태가 완료하였다. 그러나 10%이하의 Ni을 포함하는 강에 있어서는 약 873K에서 일부의  $\alpha'$  만이  $\gamma$ 로 변태하여 많은  $\alpha'$  가 잔류하고, 잔류량은 Ni함량이 감소할수록 증가하였다. 그러나 873K이상의 온도에서는 다시  $\alpha'$  량이 증가하는 현상이 나타났다. 이 현상은 그림 5에 나타낸 바와 같이 9%Ni강은 850K이하에서는 가공유기  $\alpha'$  ( $\alpha'_1$ )가 850~970K에서는  $\alpha'_1$ 와  $\alpha'_2$ 의 양상이 공존하고, 970K이상에서는  $\alpha'_2$ 상이 존재하게 된다고 생각함으로써 설명된다. 9%Ni강에 있어서 970K보다 낮은 온도인 873K에서  $\alpha'_2$ 량이 감소하고 있는 것은  $\gamma$ 결정립이 미세해짐

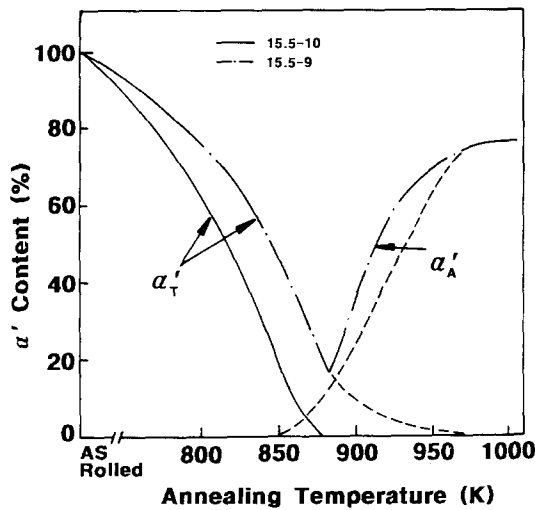


Fig. 5. Analysis of  $\alpha'$  content and its type formed at various temperatures for 15.5Cr-9Ni and 15.5Cr-10Ni steels.

로써 역변태  $\gamma$ 가 안정화하였기 때문<sup>10)</sup>이라고 생각된다. 즉  $\gamma$ 안정화에 의해서  $M_s$ 점이 감소하기 때문에 873K에서  $\alpha'_A$ 량은 감소하지만 그 이상의 온도에서는  $\gamma$ 립이 다시 조대하여져  $M_s$ 점이 상승,  $\alpha'_A$ 량이 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

3.3 오스테나이트 안정도와 기계적 성질

그림 6은 Cr함량이 다른 4강종의 용체화처리재를 90%냉간압연한 후 770~1080K사이의 온도에서 0.6ks동안 소둔하였을 때의 연신율, 항복응력, 잔류  $\alpha'$ 량 및 인장파단면 근처(균일변형부)에서의  $\alpha'$ 량의 변화를 나타낸다. 모든 강종에 있어서 소둔온도가 높아짐에 따라서 잔류  $\alpha'$ 량은 감소하고 있고, 여기에 대응하여 항복응력도 저하하고 있는 것을 알 수 있다. 항복응력은 소둔온도의 상승에 따라 Cr량이 17.5%까지는 제 1단계의 급격한 저하에 이어 제 2단계에서 완만한 저하를 나타내고 있으나 18.5%Cr강의 경우는 제 1단계의 급격한 변화만을 나타내는 경향이 있다. 이때 제 1단계의 변화는  $\alpha'$ 량의 급격한 감소와 잘 대응하고 있고 제 2단계의 변화는 온도가 상승함에 따라 역변태한  $\gamma$ 결정립이 조대화하고 있는 것을 반영한 결과라고 생각된다. 한편 연신율은 Cr량이 적을수록 비교적 저온쪽으로부터 커다란 연신율을 나타내고 있다. 이것은 시험후  $\alpha'$ 량이 증가한 사실로부터 알 수 있는

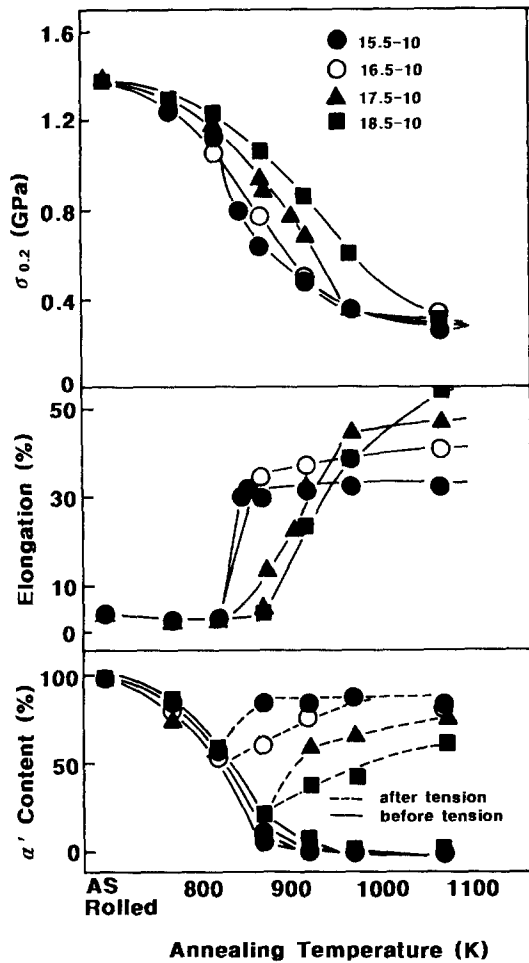


Fig. 6. Tensile properties and  $\alpha'$  content as a function of annealing temperatures in 90% cold rolled (15.5~18.5)Cr-10Ni steels.

바와 같이 변태유기소성(TRIP)에 의한 것이다.

TRIP강에 있어서 기계적 성질이  $\gamma$ 안정도에 의존한다는 것은 잘 알려진 사실이다.  $\gamma$ 안정도는 일반적으로 Ni당량으로 나타내고, 실험자에 따라서 약간 다르게 표시하고 있으나 平山등<sup>11)</sup>의 결과는 열역학적으로 계산된 식이므로 athermal  $\alpha'$ 변태가 일어나는 합금계에 있어서 더욱 효과적이라고 생각된다. 따라서 15.5%강에 있어서 Ni량을 변화시켰을 때의 기계적 성질을 平山の Ni당량으로 그림 7과 같이 정리하였다. Ni당량이 증가함에 따라서 athermal  $\alpha'$ 량은 저하하고, 파단면의 단면적으로 그때의 부하중을 나누어서 계산한 최

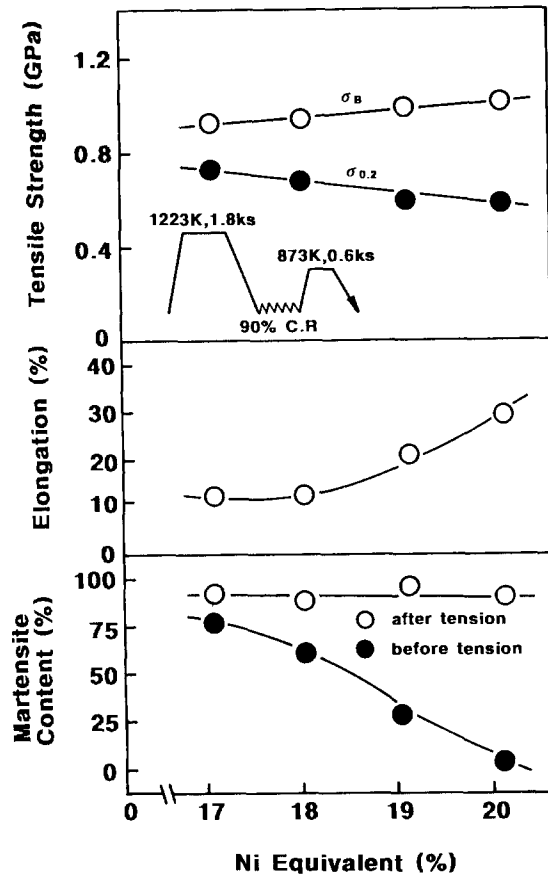


Fig. 7. Effect of Ni equivalent on the tensile properties and athermal  $\alpha'$  content in 15.5Cr-(7~10)Ni steels.

대 진응력( $\sigma_B$ )과 파단연신율은  $\alpha'$  량의 변화와는 반대로 증대하는 것을 알 수 있다. 그러나  $\sigma_{0.2}$ 는  $\alpha'$  량의 변화와 잘 대응하고 있다. 일반적으로 동일조성의 강에 있어서 가공유기  $\alpha'$ 는 athermal  $\alpha'$ 보다 강도가 더 크다<sup>12)</sup>. 인장시험 전후의  $\alpha'$  량의 차이가 Ni당량의 증가와 함께 더욱더 커진 결과는  $\gamma$ 가 안정화함으로써 athermal  $\alpha'$ 의 생성량이 감소하고 가공유기  $\alpha'$ 가 증대한 것을 나타내는 것이다. 이때 변태유기  $\alpha'$ 의 증가는  $\gamma$ 의 결보기 가공경화를 증대시킴으로써 기지금속을 강화한다고 생각할 수 있다. 이것은 Ni당량에 비례하여 연신율이 증가하는 TRIP현상으로부터 지지된다. 따라서 athermal  $\alpha'$ 보다는 변태유기  $\alpha'$ 와  $\gamma$ 가 혼합된 ( $\alpha' + \gamma$ ) 2상강이 고강도화에 더 효과적이라고 할 수 있다.

그림 8은 그림 5와 똑같은 처리를 한 것을  $\alpha'$  량으로 정리한 것이다.  $\sigma_B$ 는 Cr량에 거의

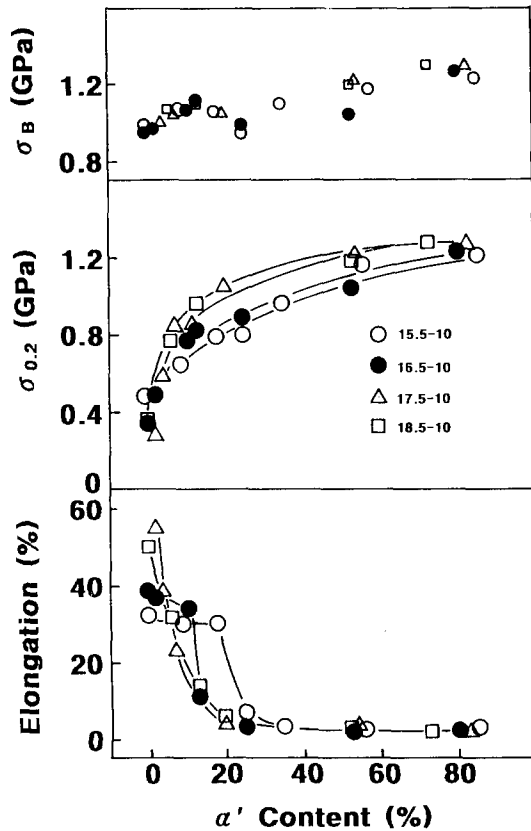


Fig. 8. Relation between tensile properties and  $\alpha'$  content in (15.5~18.5)Cr-10Ni steels.

무관하게  $\alpha'$  량이 증가함에 따라서 증대하고, 항복응력도 비슷한 거동을 보이고 있으나 동일  $\alpha'$  량에서 Cr량이 많을수록 약간 증대하는 경향이 있다.  $\sigma_B$ 는 전 구간에서 약 1000MPa 이상으로서  $\alpha'$ 의 잔류에 의해서 고강도화가 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 Cr의 영향은 瀬尾등<sup>13)</sup>도 지적하고 있는 바와 같이 Cr이  $\alpha'$ 를 직접 강화하는 것은 아니고  $\gamma$ 의 가공경화를 증대시키기 때문에 고강도의 가공유기  $\alpha'$ 가 형성되는 것과 같은 간접적 영향에 기인하는 것으로 추측된다. 그렇지만 연신율은 Cr량이 적을수록  $\alpha'$  량에 대해서 연속적인 변화로부터 불연속적인 변화를 나타내게 된다. 즉  $\gamma$ 가 불안정하게 됨에 따라서 양호한 연신율이 얻어지는 범위가 확장되는 것을 알 수 있다. 가장 불안정한 15.5%Cr강에 있어서는 잔류  $\alpha'$  량( $V_\alpha$ )이 18%일때  $\sigma_{0.2}$ =790MPa,  $\sigma_B$ =1060MPa, 연신율 30%의 조합이 16.5%

Cr강에서는  $V_{\alpha} = 10\%$ 일때  $\sigma_{0.2} = 770\text{MPa}$ ,  $\sigma_{0.1} = 1070\text{MPa}$ , 연신율 34%의 고강도 · 고연성의 양호한 조합이 얻어졌다. 15.5%Cr강의 경우 30%이상, 18.5%Cr강에서는 20%이상의  $\alpha'$ 가 존재하면 TRIP에 의한 연신율은 얻어질 수 없다는 것을 알 수 있다. 특히 18.5%Cr강의 경우 약 80%정도의  $\gamma$ 가 존재하고 있는데에도 불구하고 거의 연신율에 기여하고 있지 않지만 15.5%Cr강에서 TRIP에 의한 커다란 연신율이 얻어진다. 따라서 가급적 Cr량을 적게 하여  $\gamma$ 를 불안정하게 하면 넓은 범위에서 강인한 ( $\alpha' + \gamma$ ) 2상혼합조직강을 얻을 수 있다. 이와 같은 연신율의 연속적-불연속적 천이현상은 다음에 설명되는 바와 같이 ( $\alpha' + \gamma$ ) 조직중의  $\gamma$ 의 안정도의 차에 기인하는 것이라고 생각된다.

사진 1(a)는 약 30%의 잔류  $\alpha'$  량을 포함하는 15.5Cr-10Ni강의 투과전자현미경조직(TEM)을 나타낸다. 역변태  $\gamma$ 는 약 0.4~0.5  $\mu\text{m}$ 의 초미세립으로서 존재하고 있고 조직내에

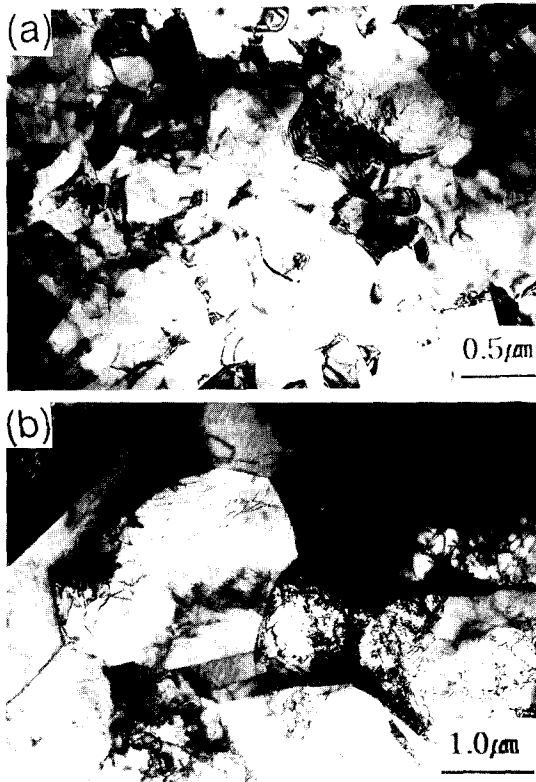


Photo 1. Transmission electron micrographs for 15.5Cr-10Ni steel with  $\alpha'$  content of 30% ; (a) as reversed and (b) slightly deformed.

는 분단된  $\alpha'$ 가 관찰되는 곳도 있다. 이때  $\gamma$ 는 전단형의 역변태에 의해서 일어난다<sup>14)</sup>고 알려져 있다. 즉 유기  $\alpha'$  상의 block을 조직단위로 한 전단형의  $\alpha' \rightarrow \gamma$  역변태가 일어나고, 얻어지는  $\gamma$ 립내에는 유기  $\alpha'$  상의 block경계가 존재하고 고밀도의 전위도 포함된다. 그 후 유지중에 역변태  $\gamma$ 상중에서 회복이 진행하여 미세한 cell이나 subgrain의 형성과정을 거쳐  $\gamma$ 립이 미세화된다고 한다. 사진 1(b)는 사진 1(a)와 같은 시료를 약간 소성변형(굽힘)을 시켰을 때의 TEM사진이다.  $\gamma$ 가 전위를 상당히 많이 포함한 채 가공유기  $\alpha'$  변태는 일어나지 않고 있는 것을 알 수 있다. 즉  $\alpha'$  변태가 일어나기 위한 어떤 한계변형이 필요하다는 것을 시사한다.

그림 9는 여러가지의 잔류  $\alpha'$  량을 얻으려고 열처리한 15.5-10강을 다시 냉간압연하였을 때  $\alpha'$  량의 변화거동을 나타낸다. 잔류  $\alpha'$  량과 관계없이 가공유기  $\alpha'$  변태가 일어나기까지의 잠복기(가공도)가 존재하고 이 잠복기는 잔류  $\alpha'$  량이 증가할수록 길어지는 것을 알 수 있다. 잔류  $\alpha'$  량이 60%를 넘게되면 가공유기

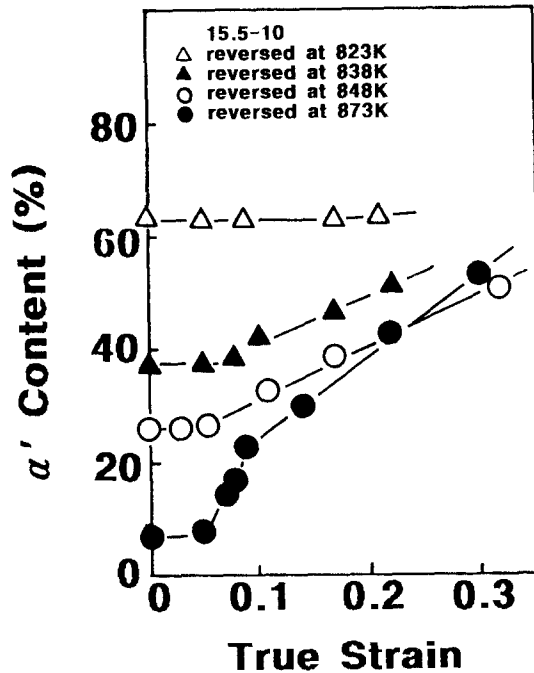


Fig. 9. Changes in  $\alpha'$  content induced by cold rolling for 15.5Cr-10Ni steel annealed for 0.6ks at various temperatures.

변태는 일어나지 않게 된다. 그러나 잔류  $\alpha'$  량이 60%이하인 경우 가공유기변태가 일어나기 위한 변형량의 차이뿐만 아니라 변태가 일어난 후에도 큰 차이를 나타낸다. 즉 잔류  $\alpha'$  량이 적은 873K의 소둔재에 있어서 유기  $\alpha'$ 는 다른 것에 비해서 생성속도가 급격한 것을 알 수 있다. Krauss등<sup>15)</sup>은 Fe-Ni합금을 ( $\alpha' + \gamma$ ) 2상영역으로 가열하면 양 상간에 Ni의 재분배가 일어나  $\gamma$ 중의 Ni농도가 높아져서  $\gamma$ 의 화학적 안정화가 일어난다고 보고하고 있다. 그러나 須藤등<sup>16)</sup>은 안정화의 주 원인은 역변태  $\gamma$ 중에 존재하는 고밀도의 전위에 의한 것이고  $\alpha'$ 와  $\gamma$ 에 Ni이 재분배함으로써 일어나는 화학적 안정화의 영향은 비교적 적다는 것을 지적하고 있다. 본 연구에서는 냉간압연에서의 가공유기변태 거동에 대해서 역변태후의 것이 억제되어 있다는 사실로부터 역변태에 의한  $\gamma$ 의 안정화가 일어나고 있다는 것을 알 수 있다. 그렇지만 비교적 Ni함량이 적고 역변태시간이 짧기 때문에 Ni의 재분배에 의한 안정화의 가능성은 적고 사진 1(a)와 같이 역변태  $\gamma$ 중에는 전위가 포함되어 있지 않기 때문에 후자에 의한 가능성도 없다. 그러나 본 연구의 역변태  $\gamma$ 는 0.5 $\mu$ m이하의 초미세립으로서 존재하고 있으므로 결정립미세화에 의한  $\gamma$ 안정화의 가능성이 크다고 생각된다. 미세화효과에 부가하여 가공유기  $\alpha'$ 의 존재도 불안정한  $\gamma$ 상을 더욱 안정하게 함으로써 변형 초기의 기계적 성질에 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다.

결과적으로 TRIP가 일어나는 저탄소 ( $\alpha' + \gamma$ ) 2상혼합 스테인리스강의 합금설계에 있어서 양호한 연성과 강도를 얻기 위해서는 다음의 조건을 만족시켜야 한다. 첫째, necking이 발생할때 신속히  $\alpha'$ 가 유기되어서 그 부분의 응력완화와 함께  $\gamma$ 상의 걸보기 가공경화율을 크게 할 수 있도록  $\gamma$ 를 적당히 불안정하게 합금설계를 할 것. 둘째, 가급적 낮은 온도에서  $\alpha'$ 가  $\gamma$ 로 역변태할 것. 셋째, 잔류  $\alpha'$ 가 가급적 많이 포함될 수 있도록 2상상태에서 역변태  $\gamma$ 가 열적으로 안정하게 잔류하고 실온에서의 인장시험으로 양호한 TRIP를 일으킬 것. 넷째,  $M_s$ 점이 실온부근이고  $M_d$ 점은 실온이상일 것등이다.

#### 4. 결 론

Cr 및 Ni함량이 다른 준안정 Fe-Cr-Ni계 3원합금을 90% 냉간압연한 다음 여러가지 온도에서 역변태처리하여 얻은 초미세립의 ( $\alpha' + \gamma$ ) 2상혼합조직상에 있어서 기계적 성질과  $\gamma$ 안정도의 관계를 조사한 결과 다음의 결론을 얻었다.,

(1) 모든 강종에 있어서 약 90% 냉간가공으로 거의  $\alpha'$  단상이 되었다. 이때 Cr 및 Ni함량이 많을수록  $\gamma$ 는 안정하여 동일 가공율에서도 변태유기되는  $\alpha'$  량은 감소하였다.

(2) 약 90% 냉간가공재는 773~873K의 비교적 낮은 온도범위에서 급격하게 역변태가 일어나고 약 1073K에서 완료되었다. 이때 역변태가 완료하는 온도는 Cr량이 증가할수록 고온쪽으로 이동하는 경향을 나타내었다. 또 똑같은 처리한 Fe-15.5%Cr-(7~10)%Ni강에서는 동일조성의 합금이라도 강가공후의 역변태처리에 의하여 athermal  $\alpha'$  생성량이 현저하게 감소하였는데, 이것은  $\gamma$ 상의 결정립미세화가 오스테나이트를 안정화함으로써  $M_s$ 점이 저하한 결과로 해석할 수 있다.

(3) 역변태되는 오스테나이트의 결정립경은 약 0.5 $\mu$ m로서 Cr량을 적게 하여 오스테나이트를 불안정하게 할수록 양호한 연신율과 함께 많은 마르텐사이트를 품은 초미세조직의 고강도강이 얻어졌다.

#### 참 고 문 헌

1. 鋸屋正喜: 鐵と鋼, 70, 2196(1992)
2. V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr and R. Bush: Trans. ASM, 60, 252(1967)
3. 加根魯和宏, 南雄介, 白石隆, 峯岸功, 小官善德, 松下昭義: 日本鋼管技報, 87, 51(1980)
4. 高木節雄, 谷本征司, 富村宏紀, 徳永洋一: 鐵と鋼, 74, 1052(1988)
5. 高木節雄, 谷本征司, 富村宏紀, 徳永洋一: 鐵と鋼, 74, 1058(1988)
6. 富村宏紀, 高木節雄, 徳永洋一: 鐵と鋼, 76, 1728(1990)
7. 이영국, 권오준: 대한금속학회지, 30, 1317(1992)
8. 이영국, 권오준: 대한금속학회지, 30, 208

- (1993)
9. 高木節雄, 森川廣, 德永洋一：日本金屬學會誌, 47, 788(1983)
  10. 富村宏紀, 谷本征司, 高木節雄, 德永洋一：鐵と鋼, 72, S505(1986)
  11. 平山俊成, 小切間正彦：日本金屬學會誌, 34, 507(1970)
  12. 平山俊成, 小切間正彦：日本金屬學會誌, 34, 511(1970)
  13. 瀨尾省逸, 官崎亭, 矢島悅次郎, 森田喜久男：日本金屬學會誌, 37, 1172(1973)
  14. 富村宏紀, 高木節雄, 德永洋一：鐵と鋼, 74, 1649(1988)
  15. G. Krauss and M. Cohen：TMS-AIME, 227, 278(1963)
  16. 須藤一, 內田憲正：日本金屬學會誌, 36, 770(1972)