

論 文

420J2 마르텐사이트계 스테인레스강의 오스테나이트화 온도가 기계적 성질에 미치는 영향

김 용 길* · 김 영 주 · 김 기 돈** · 성 장 현

동아대학교 금속공학과

*경남 지방 공업 기술원

**산업 과학 기술연구소

Effect of Austenitizing Temperatures on the Mechanical Properties in 420J2 Martensitic Stainless Steel

Y.G. Kim*, Y.J. Kim, G.D. Kim** and J.H. Sung

Dept. of Metallurgical Engineering, Dong-A University

*Regional Industrial Technology Institute of Kyung Nam

**Research of Institute of Industrial Science and Technology

ABSTRACT

For the purpose of investigating the effect of austenitizing temperatures on the mechanical properties of 0.23% C-13.6%Cr martensitic stainless steel, tensile properties, hardness, impact value and carbide extraction were examined after changing the austenitizing temperatures and tempering temperatures.

The results obtained are summerized as follows.

The carbide laminations formed from hot rolling before austenitization could not be eliminated after austenitizing at 950°C. With increasing austenitizing temperature, hardness increased and showed maximum value at 1050°C and then slightly decreased. With increasing tempering temperature up to 500°C, impact value and elongation appeared to be decreased but hardness showed nearly unchanged at austenitizing temperature of 1150°C due to the fine M_7C_3 carbides precipitation. The abrupt increase in impact value, hardness and elongation above the tempering temperature of 500°C appeared to change in carbide structure from fine M_7C_3 to coarse $M_{23}C_6$.

1. 서 론

마르텐사이트계 스테인레스강은 12~18%Cr 을 함유한 강으로서 고온의 오스테나이트상태에서 퀴칭하면 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문에 현저하게 경화하는

특정을 가지고 있다¹⁾. 따라서 용도는 강도와 내식성을 중심으로 광범위하게 사용되어 정유공장, 화학공장, 가스터빈엔진, 기계구조물 공구 및 식기류를 비롯하여 고탄소인 경우는 공구 베어링 및 도물(刀物)에 사용된다¹⁻⁴⁾.

상술한 바와 같이 이 강종은 변태경화가 있기 때문에 열간압연공정에서 서냉에 의해 또는 냉간압연후 충분히 어닐링하여 페라이트와 탄화물이 혼합된 조직으로 만들어¹⁾ 최종 수요자에게 공급하는 것이 보통이다. 따라서 최종 수요자는 이 조직을 가진 소재를 퀴칭 템퍼링하여 사용하고 있고 이때 템퍼링에 의해 인장강도, 충격치, 경도 등의 기계적 성질을 조절하는 것이 가장 중요하다고 알려져 있다²⁾.

이 마르텐사이트 스테인레스강을 오스테나이트화 시키면 일반 탄소강과는 달리 탄화물의 고용과 확산이 매우 느리게 진행되기 때문에³⁾ 퀴칭한 상태에서 잔존 탄화물이 많이 존재할 수 있고 이것이 기계적 성질에 큰 영향을 미칠 수 있다고 생각된다.

지금까지 마르텐사이트계 스테인레스강에 대하여 퀴칭, 템퍼링후의 기계적 성질에 대한 많은 연구가 수행되어 왔지만 이들은 주로 템퍼링 온도 변화에 따른 기계적 성질 변화를 연구한 것과 템퍼링온도 및 시간 변화에 따른 탄화물 구조의 변화에 대하여 연구한 것⁴⁻⁹⁾이 대부분이고 오스테나이트화 조건에 따른 기계적 성질 변화를 조사한 연구는 거의 없다¹⁰⁾.

따라서 본 연구는 420J2 마르텐사이트 스테인레스강을 오스테나이트화 시킨 후 퀴칭하여 오스테나이트화 온도변화에 따른 탄화물 고용상태를 검사한 후 템퍼링에 의한 기계적 성질의 변화와 탄화물 종류를 규명하여 오스테나이트화 온도변화가 템퍼링 후 충격치, 인장성질 및 경도변화에 미치는 영향을 탄화물의 종류와 관련시켜 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1. 시료 및 시험편 제작

시료는 고주파 진공용해로를 사용하여 용해한 후 급형에 주조한 다음, 열간압연하여 14 mm 판재로 만들었다. Table 1에 시료의 화학조성을 나타내었다. Table 1과 같은 조성의 420J2 마르텐사이트계 스테인레스강은

Table 1. Chemical Composition of the Specimen.

(wt.%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	N	B
0.23	0.22	0.12	0.0079	0.0046	13.58	0.011	0.0014

열간압연 후 공냉하여도 마르텐사이트 조직으로 되기 때문에⁵⁾ 냉간압연, 기계가공과 같은 후처리에서 문제점이 발생되므로, 후처리 이전에 연화어닐링을 실시하는 것이 보통¹⁾이다. 연화어닐링은 830°C에서 25시간 동안 유지한 다음, 550°C까지 30시간 동안 서냉하여 탄화물을 충분히 조대화 시키고 기지를 연화 시켰다.

연화어닐링이 끝난 열간압연 판재로부터 충격시험편과 경도시험편을 채취하였고, 일부 판재는 냉간압연하여 2.0 mm 판재로 만든 후 인장시험편을 채취하였다. 충격시험편과 인장시험편은 ASTM E-8 규격으로 제작하였다.

2.2. 열처리

제작한 시험편들을 오스테나이트화 온도 950°C, 1050°C 및 1150°C에서 30분간 유지한 다음 기름에 퀴칭하였다. 퀴칭이 끝난 시험편은 250°C~650°C의 온도범위에서 2시간 동안 템퍼링을 하였다.

한편 1050°C에서 오스테나이트화시킨 일부의 시험편은 450°C, 500°C 및 550°C에서 시간의 경과에 따라 경도측정 및 조직검사를 하였다. 모든 열처리는 수직 튜브(tube)로의 진공 분위기에서 행하였으며 온도의 정확도는 ± 2°C로 유지시켰다.

2.3. 기계적성질 시험

열처리가 끝난 시험편들은 충격시험, 경도시험 및 인장시험을 하였다. 충격시험은 최대용량 30 kgf·m의 샤르피 충격시험기(Tinius Olson社)를 사용하여 3개의 시험편에 대하여 상온에서 샤르피 흡수에너지 값을 구하여 평균값으로 나타내었다. 인장시험은 최대용량 10 ton의 Autograph(일본 Shimadzu社)를 사용하여 크로스헤드속도(cross-head speed)를 1 mm/min으로 정하여 시험하였다. 경도측정은 미소경도기(micro vickers hardness tester : Wilson社)를 이용하여 하중 1 kg 하에서 5회 측정된 후 평균값을 취하였다.

2.4. 조직 검사

시료의 조직은 광학현미경 및 주사전자현미경(Akasi-DS-130S)를 사용하여 검사하였으며 부식액은 H₂O 50 ml + HCl 35 ml + HNO₃ 15 ml + H₃PO₄ 10 ml를 사용하였다.

2.5. 오스테나이트 변태개시온도 측정과 탄화물 추출 검사

연화어닐링시의 오스테나이트화 변태온도를 정하기 위하여 시료를 미분열량분석기(differential scanning calo-

rimeter)를 사용하여 가열속도 5°C/hr로 측정하였다.

한편 연화어닐링이 끝난 시료에 석출되어 있는 탄화물, 퀴칭 및 템퍼링 처리후에 석출한 탄화물의 조성을 분석하기 위해서 충격시험편을 이용하여 탄화물을 전해 추출하였다. 전해액은 perchloric acid와 acetic acid를 90:10으로 혼합하여 전압 3 V 전류밀도 0.03 A/cm²하에서 탄화물을 전해추출한 다음 X선 회절분석(Rigaku社 D/Max-II A)하여 탄화물의 결정구조를 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

연화어닐링에 의해 석출되어 있는 탄화물은 오스테나이트화 조건에 따라 용해속도가 결정되며, 이러한 오스테나이트화시의 탄화물용해 여부는 마르텐사이트계 스테인레스강의 열처리에 의한 기계적 성질변화에 큰 영향을 미칠것으로 예상된다^{3,5)}.

따라서 본 연구에서는 오스테나이트화 온도 변화에 따른 탄화물의 용해과정을 조사한 다음, 템퍼링 후 기계적 성질변화를 조사하였으며 아울러 템퍼링에 의해 석출되는 탄화물의 종류를 밝힘으로서 기계적 성질과 탄화물 종류와의 관계를 규명하고자 하였다.

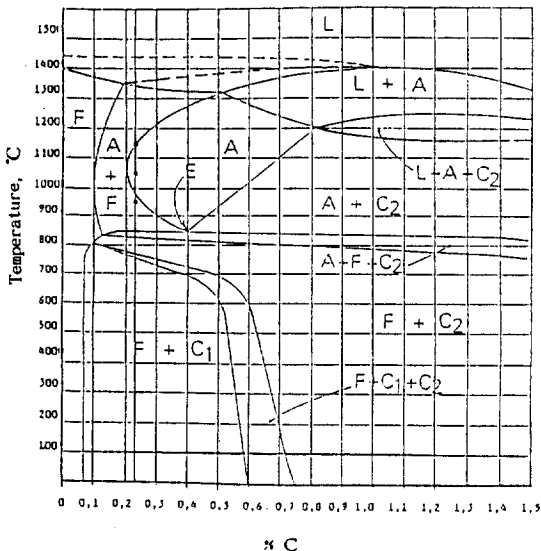


Fig. 1. Vertical cross-section of a 13.5%Cr steel¹¹⁾.
L : Liquid, A : Austenite, F : Ferrite, C₁ : Carbides(Cr, Fe)₄C, C₂ : Carbides(Cr, Fe)₇C₃.

3.1. 오스테나이트화 변태개시 온도의 결정

Fig.1은 13.5%Cr을 함유하는 Cr 강 상태¹¹⁾를 나타낸 것이다. 이 그림에 0.23%Cr을 함유한 시료는 오스테나이트화 온도 950°C에서 약간의 페라이트가 존재하고 있는 오스테나이트+페라이트 2상 구역이며, 1050°C 및 1150°C의 오스테나이트화 온도는 단상구역임을 알 수 있다. 본 실험에서 오스테나이트화 온도 950°C에서는 약간의 페라이트가 존재하고 있었으나 그 함량은 2% 미만의 적은 양이었다.

Fig.2는 연화어닐링시 오스테나이트 변태개시온도를 정하기 위한 DSC 분석 결과이다. 이 그림에서 오스테나이트 변태개시온도인 A_{c1}온도는 817°C로 밝혀졌다. 마르텐사이트 기지에 탄화물 라미태이션과 소량의 잔류 오스테나이트가 혼재되어 있는 as-rolled 상태의 조직은 상온에서부터 어닐링온도로 가열할 때 오스테나이트로 바뀌게 되며 문헌에는 810°C 내외로 알려졌다^{1,3,6)}. 이 변태가 일어나기 시작하는 A_{c1}온도를 측정하는 것은 연화어닐링 온도를 정하는 데 중요한 역할을 한다. 본 연구에서 A_{c1}온도는 817°C로 나타났고, 따라서 마르텐사이트를 연화시키기 위한 연화어닐링 온도를 830°C로 정하였다.

Photo 1은 연화어닐링이 끝난 시료의 주사전자현미경 사진으로서 층상의 탄화물 라미태이션과 미세한 탄화물들이 페라이트 입계와 입내에 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 탄화물의 석출모양은 뒤의 오스테나이트화 온도 변화에 따라 고용되는 탄화물의 정도가 다르게 될 것으로 기대되어¹²⁾ 기계적 성질에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

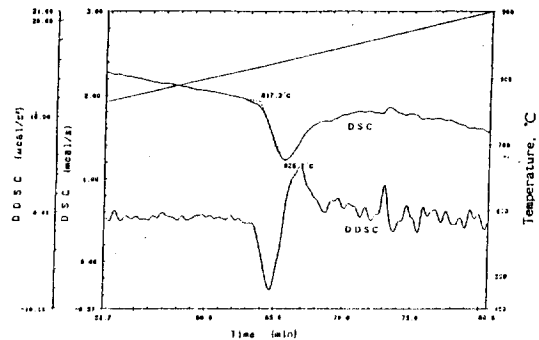


Fig. 2. Transformation estimation by DSC for 0.23%Cr -13.6%Cr stainless steel. (heating rate 5°C/hr).

3.2. 오스테나이트화 온도 변화에 따른 조직변화 및 기계적 성질변화

3.2.1. 조직변화

앞의 Photo 1 과 같은 탄화물 초기조직을 가진 시료들을 850°C, 950°C, 1050°C 및 1150°C에서 30분간 유지후 기름에 급냉하였을 때 오스테나이트화 온도변화에 따른 탄화물의 용해양상을 Photo 2에 나타내었다. 850°C의 오스테나이트화 온도에서는 연화어닐링 상태에서 존재하고 있었던 미용해의 탄화물이 다수 존재하고 있으며 압연방향으로 길게 형성되었던 탄화물 라미네이트들이 사라지지 않고 존재하고 있으며, 압연변형대를 따라서도 탄화물이 길게 존재하고 있다. 온도가 상승되어 950°C가 되면 탄화물은 현저히 고용되고 있지만 아직도 탄화

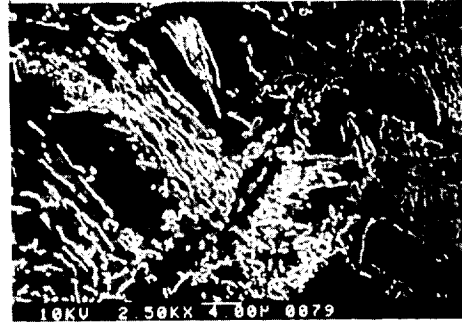


Photo 1. SEM micrographs showing the Initial Carbide Morphologies in 0.23%C-13.6%Cr Stainless Steel.

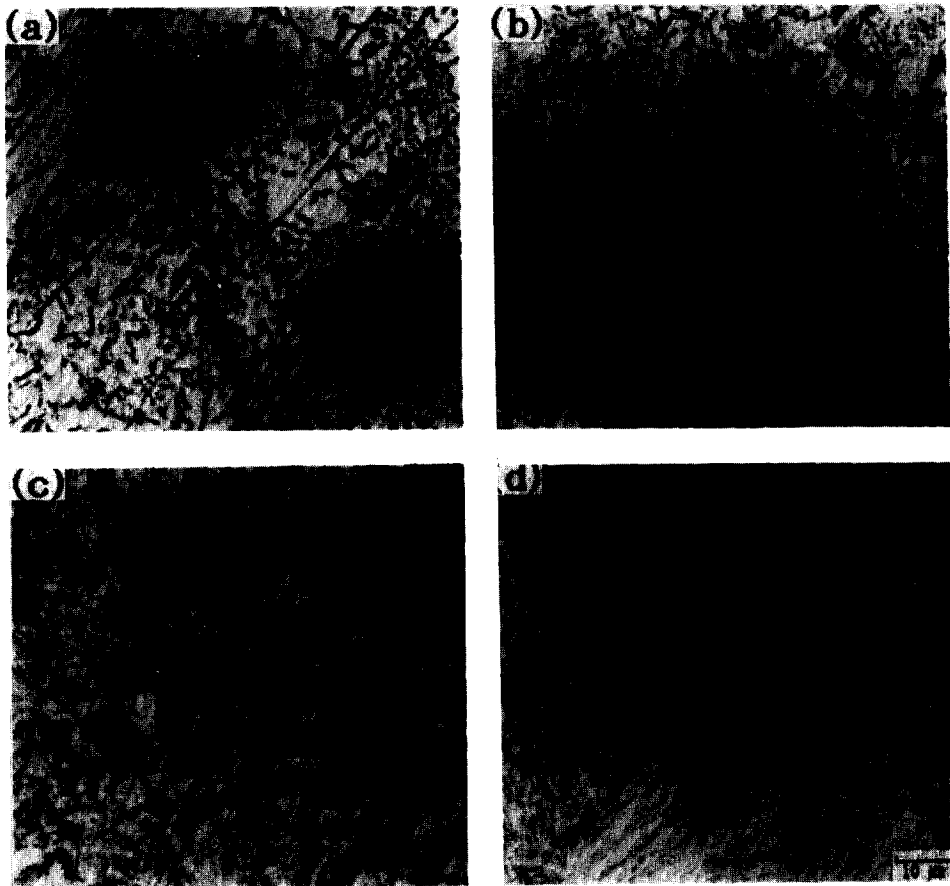


Photo 2. Micrographs showing the effect of austenitizing temperature on the carbide dissolution in 0.23%C-13.5% Cr stainless steel.

Austenitizing Temp. : (a) 850°C, (b) 950°C, (c) 1050°C, (d) 1150°C.

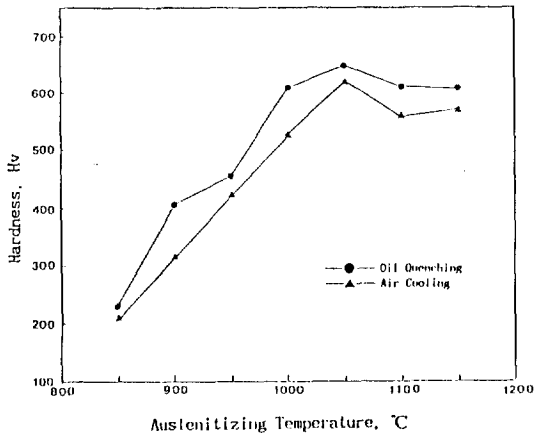


Fig. 3. Effect of Austenitizing Temperature on the Hardness in 0.23%C-13.6%Cr Stainless Steel.

물 라미네이트가 존재하고 가끔 페라이트도 보인다. 1050°C의 오스테나이트화 온도에서는 마르텐사이트기에 미세한 탄화물이 용해되지 않은 채 남아 있다. 1150°C에서는 마르텐사이트가 현저히 조대해지면서 미용해 탄화물이 아직도 고용되지 않고 남아 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과에서 420J2 강종의 크롬 탄화물은 비교적 오스테나이트화 온도가 높아도 분해되지 않는다는 것을 알 수 있다. 조대한 입자의 퍼얼라이트의 구조가 동일 열처리하에서 충분히 고용되지 않은 이유는 공석탄화물의 고용이 아주 완만하게 진행되는 것에 기인하는데^{3,6)} 그 이유로는 첫째 탄화물이 고용되는 데 상당한 시간이 소요된다는 점, 둘째 고용시키는 용매 즉, 오스테나이트가 크롬을 함유하고 있어서 고용을 지연시키기 때문이다. 따라서 Photo 2와 같이 오스테나이트화 온도변화에 따른 탄화물의 고용상태의 변화는 뒤의 템퍼링후 기계적 성질에 큰 영향을 줄것이라 예상된다.

3.2.2. 기계적 성질변화

Fig. 3은 여러 온도구간에서 30분간 오스테나이트화시킨 다음 기름에 퀀칭 및 공냉시킨 시료의 경도변화를 나타낸 것으로서 오스테나이트화 온도가 상승함에 따라 경도는 서서히 증가하다가 1050°C에서 최대 값을 나타낸 후 약간 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 공냉한 시료가 유냉한 시료보다 경도값이 약간 낮게 나타났다. 공냉한 시료가 유냉한 시료보다 경도값이 약간 낮게 나타나는 이유는 냉각속도가 느리면 냉각도중 탄화물이 재석출하여 matrix가 연화되기 때문이라 생각한

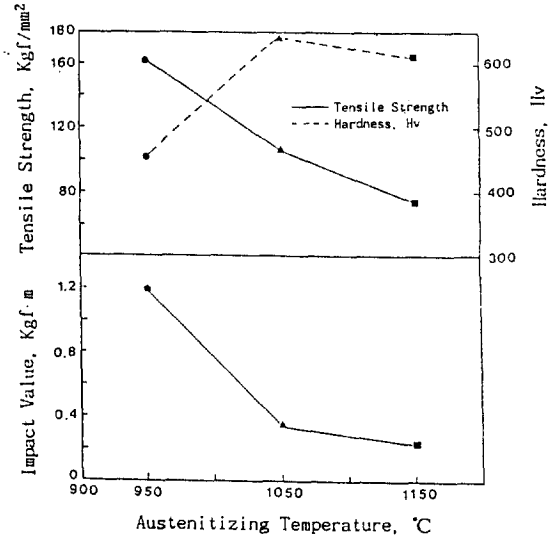


Fig. 4. Changes in the mechanical properties with austenitizing temperature in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

다⁶⁾. 오스테나이트화 온도상승에 따라 경도가 상승하는 이유는 앞의 조직사진에서도 알 수 있었던 바와 같이 오스테나이트 내의 탄소의 고용량이 증가하기 때문에 퀀칭 후 마르텐사이트 경도를 증가시키는 효과가 있기 때문이다. 1050°C에서 최대 경도값을 나타낸 후 경도가 저하하는 이유에 대해서는 오스테나이트화 온도상승에 따라 탄소의 고용량이 증가하기 때문에 잔류 오스테나이트가 증가하므로 역방향의 효과를 나타내어 경도가 저하한다고 알려져 있다⁵⁾. 그러나 본 실험에서 X-선 회절분석에 의해 잔류 오스테나이트량을 측정하였지만 회절 peak로 검출되지 않았다. 따라서 본 실험의 시료의 420J2강에서 1050°C 이상의 오스테나이트화 온도에서 경도가 저하하는 이유는 Photo 2의 조직사진에서와 같이 초기 오스테나이트 결정립이 조대함에 따라 조대한 마르텐사이트의 형성과 관계가 있는 것으로 추정할 수 있다.

Fig. 4는 오스테나이트화 시킨 후 기름에 퀀칭시킨 시료의 오스테나이트화 온도 상승에 따른 인장강도, 경도 및 충격값의 변화를 나타낸 것으로 경도 값과는 달리 인장강도와 충격값은 오스테나이트화 온도상승에 따라 저하하여 1150°C에서 가장 낮은 값을 나타낼 수 있다. 이것은 앞의 조직사진에서도 알 수 있었던 바와 같이 오스테나이트화 온도 상승에 따른 마르텐사이트기

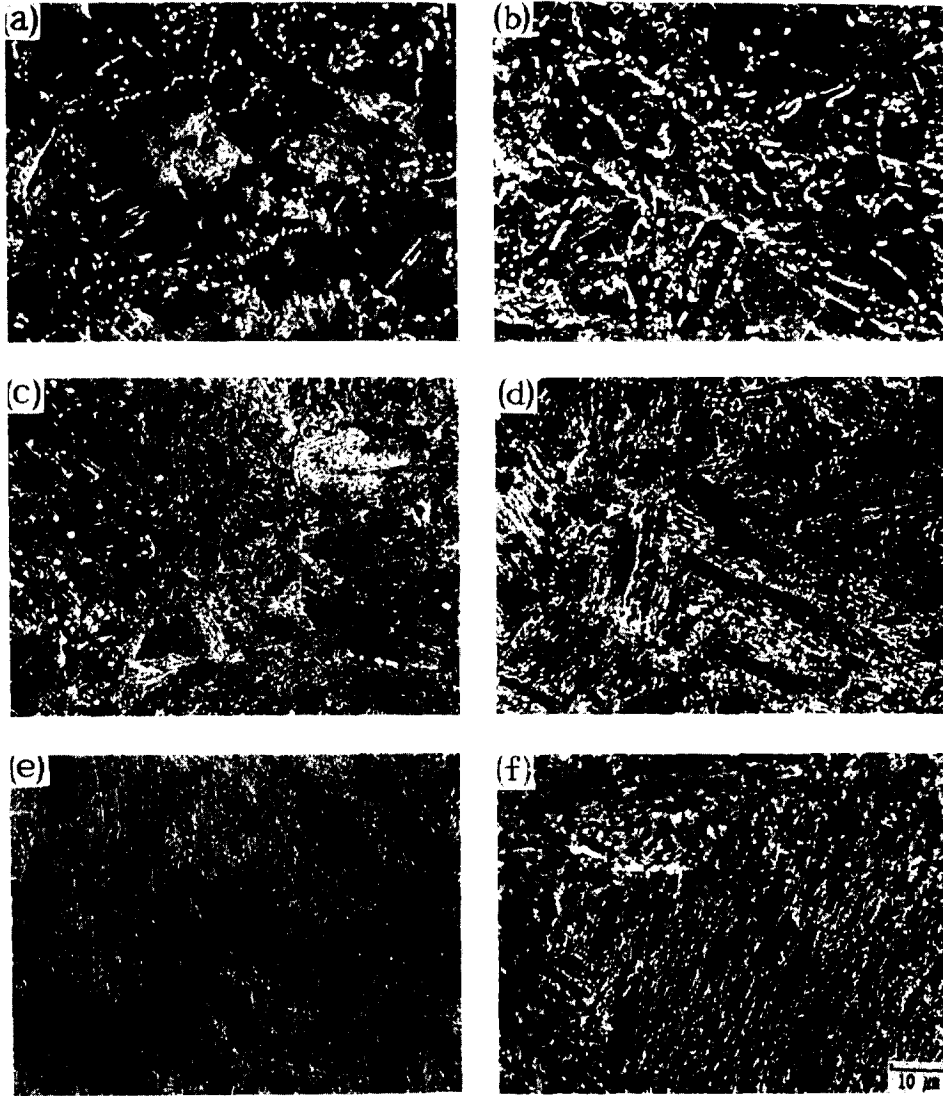


Photo 3. SEM Micrographs representing the effect of austenitizing temperature on the carbide precipitation at two different tempering temperature after austenitizing at 1050°C in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

(a), (c), (e) : tempered at 500°C for 2 hrs after austenitizing at 950°C, 1050°C and 1150°C respectively.
 (b), (d), (f) : tempered at 650°C for 2 hrs after austenitizing at 950°C, 1050°C and 1150°C respectively.

지의 취화현상 때문이라 생각된다.

3.3. 템퍼링 온도변화에 따른 탄화물 석출거동

Photo 3 은 950°C, 1050°C 및 1150°C 에서 오스테나이트화 시킨 후 유명한 시료를 각각 500°C 및 650°C 에서 2시간 템퍼링 하였을 때의 마르텐사이트 기지의 탄화물 석출거동을 나타낸 사진이다. 낮은 오스테나이트화 온

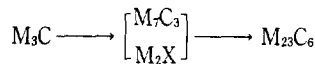
도(950°C)에서는 비교적 조대한 탄화물들[사진 (a) (b)]이 존재하지만 오스테나이트화 온도 상승에 따라 탄화물이 미세하게 석출됨을 알 수 있으며, 500°C 템퍼링 [사진 (a) (c) (e)]에서 보다 650°C의 템퍼링[사진(b) (d) (f)]에서 조대한 탄화물들이 존재하고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Carbide Analysis Result of 0.23%C-13.6%Cr Stainless Steel After Austenitizing at 1050°C.

tempering temp carbides	soft annealed specimen	350°C	450°C	500°C	650°C
M ₃ C	○	○	○		
M ₇ C ₃	○		○	○	
M ₂ C	○				
M ₂₃ C ₆	○				○

이러한 탄화물들의 구조를 밝히기 위하여 1050°C에서 오스테나이트화시킨 시료들을 여러 온도에서 2시간 템퍼링한 다음 탄화물을 추출하여 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 바와 같이 퀴칭전의 연화어닐링 상태에서는 여러 종류의 탄화물들이 혼재하고 있었지만 퀴칭후 350°C에서는 M₃C, 450°C에서는 M₇C₃와 M₃C, 500°C에서는 M₇C₃ 그리고 650°C에서는 M₂₃C₆의 탄화물이 석출되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 Photo 3의 템퍼링에 따른 조직사진에서도 1050°C에서 오스테나이트화 시킨 후 500°C에서 템퍼링하였을 때 존재하고 있던 미세한 탄화물은 대부분이 M₇C₃의 탄화물이고 650°C에서 템퍼링하였을 때의 비교적 조대한 탄화물은 M₂₃C₆임을 예상할 수 있다.

마르텐사이트 스테인레스강의 템퍼링 온도상승에 따른 탄화물의 변화는^{2,7)}



로 보고되고 있으며 비교적 저온영역인 300°C 부근에서는 M₃C 탄화물이 대부분이지만, 약 450~500°C에서는 미세한 M₇C₃ 탄화물이 석출하거나 또는 M₃C 탄화물을 용해시키면서 석출되기 때문에 인성이 급격히 저하하여 소위 템퍼취성이 일어난다고 보고되어 있다. 그리고 M₂₃C₆ 탄화물은 550°C 이상에서 템퍼링하거나 450~500°C에서 장시간 템퍼링함으로써 석출되는 탄화물로서 이 탄화물 석출에 의해 경도를 급격히 저하하고 특히 내식성이 나빠지는 것으로 보고되어 있다. 본 실험에서도 이들의 결과와 일치하는 탄화물들이 나타나 있으며 이러한 템퍼링 온도 변화에 따른 탄화물 석출거동은 기계적 성질변화에 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다.

3.4. 템퍼링 온도변화에 따른 기계적 성질변화

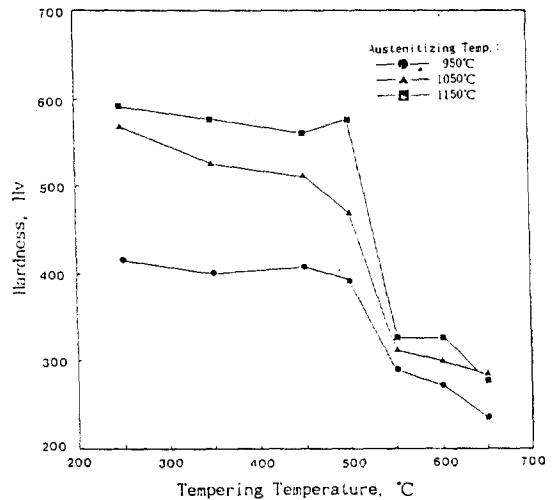


Fig. 5. Changes in hardness with tempering temperature showing the effect of austenitizing temperature in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

오스테나이트화 온도를 변화시킨 후 여러온도에서 2시간동안 템퍼링한 다음 기계적 성질을 조사하였다.

Fig.5는 오스테나이트화 온도를 변화시켰을 때 템퍼링 온도변화에 따른 경도값을 나타낸 것이다. 오스테나이트화 온도상승에 따라 경도값은 높게 나타났으며, 템퍼링 온도 상승에 따라 경도값은 약간 감소하는 경향이 있지만 500°C와 550°C 사이에서 급격한 경도저하를 나타내고 있다. 특히 1150°C 오스테나이트화 시킨 후 500°C 템퍼링하면 경도가 약간 상승하는 경향이 보이고 있다. 이것은 앞의 탄화물 추출에서도 M₇C₃ 탄화물이 초기 오스테나이트 결정입계와 마르텐사이트판 사이에 석출되기 때문⁹⁾ 이라고 생각된다. 이러한 현상이 1050°C 및 950°C의 오스테나이트화 온도에서는 나타나지 않

는 것은 오스테나이트화 온도가 낮으면 기존의 탄화물이 미용해 상태로 존재하므로서 기지의 탄소량이 상대적으로 적기 때문에 마르텐사이트 기지의 연화로 인하여 경도를 상승시킬 만큼의 충분한 탄화물이 공급되지 못했기 때문이라고 추정할 수 있다. 한편 550°C에서 급격한 경도의 저하는 앞의 탄화 탄화물 추출검사와 조직사진에서도 알 수 있었던 바와 같이 조대한 $M_{23}C_6$ 탄화물의 석출로 급격히 기지가 연화되었기 때문이라고 판단된다.

Fig. 6은 템퍼링온도 변화에 따른 충격값의 변화를 나타낸 것으로서 충격값은 온도상승에 따라 500°C까지는 서서히 감소하는 경향이 있다. 특히 오스테나이트화 온도 1150°C에서는 템퍼링온도 상승에 따라 500°C까지는 충격값이 가장 크게 감소하고 있는 것은 1150°C의 오스테나이트화 온도에서 탄화물이 가장 많이 고용된 상태이기 때문에 미세한 M_7C_3 의 탄화물이 석출할 수 있는 구동력이 가장 커서 취성이 증가 되었고 초기 오스테나

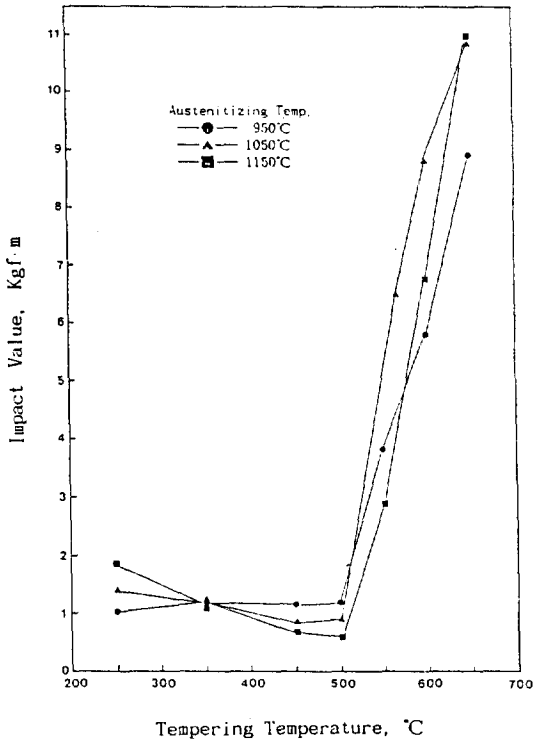


Fig. 6. Impact value as a function of tempering temperature at three different austenizing temperatures in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

이트 결정립 조대화로 인한 마르텐사이트판의 조대화 효과가 복합적으로 나타났기 때문이라고 생각된다⁹⁾.

Fig. 7은 템퍼링온도 변화에 따른 인장강도값을 각각의 오스테나이트화 온도에 대하여 도시한 것으로서 인장강도는 오스테나이트화 온도 1050°C 및 1150°C에서 비슷한 경향을 나타내고 있으며 템퍼링온도 550°C 이상에

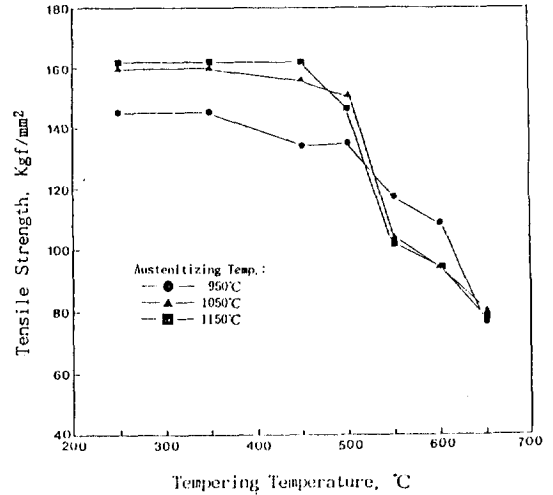


Fig. 7. Tensile strengths as a function of tempering temperature at three different austenizing temperatures in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

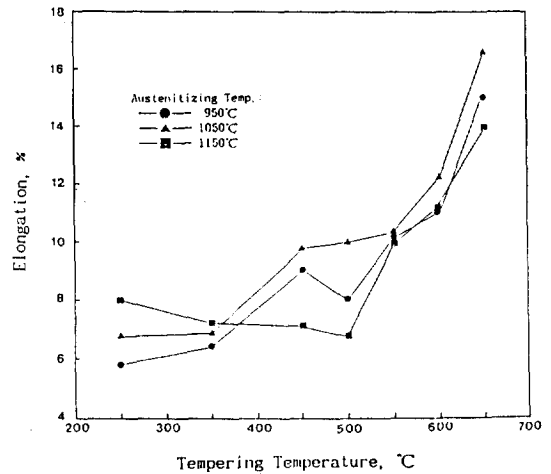


Fig. 8. Total elongation as a function of tempering temperature at three different austenizing temperatures in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

서의 강도저하가 뚜렷하다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 550°C 이상에서 조대한 $M_{23}C_6$ 탄화물 석출로 인하여 기지의 연화현상이 현저하기 때문²⁾이라고 생각된다. 한편 오스테나이트화온도 950°C에서는 1050°C 및 1150°C에 비하여 강도값이 낮게 나타나고 있고 그 이후 서서히 감소하고 있다.

Fig.8은 템퍼링온도 변화에 따른 연신율의 변화를 나타낸 것으로 오스테나이트화온도 950°C 및 1050°C에서는 템퍼링온도 상승에 따라 연신율이 서서히 증가하고 있지만 1150°C의 오스테나이트화 온도에서 500°C 템퍼링 온도까지는 연신율이 감소하고 있다. 이것은 앞의 충격 시험과 비슷한 결과를 나타내는 것으로서 오스테나이트화 온도 1150°C에서 탄화물이 가장 많이 고용되었으며 그 이후 미세한 M_7C_3 탄화물의 석출이 점차로 증가하기 때문이라고 생각할 수 있다.

3.5. 템퍼링시간 변화에 따른 경도변화와 조직변화

지금까지 오스테나이트화온도를 변화시킨 후 여러온도에서 템퍼링 하였을 때 템퍼링온도 변화에 따른 기계적 성질 변화를 석출되는 탄화물의 종류와 관련지어 조사하였다. 그결과 템퍼링온도 500°C 부근에서 가장 기계적 성질의 변화가 심하게 나타났다. 따라서 본 실험에서는 1050°C에서 오스테나이트화 시킨 후 퀘칭시킨 시료에 대하여 기계적 성질에 가장 큰 영향을 미치는 500°C 부근에서 템퍼링 시간경과에 따른 경도변화를 조사하였다.

Fig.9는 1050°C에서 템퍼링 시킨 경우 템퍼링 시간경

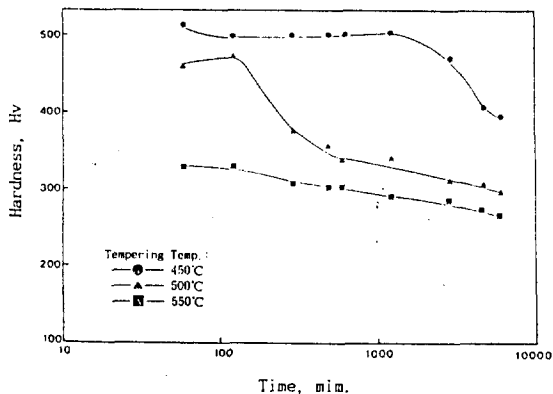


Fig.9. Effect of tempering time on the hardness after austenitizing at 1050°C for 30 min. in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.

과에 따른 경도변화를 나타낸 것이다. 경도값은 450°C에서는 18시간, 500°C에서는 2시간 이후에 급격히 떨어지고 있으며, 550°C에서는 1시간 이후부터 경도가 낮게 나타나다가 서서히 감소하고 있다. 이와 같이 경도가 저하하는 것은 시간경과에 따라 상대적으로 미세한 M_7C_3 의 탄화물이 소모되면서 조대한 $M_{23}C_6$ 의 탄화물을 마르텐사이트판 및 초기오스테나이트 결정입계에 석출시키

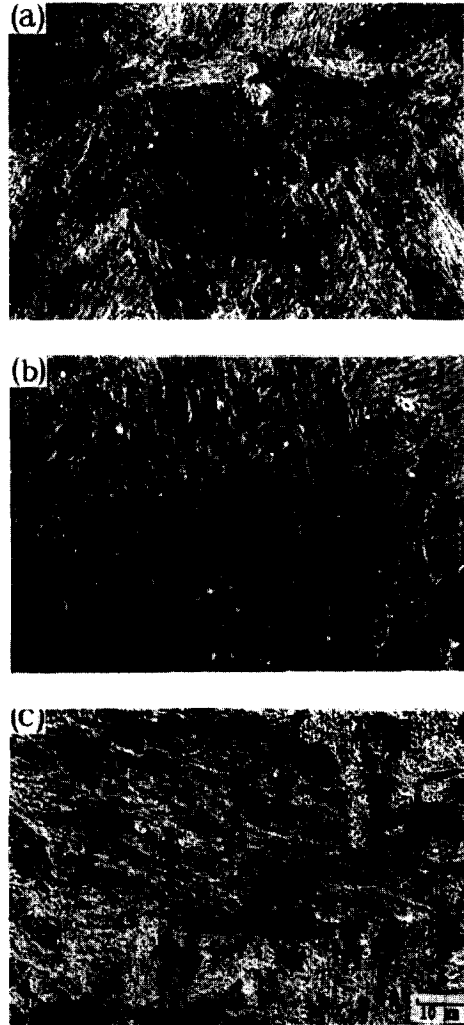


Photo 4. SEM Micrographs showing the effect of tempering time on the carbide precipitation in the matrix of martensite after austenitizing at 1050°C and tempered at 500°C in 0.23%C-13.6%Cr stainless steel.
(a) 2 hrs (b) 8 hrs (c) 100 hrs.

120/420J2 마르텐사이트계 스테인레스강의 오스테나이트화 온도가 기계적 성질에 미치는 영향
 기 때문에 나타나는 현상으로 알려져 있다⁹⁾.

Photo 4는 1050°C에서 오스테나이트화시킨 다음 500°C에서 템퍼링시켰을때 템퍼링시간 경과에 따른 탄화물 석출모양을 나타낸 사진으로서, 경도값이 높은 2시간 템퍼링의 시료에서 석출된 탄화물은 마르텐사이트기에 미세한 상태로 존재하고 있으며 경도값이 저하되고 있는 8시간 템퍼링에서도 2시간에서의 시료와 마찬가지로 미세한 탄화물들이 존재하고 있다. 그러나 100시간이 지나면 비교적 조대한 탄화물들이 마르텐사이트기에 석출되고 있음을 볼 수 있다. 이 사진에서의 조대한 탄화물들은 $M_{23}C_6$ 로 추정⁹⁾되며 이러한 $M_{23}C_6$ 탄화물은 기지의 탄소함량 감소에 큰 역할을 하며 따라서 재료의 기계적 성질 변화 및 내식성에 큰 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

Fig. 10은 템퍼링시간과 온도변화에 따른 경도변화를 나타낸 그림으로서 Irvine¹³⁾ 등이 제시한 템퍼링온도와 시간의 인자를 함께 고려한 것 즉 $T(20 + \log t) \times 10^{-3}$ 을 가로축으로 조정한 master tempering curve을 나타낸 것이다. 이들은 경도가 떨어지는 원인을 $M_{23}C_6$ 탄화물 석출때문 이라고 하였고 2차 경화 현상이 있으며 경도는 이 master curve에서 편차가 난다고 하였다.

Fig. 10의 결과에서 경도가 떨어지기 시작하는 것은 450°C에서 20시간 템퍼링하였을 때, 550°C에서는 2시간이 지난 후 부터이며 따라서 이시간 이후부터 $M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6$ 의 탄화물 반응이 일어난다고 추정할 수 있

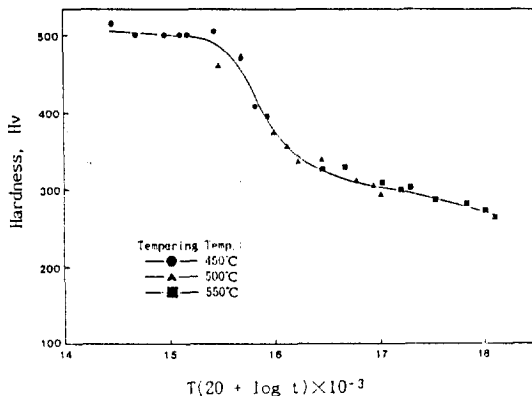


Fig. 10. Changes in hardness with tempering time and temperature after heat treating at 1050°C for 30 min. in 0.23% C-13.6% Cr stainless steel.

다. 한편 master curve에서 편차가 별로 없는 것을 고려할때 420J2 스테인레스강의 2차 경화는 별로 없다고 생각된다.

이상과 같은 실험에서 오스테나이트화 온도변화에 따라 템퍼링시 탄화물의 고용정도가 달라지고 이로 인하여 기계적 성질 변화에도 큰 차이가 있기 때문에 경도, 강도 및 충격치를 함께 만족시킬 수 있는 적절한 오스테나이트화 온도를 선정하여 템퍼링 하여야 한다고 생각되며 특히 450°C 이상의 템퍼링에서는 기계적 성질을 만족시키기 위해 오스테나이트화 온도의 선정에 더욱 주의를 기울여야 한다고 생각한다.

4. 결 론

0.23% C-13.6% Cr을 함유한 420J2 마르텐사이트 스테인레스강에서 오스테나이트화 온도를 변화시켜 퀴칭 후 템퍼링한 다음 기계적 성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 초기 상태조직에서 압연변형대 및 결정입계에 존재하고 있던 탄화물 라미네이션은 오스테나이트화 온도를 950°C로 상승시켜도 사라지지 않고 존재하고 있었다.

2) 오스테나이트화 온도 상승에 따라 경도는 탄화물 용해에 의해 상승하다가 1050°C에서 최대값을 나타낸 후 약간 감소하는 경향이 있었다.

3) 템퍼링에 의한 기계적 성질변화는 오스테나이트화 온도 1150°C에서 템퍼링 온도상승에 따라 500°C 템퍼링까지 경도의 상승, 충격치 저하 및 연신율 감소를 나타내고 있으며 이것은 M_7C_3 의 미세한 2차 탄화물 석출로 인한 것으로 밝혀졌다.

4) 500°C 이상에서 급격한 충격치의 상승, 경도 상승, 강도 저하 및 연신율 상승은 미세한 M_7C_3 탄화물이 조대한 $M_{23}C_6$ 탄화물 석출로 바뀌기 때문으로 나타났다.

5. 참 고 문 헌

- 1) 育藤, 小林, 吉田, 池田: 日本 스텐레스 情報, No.19, (1984) 47.
- 2) F.B. Pickering: *International Met. Rev.*, Dec. (1976) 1.

- 3) 廣瀬, 本山: 熱處理, Vol.27, 1(1987) 17.
- 4) 河手, 片桐, 増田, 高田, 栗栖, 大坪: 川崎製鐵技報, 17(1985) 291.
- 5) ステンレス 篇覧, 日刊工業新聞社: 加工と溶接 679.
- 6) J.H.G. Monypenny: Stainless Iron and Steel: Vol.2(1954) 33.
- 7) K.J. Irvine, D.J. Crowe, F.B. Pickering: JISI, Aug. (1960) 43.
- 8) K.J. Irvine, F.B. Pickering: The Iron and Steel Inst. (1964) 63.
- 9) P.T. Lovejoy: Handbook of Stainless Steel, Peckner and Bernstein Ed., McGraw-Hill Book Co., NY. (1987) 6-1.
- 10) B. Baroux, Ph. Maitrepierre, B. Thomas: Stainless Steel 84, Proceeding of Conference, Chalmers univ., The Inst. of Metal (1985) 115.
- 11) Rages & Acieries: Reports on Bnopertuis Steel Work, Pechiny Ugine Kallman, AIM, Sept. (1981) 13.
- 12) 廣瀬, 本山: 熱處理, Vol.28, 2 (1988) 87
- 13) K.J. Irvine, D.J. Crowe, F.B. Pickering: JISI, 195(1960) 386.