

## 420J2마르텐사이트 스테인레스강의 최종경도에 미치는 열처리조건의 영향

김 기 돈\*·성 장 현\*\*

\*산업과학기술연구소 특수강연구부

\*\*동아대학교 금속공학과

Effect of Heat Treatments on the Final Hardness of STS 420J2  
Martensitic Stainless Steel

K. D. KIM\*, J. H. SUNG\*\*

\*Research Institute of Industrial Science and Technology

\*\*Dept. of Metallurgical Engineering, Don-A University

### ABSTRACT

The effect of batch annealing conditions and austenitizing temperatures on the hardness and microstructural factors were examined by using 420J2 martensitic stainless steel. In spite of the simillar hardness after batch annealing, the difference in hardness at the same austenitizing temperature was caused by changes in dissolved carbon during batch annealing. The highest hardness of the specimen was obtained at the batch annealing temperature of 820°C and austenitizing temperature of 1050°C. The main factor affecting the final hardness of the cold annealed 420J2 specimen was proved to the austenitizing temperature rather than batch annealing temperature.

### 1. 서 론

스테인레스강 기본강종중의 하나인 마르텐사이트계 STS 410강종은 내식성이 일반강에 비해 우수하고 경도가 높기 때문에 도물류와 기기본체 소재로 널리 사용되어 왔다<sup>1)</sup>. 근래 제강기술이 향상되고 보다 높은 강도가 요구됨에 따라 탄소를 0.1% 함유하는 STS 410 강종에 탄소를 0.2 또는 0.3% 수준까지 증가시킨 STS 420J1강종과 STS 420J2강종이 만들어져 널리 사용되고 있다<sup>2, 3)</sup>.

마르텐사이트계 스테인레스강은 탄소강과 마찬가지로 열처리에 의한 경화능 즉 자경성(自硬性)이 있다. 또한 고온에서 안정한 오스테나이트 조직을 가지고 있으며 이 영역의 고온에서 가열하여 탄화물을 강종에 고용시킨 후 유중(油中) 또는 공기중에서 급냉하면 마르텐사이트 조직으로 된다<sup>3, 4)</sup>. 이 경우 Cr은 용질원자의 확산을 억제하며, Cr 및 C의 확산을 수반하는 오스테나이트( $\gamma$ )로부터 페라이트( $\alpha$ )로의 변태가 용이하게 저지되어 상온조직은 마르텐사이트 조직으로 된다. 이 마르텐사이트 조직은 강하고 경해서 취약하지

만 적당한 템퍼링을 실시하면 우수한 기계적성질이 얻어지므로, 강도와 경도가 함께 요구되거나 고온강도가 필요한 구조재로 널리 이용되고 있다<sup>5)</sup>.

앞에서 언급한 바와 같이 마르텐사이트계 스테인레스강은 자경성이 있기 때문에 열간압연공정에서 서열승온과 서냉이 필요하며 장시간 배치어닐링(batch annealing)을 실시하여 탄화물을 구상화시키고 기지(matrix)를 연화시켜 최종수요자에게 공급되는 것이 보통이다<sup>7, 9)</sup>. 저자들은 이전의 연구에서 STS 420J1 및 420J2 마르텐사이트계 스테인레스 강종에 대하여 오스테나이트화 온도를 변화시킨 후 템퍼링하였을 때 오스테나이트화 조건이 템퍼링 후의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 연구<sup>7, 9)</sup>하였다.

본 연구에서는 탄소의 함량이 비교적 높은 STS 420J2 강종에 대하여 배치어닐링 조건을 변화시켜 미세조직과 기계적성질의 변화를 조사한 다음 배치어닐링 조건에 따른 오스테나이트화 조건을 변화시켜 미세조직 및 기계적성질의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

13%Cr과 0.3%C가 함유된 국내 P사 제품인 STS

420J2 강종을 오스테나이트화한 후 급냉했을 때의 경도는 H<sub>R</sub>C 48 수준으로서 일본산 동강종의 동일조건에서의 경도 H<sub>R</sub>C 51~53에 미치지 못하고 있다. 오스테나이트화한 후 급냉했을 때의 경도는 오스테나이트화 온도와 결정립크기 및 잔류오스테나이트의 량에 의해 주로 영향을 받기 때문에 본 실험에서는 Fig. 1에서와 같은 조건으로 실험을 실시했다. 소재는 국내 P사의 420J2 black coil(as-rolled)을 사용하였으며 그 화학성분을 Table 1에 나타내었다.

배치어닐링은 대형코일을 배치로에 장입한 다음 장시간 유지해 주는 열처리 방법이기 때문에, 이 대형코일은 동일한 가열속도로 가열하거나 동일한 열처리 온도에서 유지하여도 빨리 가열되는 부분(이하 최고온부로 나타낸다)과 늦게 가열되는 부분(이하 최저온부로 나타낸다)이 나타난다. 800~900℃의 온도에서 수십 시간 배치어닐링할 경우, 최고온부와 최저온부의

Table 1. Chemical composition of 420J2 black coil.

Chemical composition (wt.%)							
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
0.31	0.49	0.58	0.02	0.005	0.13	13.3	0.02

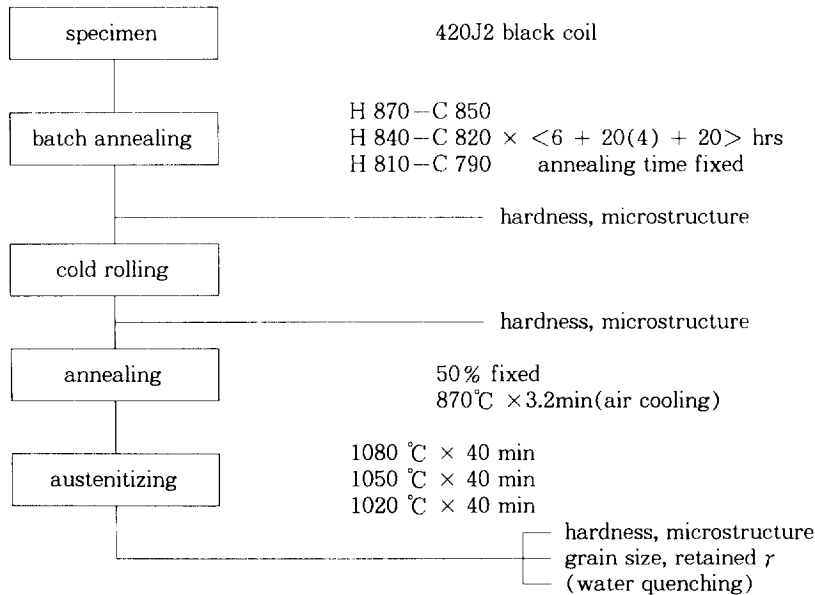


Fig. 1 Flow chart of tests for batch annealing and austenitizing conditions.

온도차이는 20°C 정도 되며 어닐링분위기온도는 최저 온부의 온도와 비슷하다.

따라서 본 연구에서는 배치어닐링 온도를 820°C (최저온부 온도 820°C, 최고온부 온도 840°C)로 하고, 최고온부가 어닐링온도에 도달하는 데 걸리는 시간 6시간, 최저온부가 어닐링온도에 도달하는 데 걸리는 시간 20시간, 최저온부가 어닐링온도에 도달하고 난 다음 계속해서 유지해 주는 시간 6시간, 어닐링온도로 부터 15°C/hr의 냉각속도로 550°C까지 냉각되는 데 걸리는 시간 20시간을 기준으로 하여, 각각 어닐링온도가 30°C 높은 850°C와 30°C 낮은 790°C를 선정하여 전부 6조건으로, 시간은 동일하게 하고 온도만 변화시켰다. 배치어닐링이 끝난 시편은 압하율을 50%와 60%로 하여 냉간압연한 후 가공경화정도를 조사했다. 냉간압하율이 50%인 6가지 조건의 시편을 선정하여 870°C에서 3.2분간 유지한 후 수냉하는 cold annealing(냉간압연된 소재를 어닐링하는 것) 재현실험을 실시하였다. 오스테나이트화온도 변화실험으로는 상기 6가지 조건의 시편을 각각 1080°C, 1050°C 및 1020°C의 오스테나이트화온도에서 40분간 유지시킨 후 수냉하여 최종경도(비커스경도), 결정립크기 및 잔류 오스테나이트량을 측정하였다.

### 3. 실험결과

Fig. 2와 Fig. 3은 각각 배치어닐링 온도변화에 따른 최고온부와 최저온부의 경도변화곡선으로서, 실선은 어닐링 도중 유지가 끝났을 때의 시편을 노에서 꺼내어 급냉시킨 시편의 경도와, 15°C/hr의 냉각속도로 550°C에서 급냉시킨 시편의 경도를 나타내며 점선은 최고온부의 배치어닐링 열처리곡선을 개략적으로 나타낸 것이다. 열처리 과정에서 탄소고용량이 최대로 되는 시점은 유지 직후이기 때문에 유지직후 시점에서 시편을 급냉시킨 시편의 경도는 해당소재의 최대 고용탄소량을 간접적으로 나타낸다고 생각할 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3의 결과로부터 배치어닐링후의 실제 경도는 고용탄소량에 비례하지 않으며 고용탄소량이 많을수록 연화경향이 큰 것을 알 수 있다. 어닐링온도가 동일한 경우 최고온부는 최저온부에 비해 고용탄소량이 훨씬 많고 어닐링 후에는 약간, 더 연화된다.

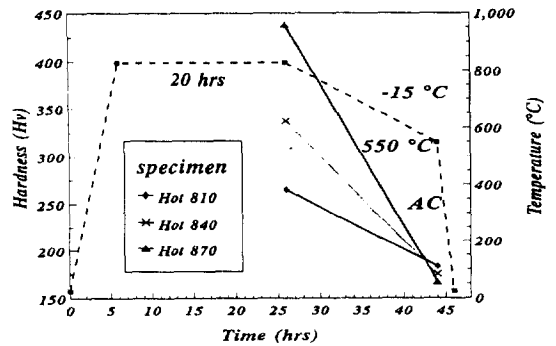


Fig. 2 Hardness variation of the hottest specimens with batch annealing temperatures. 'Hot 810' means that the specimen was annealed at 810°C and the one was heat-treated for simulating the hottest part of coil.

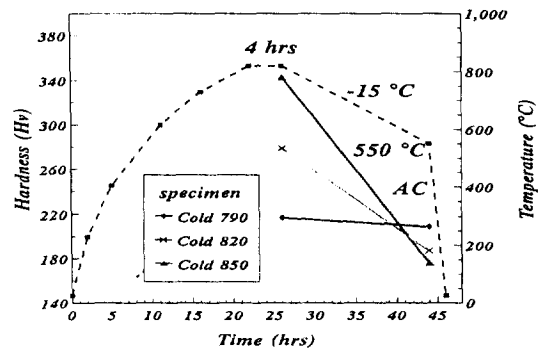


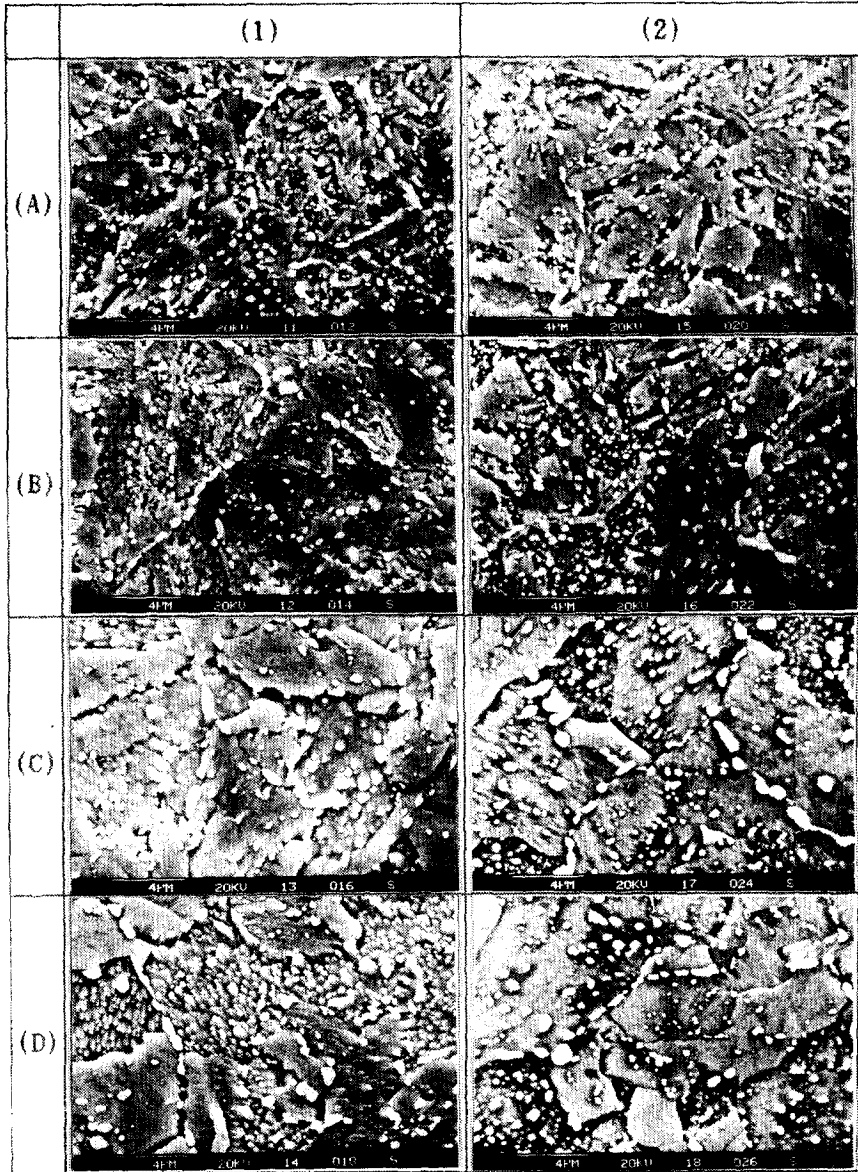
Fig. 3 Hardness variation of the coldest specimens with batch annealing temperatures. 'Cold 790' means that the specimen was annealed at 790°C and the one was heat-treated for simulating the coldest part of coil.

Fig. 4는 각기 어닐링온도가 다른 시편을 50% 냉간압연한 후 cold annealing(870°C에서 3.2분간 유지한 후 공냉)한 시편의 경도변화를 나타낸 그림으로서 Hv 305~325 수준에서 Hv 190~220 수준으로 연화가 일어난 것을 알 수 있다. 이때 어닐링 전의 경도가 클수록 연화경향이 더 크게 나타났다.

Photo. 1은 배치어닐링 도중의 최저온부(1)와 최고온부(2)의 대표적인 미세조직 변화사진으로서, 어닐링 진행과정중 가열직후와 유지직후 및 서냉중 550°C 직후에 시편을 급냉했을 때의 조직을 각각 (A), (B) 및 (C)로 나타내고 노냉후의 조직을 (D)로 나타내었다.

배치어닐링하기 전의 as-rolled상태에서 소재의 압연방향으로 길게 연신되어 있는 카바이드 라미네이트(carbide laminate)와 어닐링후 결정입계에 조대하게 석출되어 있는 크롬카바이드의 조성 및 기지 속의 Cr 함량조사를 위해 Photo. 1에서의 Cold 820 시편과

Hot 840 시편을 대상으로 실시한 EDS 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 최저온부와 최고온부에서의 크롬카바이드 조성과 기지 속의 Cr 함량은 차이가 없었으며(A), 어닐링온도에서 일정시간 유지한 직후 급냉했을 때 생성된 마르텐사이트 부분의 Cr함량(B)은 STS



**Photo. 1.** Optical microstructure during batch annealing (1) coldest part at 820°C (Cold 820) and (2) hottest part at 840°C (Hot 840): (A) after heating, (B) after holding, (C) air cooled at 550°C during slow cooling and (D) after furnace cooling to RT.

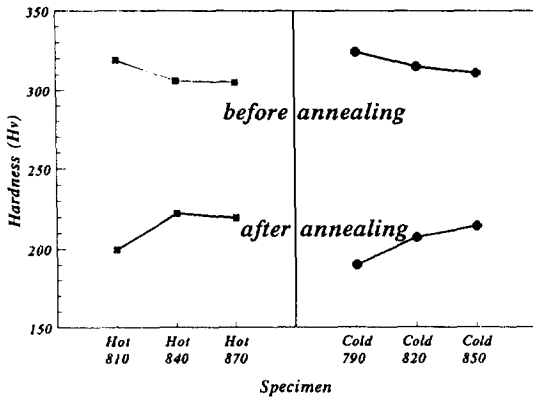


Fig. 4 Effect annealing on the hardness of the hot-test and the coldest specimens after 50% cold reductio

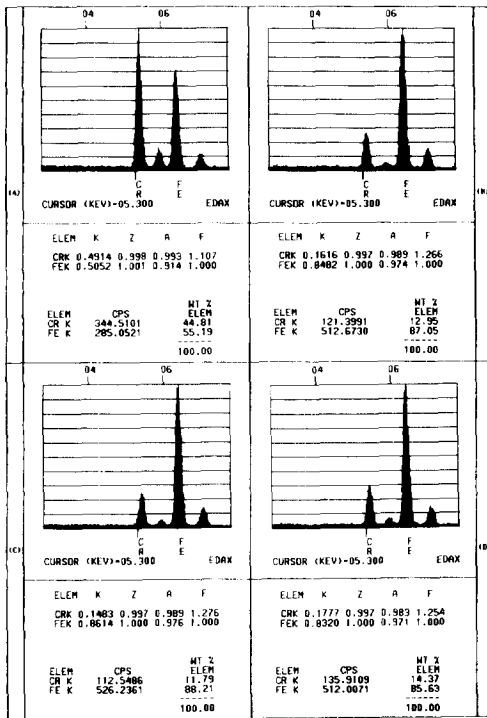


Fig. 5 Result of EDS for Cold 820 and Hot 840 specimens : (A) The contents of all chromium carbides in the (A), (B), (C) and (D) of Photo. 1 are same, (B) martensite part air cooled just after holding, (C) ferrite part and (D) medium pealite part after furnace cooling.

420J2 본 시재의 Cr함량 13.2% 보다 조금 적은 13.0%를 나타내었고, 상온까지 노냉한 시편의 페라이트 부분(C)과 미디움 퍼얼라이트(medium pearlite)부분의 Cr 함량은 각각 11.8%와 14.4% 정도 수준임을 나타내었는데 이러한 결과는 다른 조건의 열처리결과에서도 대략 동일하게 나타났다.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 최고온부와 최저온부의 어닐링 온도변화실험후 50% 냉간압연하고 오스테나이트화하고 난 후 급냉한 시편의 오스테나이트화 온도변화에 따른 경도변화곡선이다. Table. 2는 배치어닐링 온도를 6 조건으로 오스테나이트화 온도조건을 3 조건으로 변화시켰을 때의 각 시편의 최대고용탄소량과

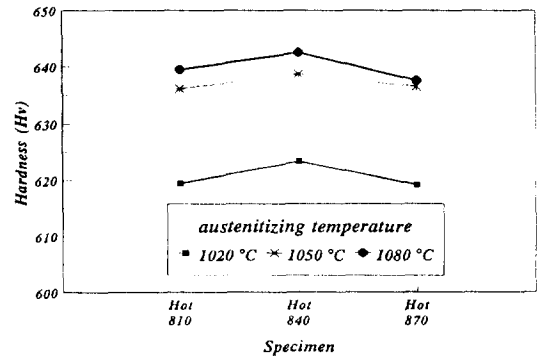


Fig. 6 Hardness variation of the hottest specimens as function of batch annealing temperatures showing the effect of austenitizing temperatures on the hardness.

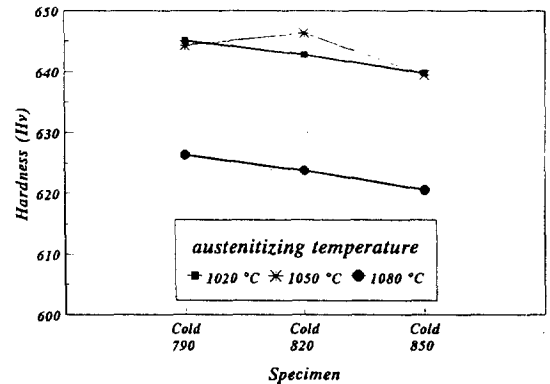


Fig. 7 Hardness variation of the coldest specimens as a function of batch annealing temperatures showing the effect of austenitizing temperatures on the hardness.

**Table 2** Maximum amount of dissolved carbon content, grain size and retained austenite of individual specimen after changing the austenitizing temperature.

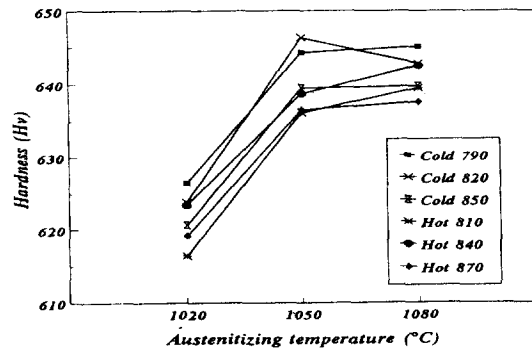
Specimen (BAF condition)	Austenizing Temperature (°C)	Hardness(Hv) (Max. carbon content)	Grain Size (ASTM No)	Amount of Retained Austenite
H 870 H 840 H 810 C 850 C 820 C 790	1020	619 623 617 620 624 627	8.2 8.2 8.4 8.1 8.3 8.3	less than 5 percent  Unable Quantitative Analysis
H 870 H 840 H 810 C 850 C 820 C 790	1050	636 639 636 640 647 645	6.0 6.0 6.1 6.0 6.1 6.1	
H 870 H 840 H 810 C 850 C 820 C 790	1080	637 643 640 640 643 646	5.4 5.6 5.4 5.1 5.3 5.3	

결정립크기 및 잔류 오스테나이트량을 나타내고 있다. 최대고용탄소량은 어닐링과정에서 유지직후에 시편을 꺼내어 수냉한 시편의 비커스경도값으로 나타내었으며 잔류오스테나이트량은 X-ray분석시험 결과값으로서 5% 미만 함유되어 정량적인 평가는 불가능했다. 다만 오스테나이트화온도와 배치어닐링온도가 높은 시편이 잔류오스테나이트량도 많을 것으로 예상된다.

Fig. 8은 6가지 조건으로 배치어닐링온도를 변화시킨 각각의 시편을 50% 냉간압연 후 오스테나이트화 온도를 1020, 1050, 1080°C로 변화시켜 오스테나이트화 한 후 급냉했을 때의 경도변화를 나타낸 것이다.

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 및 Table 2로부터 오스테나이트화온도가 높을 수록 최종경도는 크며 최고온부가 840°C를 넘게 되면 경도는 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 최저온부의 경우는 오스테나이트화할 때 탄소 고용이 추가로 진행되어 오스테나이트화온도에 상관없이 경도가 향상되며 오스테나이트화온도가 높을수록

경도가 더 커지게 된다. 오스테나이트화온도가 1050°C를 넘게 되면 결정립조대화과 잔류오스테나이트량의 증가로 경도향상 경향은 감소된다.



**Fig. 8** Changes in hardness with austenitizing temperatures at the various batch annealing conditions.

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 최고온부와 최저온부의 어닐링온도 변화실험을 실시한 후 50% 냉간압연하여 오스테나이트온도를 1020, 1050, 1080°C로 변화시켜 오스테나이트화했을 때의 결정립크기변화를 나타낸 그림이다. Fig. 11은 Fig. 9와 Fig. 10의 내용을 오스테나이트화 온도별로 도시한 그림이다. 오스테나이트화 온도가 1050°C를 넘게 되면 결정립초대화경향은 더욱 촉진된다. 오스테나이트화후의 최고온부의 결정립 크기 차이는 크지 않으며 배치어닐링온도가 높을수록 결정립크기가 약간 더 크다. 또 오스테나이트화온도가 1050°C일 때 1020°C와 1080°C일 때에 비해 최고온부와 최저온부의 결정립 크기 차이가 가장 적다.

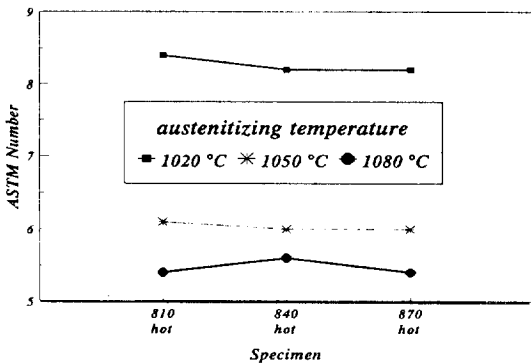


Fig. 9 Variation of grain sizes with austenitizing temperatures in the hottest specimens.

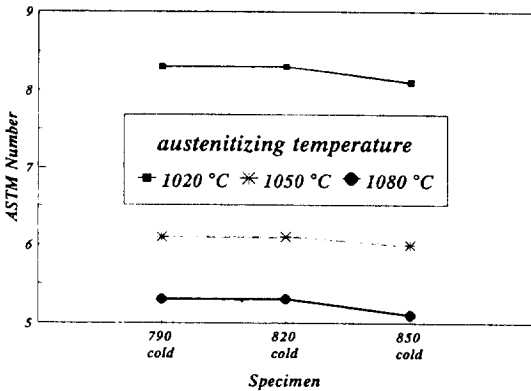


Fig. 10 Variation of grain sizes with austenitizing temperatures in the coldest specimens.

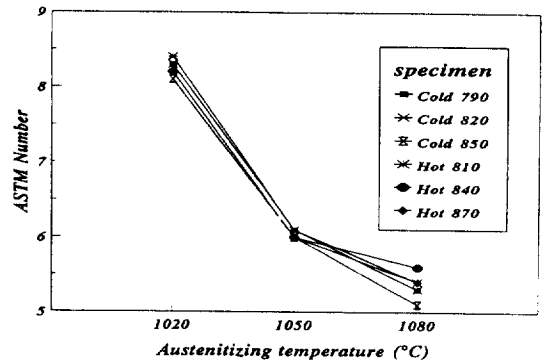


Fig. 11 Changes in grain sizes with austenitizing temperatures at the various batch annealing conditions.

#### 4. 고 찰

배치어닐링 온도변화에 따라 각각 최고온부와 최저온부의 경도변화곡선을 나타낸 Fig. 2와 Fig. 3에서와 같이 어닐링과정중 유지가 끝났을 때의 고용탄소량이 많은 시편이 상온에서의 연화경향이 크다. 따라서 어닐링온도가 높고 유지시간이 긴 시편이 고용탄소량이 많아지므로 최종적으로 실시하는 오스테나이트화 후에는 경도가 높아지는 것은 명확하다. 다만 배치어닐링 온도가 너무 높거나 오스테나이트화온도가 너무 높게 되면 결정립성장이 일어나고 잔류 오스테나이트량이 증가하게 되어 효과가 오히려 감소되므로 주의가 필요하다.

각기 어닐링온도가 다른 시편을 50% 냉간압연한 후 cold annealing한 시편의 경도변화를 나타낸 Fig. 4에서 어닐링 전의 경도가 클수록 연화경향이 더 큰 것은 동일압하량에서의 가공경화비율이 비슷한 것으로 보아<sup>1, 10)</sup> 어닐링 전의 경도가 큰 편이 잔류용력이 크게 축적되어 회복과 재결정이 일어나는데 필요한 구동력(driving force)이 크기 때문인 것으로 사료된다.

STS 420J2 강종의 as-rolled 조직은 마르텐사이트 기지와 압연방향으로 길게 연신된 변형대 위에 석출된 크롬카바이드 라미네이트 및 결정립계에 선상으로 가늘게 석출한 카바이드로 이루어져 있다<sup>4, 6)</sup>. 이러한 복합 조직은 어닐링시 가열함에 따라 분해 및 변태가 일어나는데 페라이트(또는 템퍼드 마르텐사이트)로부터 오스

테나이트가 생성되는 온도 즉 Acl 변태점온도는 문헌 상으로 대략 810°C 내외인 것으로 알려져 있다<sup>1, 5, 11)</sup>. Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 Photo. 1의 (A), (B), (C) 및 (D)의 크롬카바이드 Cr조성은 모두 동일하며 대략 43~48% 수준이기 때문에, Westgren등의 X-ray 분석 연구결과<sup>11)</sup>에 의한 Fe-Cr-C계 스테인레스강에 존재할 수 있는 4가지의 크롬카바이드 형태중 trigonal chromium carbide (CrFe)<sub>3</sub>C<sub>3</sub>인 것으로 사료된다.

최고온부와 최저온부의 어닐링온도변화 실험후 50% 냉간압연하고 오스테나이트화한 시편의 오스테나이트화온도변화에 따른 경도변화곡선 Fig. 6과 Fig. 7, 배치어닐링 온도변화실험후 각각의 시편을 50% 냉간압연한 후 오스테나이트화온도를 변화시켜 오스테나이트화했을 때의 최종경도 변화경향을 나타낸 Fig. 8 및 배치어닐링온도를 6조건으로 오스테나이트화 온도조건을 3조건으로 변화시켰을 때의 각 시편의 최대 고용탄소량과 결정립크기 및 잔류오스테나이트량을 나타낸 Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 오스테나이트화온도가 높을수록 최종경도가 크고, 최고온부의 경우 어닐링온도가 840°C를 넘게 되면 오히려 경도가 떨어지는 것은 결정립의 조대화 때문인 것으로 사료된다<sup>10)</sup>. 그러나 최저온부에서 어닐링 온도가 높을수록 경도가 높아지는 것은 최저온부의 경우 어닐링시간이 충분히 길지 못하기 때문에 오스테나이트화과정에서 탄소고용이 추가로 발생하기 때문이며 오스테나이트화온도에 상관없이 경도가 향상되고 오스테나이트화온도가 높을수록 경도가 더 커지는 것은 오스테나이트화온도가 높을수록 더 많은 탄소가 충분히 고용되기 때문이다<sup>1, 10)</sup>.

어닐링온도조건과 오스테나이트화 온도변화에 따라 소재의 결정립크기가 달라지는 것을 나타낸 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11에서 알 수 있는 바와 같이 오스테나이트화온도가 1050°C를 넘게 되면 결정립이 조대화하기 때문에 오스테나이트화온도는 1050°C를 넘지 않는 것이 좋다. 오스테나이트화 후의 최고온부와 최저온부의 결정립크기 차이가 크지 않고 오스테나이트화온도에 따라 결정립 크기가 최종적으로 결정되기 때문에 어닐링온도 보다는 오스테나이트화 온도관리에 더욱 신경을 쓸 필요가 있다.

최종경도에 미치는 주요인자로는 순서대로 ① 최대 고용탄소량 ② 결정립크기 및 ③ 잔류오스테나이트량을 생각할 수 있는데<sup>12)</sup>, X-ray 분석시험으로 잔류 오

스테나이트량을 측정하고자 시도하였으나 모든 시편에 있어 5% 미만을 함유하고 있어 측정비교가 불가능했다. 다만 어닐링온도와 특히 오스테나이트화온도가 높을수록 잔류오스테나이트량은 많을 것으로 예측되며<sup>1, 10)</sup> X-ray 측정결과 최대로 많은 경우에도 5% 미만이기 때문에, 잔류오스테나이트량이 전체 최대경도에 미치는 영향은 미미할 것으로 생각된다. 상기 모든 조건을 종합해 볼때 어닐링온도는 820°C (최저온부 820°C, 최고온부 840°C)이고 오스테나이트화온도는 1050°C일 때 가장 좋은 최종경도와 결정립크기를 얻을 수 있다.

## 5. 결 론

1) 배치어닐링후의 경도가 비슷해도 어닐링온도에 따라 탄소 고용량이 차이가 나기 때문에 냉간압연판을 가공한 다음 오스테나이트화하면 경도가 달라진다.

2) 배치어닐링후 기지중의 크롬카바이드에는 Cr이 43~48% 정도 농축되어 있으며 카바이드 형태는 trigonal chromium carbide(CrFe)<sub>3</sub>C<sub>3</sub>인 것으로 사료되며, 어닐링도중에는 동일한 조성을 유지한다.

3) 배치어닐링온도가 820°C이고 최종 오스테나이트화온도가 1050°C일 때 가장 높은 경도를 나타내었다.

4) 420J2 냉연강판 최종제품의 최종경도는 배치어닐링 조건보다는 오스테나이트화 조건에 의해 크게 영향을 받는다.

## 참 고 문 헌

1. 廣濱之彦, 山本誠司: 熱處理 27, 1(1987) p.17
2. 스텐레스鋼便覽, 日刊工業新聞社, p. 375
3. I. M. Bernstein: Handbook of stainless steels, McGraw-Hill, (1987) Chap. 6
4. 肥後喜一, 立道擴登, 條田研一: 日新製鋼技報 59 (1988) p.16
5. 齋藤喜一, 小林未子夫: 日本ステンレス技報, No. 19(1984) p.47
6. 山本章夫, 子安善郎, 泉總一, 田代清: 鐵と鋼, 64, 12(1978) .98
7. 金基敦: 大韓金屬學會誌, 32, 1(1994) p.20
8. 金榮柱, 金基敦, 成章鉉: 熱處理工學會誌, 7, 1



- (1994) p.25
9. 金龍吉, 金基敦, 成章鉉: 熱處理工學會誌, 5, 2  
(1992) p.111
10. 廣瀬之彦, 山本誠司: 熱處理 28, 2(1988) p.87
11. Monypenny: Stainless Iron and Steel, Vol. 2,  
Chapman and Hall Ltd.(1954) p.18
12. 牧 正志, 田村今男: 鐵と鋼, 67, 7(1981) p.12