



論文

보론 첨가 저탄소합금강에서 Mn함량과 오스테나이트 결정입도가 경화능에 미치는 영향에 관한 연구

허웅렬* · 노용식** · 최문성*** · 김영희** · 이상윤**

*형제 열처리 공업사

**동아대학교 금속공학과

***삼천리 열처리(주)

Study on the Effect of Austenite Grain Size and Mn Content on Hardenability in Boron-added Low Carbon Alloys Steels

U. Y. Huh*, Y. S. Rho**, M. S. Choi***, Y. H. Kim**, S. Y. Lee**

*Hyung-Je Heat Treatment Co.

**Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University

***Sam Chully Heat Treatment Co., LTD

ABSTRACT

This study has been carried out to investigate into some effects of Mn content with varying amounts and austenite grain size on hardenability in boron-added Fe-C-Cr-Mo alloy systems.

- (1) Austenite grains have been found to hardly grow in the temperature range of 900°C to 950°C, whereas they grow rapidly in the temperature range of 975°C to 1100°C.
- (2) Austenite grain growth is considerably small with increasing holding time at a given austenitizing temperature and is, in particular, hardly found to occur at a temperature of 900°C.
- (3) The hardenability improves remarkably as Mn content is increased at three different austenitizing temperatures 900°C, 1000°C and 1100°C.
- (4) The maximum hardenability is obtained from steels A, B and C austenitized at the 900°C, although Mn content is varied in each specimen.

1. 서 론

저탄소 합금강에 아주 극소량의 보론을 첨가할 때 강의 경화능이 현저히 개선 된다는 사실이 1920년 경에 알려진 이후 2차 대전으로 보론강의 생산량이 급격하게 증가되어, 미국 및 유럽각국에서 보론경화능 효과의 원

인과 보론의 역할에 대한 기구를 규명하기 위해 많은 연구가 이루어졌다¹⁾.

그 결과 보론은 오스테나이트 결정입계에 원자상태로 편석하여, 오스테나이트 결정입계의 자유에너지를 낮춤으로서 초석페라이트 핵생성을 억제시켜 강의 경화능을 현저히 개선하는 것으로 보론 경화기구를 설명하고 있

다²⁾.

보론강에 대한 연구의 핵심은 보론 경화능에 미치는 각종 인자에 대한 영향으로서 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 최대의 경화능을 얻기 위한 최적보론함량은 3~30 ppm으로 거의 일치된 견해를 보이고 있으며²⁾, 이 보다 많은 양이 함유될 경우 오히려 강의 경화능을 저하시키고 취화³⁾ 및 열간취성⁴⁾을 유발시킨다.

둘째, 질소 및 산소와 친화력이 큰 보론은 질소와 결합하여 보론 질화물(boronnitride, BN)을 형성하거나, 열처리중에 M₂₃(CB)₆, Fe₃(BC) 등과 같은 보론 탄화물(borocarbide)을 형성하면 경화능이 현저히 저하된다⁵⁾. 따라서 보론강에서는 고용질소 함량을 최대한 낮추기 위해 보론보호제로서 Ti, Al, Nb, V 및 Zr 등과 같은 미량 합금원소를 첨가하여 탈질 및 탈산 처리를 행하고 있다. 또한 보론보호제로서의 역할을 하는 미량 합금원소가 질소와 결합하여 오스테나이트 결정립계에 석출되어 오스테나이트 결정립성장을 억제시키는 역할도 함께 하고 있다.

셋째, 기본조성에 관한 것으로 연구의 주종을 이루는 원소는 C, Mn, Cr, Mo 및 Ni 등에 국한되어 있다. 특히 C는 그 함량이 증가함에 따라 보론이 경화능에 미치는 보론 배가인자(f_B)가 감소 되는 것으로 보고되어 있고 Rahe와 Armstrong은 다음과 같은 식으로 나타내고 있다.

$$f_B = 1 + 1.5(0.9 - \%C)$$

넷째, 보론강에서는 일반강과는 달리 오스테나이트 결정립이 작을수록 경화능이 향상되는 것으로 보고 되어져 있으며, 오스테나이트 결정립 성장을 억제하는 AlN, TiN 및 VN 등과 같은 질화물이 분해되지 않는 임계온도 및 시간 이하에서 처리하였을 때 최대의 경화능을 얻는 것으로 알려져 있다.

이상과 같이 보론강의 경화능에 대한 수많은 연구가 있었음에도 불구하고 제조공정과 열처리공정에 따라 재

현성이 극히 결여된 상태이므로 본 연구에서는 보론첨가 Fe-C-Cr-Mo합금계에 Mn함량을 변화시켜 Mn함량이 경화능에 미치는 영향과 오스테나이트 결정입도가 경화능에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료제작

시료는 30 kg 용량의 고주파 진공유도로에서 용해후 금형(상부 단면적; 100 mm×100 mm)에 주입하여 잉곳을 얻었다.

진공주조한 잉곳으로 부터 초기온도 1250°C, 마무리 온도 950°C에서 조미니 시험편 가공을 위해 35 mmφ의 봉재로 단조 하였다.

조미니 시험편은 35 mmφ의 봉재로 부터 직경 25.4 mm, 경화부의 길이 102 mm인 표준 조미니 시험편을 제작하였다. 단조중에 형성된 잔류응력을 제거하고 모든 시험편의 현미경조직을 표준화하기 위하여 시험편을 가공하기전에 930°C에서 40 분간 유지한 후 공냉하였다. 이로부터 분석된 시료의 화학조성은 Table 1 과 같다.

2.2. 퀴칭(quenching)

조미니 시험편은 아세톤으로 시편표면을 세척하여 약 100°C의 온도에서 40 분간 예열한 다음 900°C, 1000°C 및 1100°C의 오스테나이트화 온도에서 30 분간 유지한후 표준조미니 시험장치에 장입하여 선단부 퀴칭을 실시 하였다.

그리고 오스테나이트결정입도를 측정하기 위하여 오스테나이트화온도 900°C, 950°C, 975°C, 1000°C, 1050°C 및 1100°C에서 30 분, 60 분, 120 분 및 240 분 유지한후 공냉시켰다. 이때 사용된 로는 퀴칭처리중 탈보론화를 막기 위하여, 10⁻³mmHg의 진공도로 유지된 수직형 진공관상로(vertical type vacuum tube furnace, tube size 35 mm×900 mm, 5 kW)였으며, 시편을 장입하기 전에 먼저 고순도의 Ar가스로 2~3 차례 퍼징(purging)한 다

Table 1. Chemical composition of boron steels. (wt.%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ti	N	B
A	0.21	0.52	1.37	0.007	0.004	0.47	0.26	0.079	0.025	0.0016	0.0013
B	0.24	0.49	1.86	0.006	0.002	0.47	0.28	0.095	0.024	0.0017	0.0017
C	0.24	0.48	2.05	0.006	0.002	0.48	0.29	0.111	0.023	0.0015	0.0017

음 Ar가스가 충전된 상태에서 시편을 장입하였다. 온도 측정은 디지털 멀티미터(digital multimeter, Takeda사 모델 6855)를 사용하였으며, 온도측정의 정확도는 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이내로 유지하였다.

2.3. 경화능 시험

경화능 시험은 표준 조미니 시험장치를 사용하였으며, 이때 탱크의 물온도는 $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하였고, 내경이 12.5mm인 분사구로 부터 분사되어 나오는 물의 높이는 64.5mm로 일정하게 유지하였으며 각각의 오스테나이트화 온도에서 가열된 조미니 시편을 조미니 시험장치에서 선단부 퀘칭을 실시하였다⁹⁾.

경도측정은 냉각중 시험편 표면에서 발생한 탈보론층을 제거하기 위해서 시편의 양표면을 0.5mm 깊이까지 절삭하여 연마 및 정마를 거쳐 록웰 경도기(Rockwell hardness tester)를 사용하여 시편의 양쪽 평행부에서 선단부로부터 1.5mm간격으로 지그작식(zig-zag type)으로 측정하였다. 측정된 경도값과 조미니 시험편 선단부로부터 거리를 조합하여 조미니 경화능 곡선을 얻었다.

2.4. 현미경 조직시험

경도 측정을 실시한 조미니 시험편을 선단부로부터 20mm간격으로 절단하여 거리변화에 따른 미세조직 변화를 광학현미경(optical microscope, Nikon Nec-5)을 사용하여 관찰하였다.

2.5. 정량 금속조직 분석

공냉시킨 오스테나이트 결정입도측정용 시험편을 80 mlH₂O, 28 ml Oxalicacid(10%), 4 mlH₂O₂의 혼합액을 사용하였으며, 부식시킨후 800 배 및 400 배로 광학현미경 조직사진을 촬영하여, Heyn의 교차법에 의해 평균 결정입도 D를 다음식으로 계산하여 구하였다.

$$D = \frac{P}{M \times N}$$

여기서, P는 측정그릿의 원주율이며, M은 배율이고, N은 측정용 그릿과 결정입계와 교차점의 수이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 오스테나이트화온도변화에 따른 결정립성장특성

Photo.1, Photo.2, Photo.3은 Steel A, B 및 C를 900 $^{\circ}\text{C}$, 975 $^{\circ}\text{C}$, 1000 $^{\circ}\text{C}$, 1050 $^{\circ}\text{C}$ 및 1100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 30분간 오스테나이트화 처리한후 공냉시킨 시험편의 현미경조직으로서 Steel A, B 및 C는 공히 950 $^{\circ}\text{C}$ 까지는 결정립변화가 거의 없으나, 975 $^{\circ}\text{C}$ ~1100 $^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서는 오스테나이트 결정립이 급격하게 성장하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Vodopivec⁹⁾ 및 Yamanaka⁵⁾ 등이 보고한 것과 같이 주로 결정립 성장을 억제시키고 있던 AlN입자의 분해 및 성장에 기인한 것이라 생각된다.

이들 시편으로부터 측정된 오스테나이트 결정립은 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라서 Fig.1와 같이 변화하며, Steel A, B 및 C는 오스테나이트화 온도

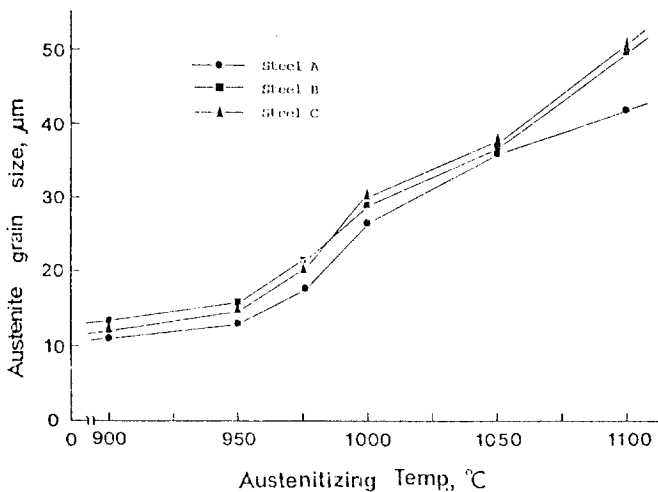


Fig.1. Relation between austenite grain size and austenitizing temperature for steels A, B and C at a given holding time of 30 minutes.

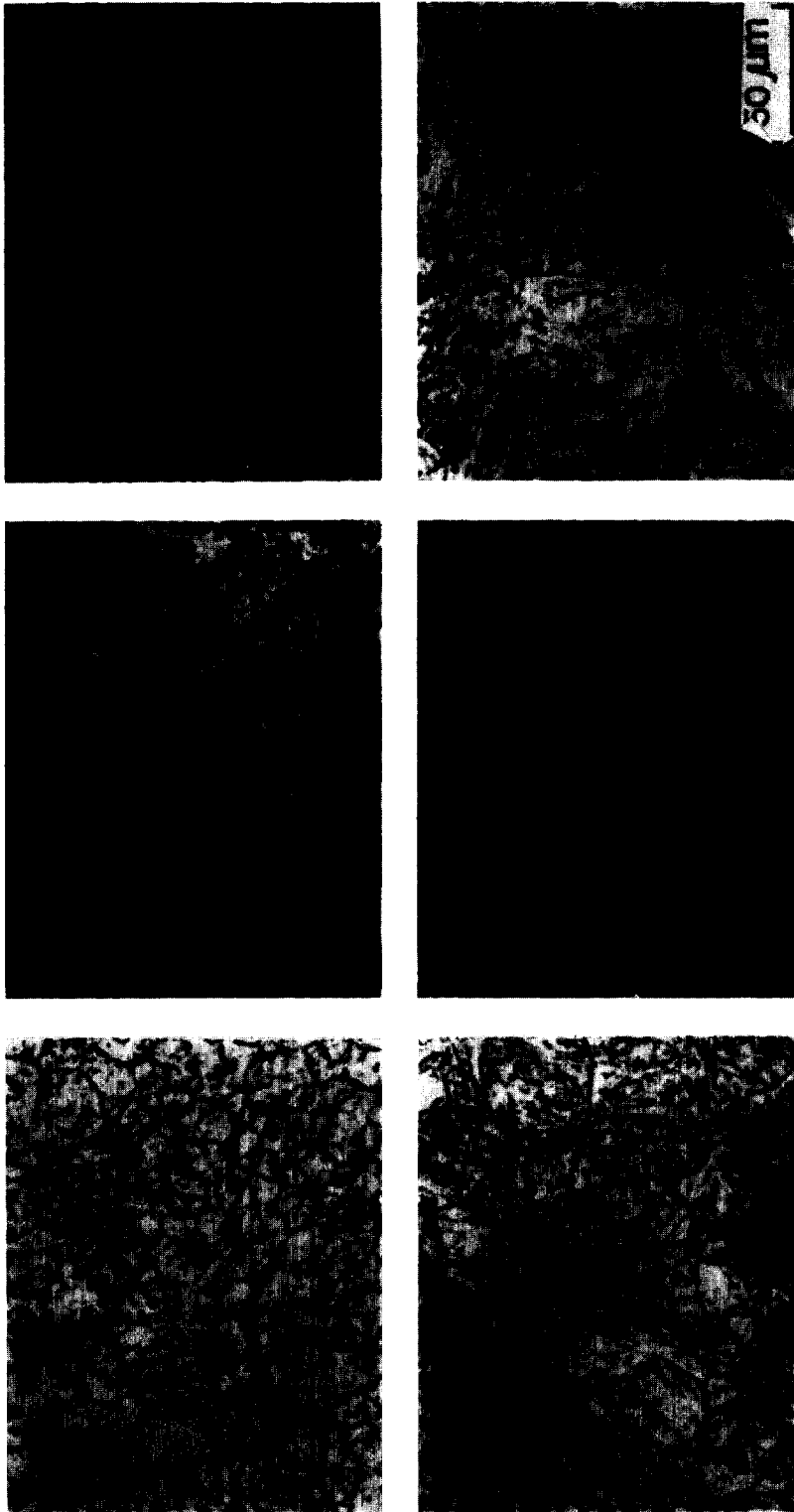


Photo.1. Optical micrographs showing grain coarsening behavior as a function of austenitizing temperature for steel A. (A) 900°C (B) 950°C (C) 975°C (D) 1000°C (E) 1050°C (F) 1100°C

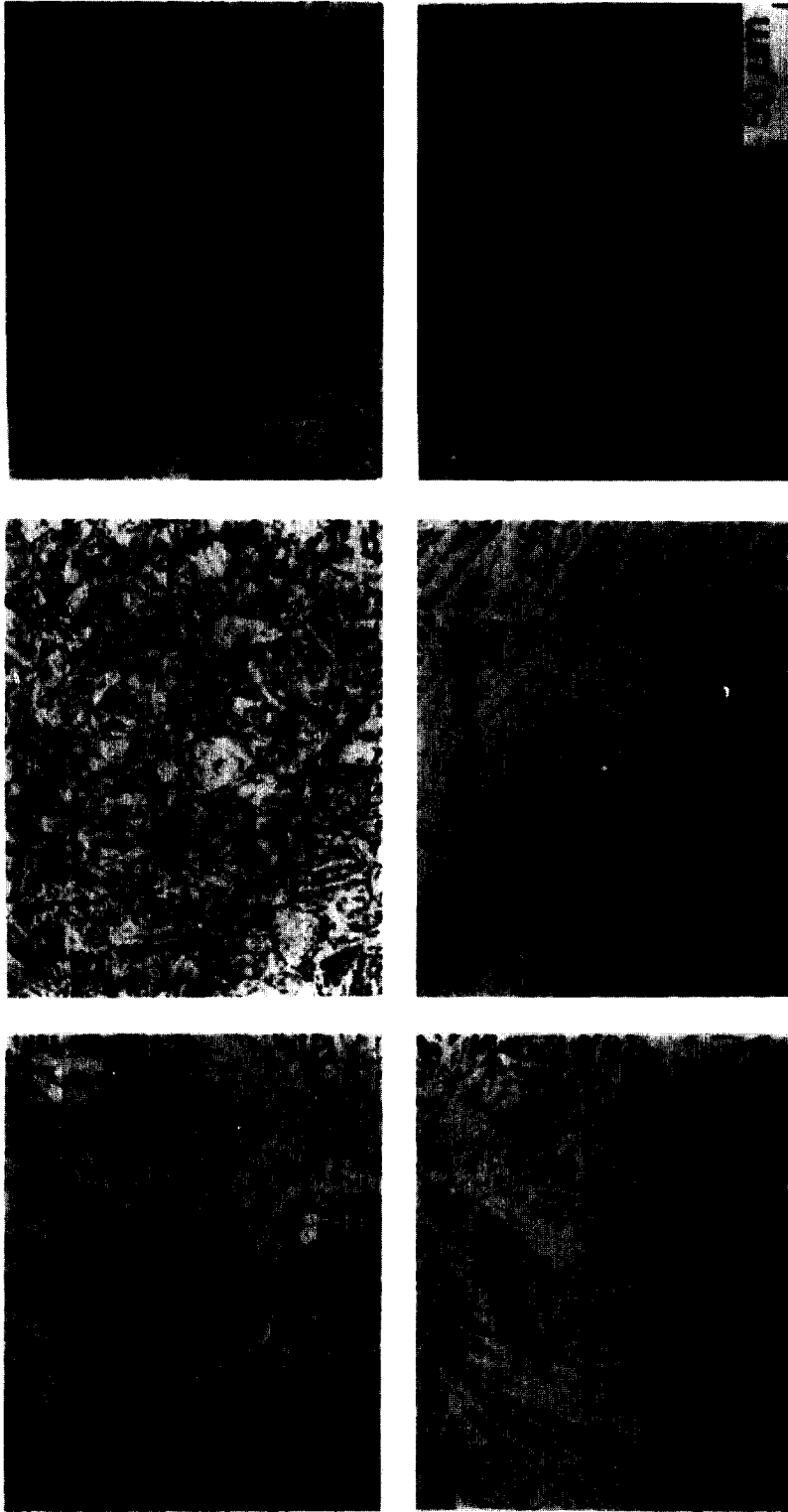


Photo. 2. Optical micrographs showing grain coarsening behavior as a function of austenitizing temperature for steel B. (A) 900°C (B) 950°C (C) 975°C (D) 1000°C (E) 1050°C (F) 1100°C

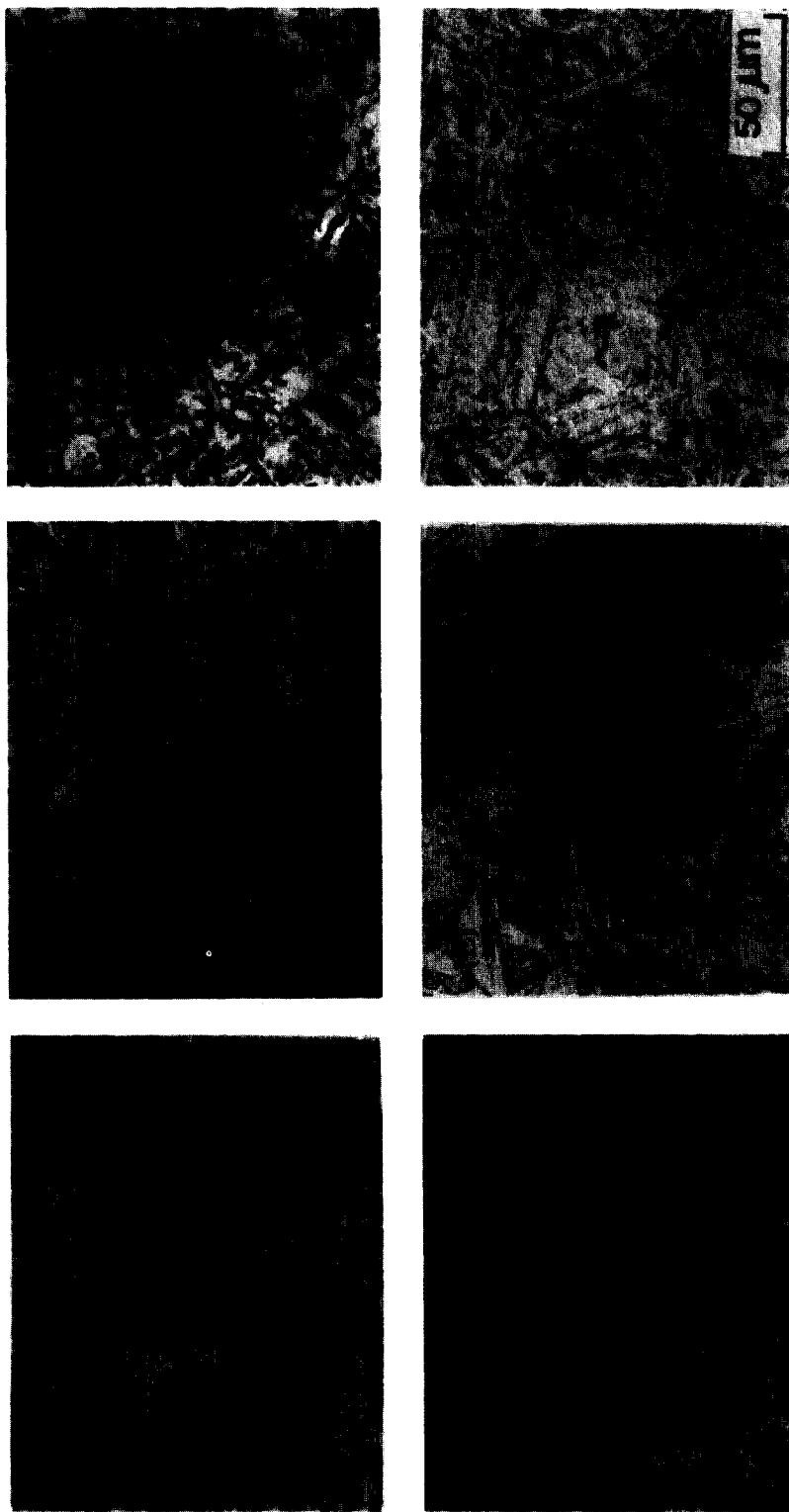


Photo. 3. Optical micrographs showing grain coarsening behavior as a function of austenitizing temperature for steel C. (A) 900°C (B) 950°C (C) 975°C (D) 1000°C (E) 1050°C (F) 1100°C

950℃까지는 결정립 성장이 매우 작으나 975℃~1100℃ 온도범위에서 결정립이 급격하게 성장하고 있음을 볼 수 있다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 오스테나이트화 온도가 975℃이상으로 증가함에 따라 AlN과 같은 질화물의 분해 및 성장이 점진적으로 일어나, 결정립이 급격하게 조대화된 것으로 생각된다.

Fig.2는 유지시간이 4시간인 경우로서 900℃~1000℃구간에서의 결정립 성장이 1000℃~1100℃구간에서의 결정립 성장보다 큼을 볼 수 있다. 이와같이 동일 유지시간에서 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라 결정립이 급격하게 성장하는 원인은 Pickering과 Garbarz¹⁰⁻¹²⁾가 보고한 바와 같이 미량합금원소 Al, Ti 및 V등과 같은 원소가 질소와 결합하여 오스테나이트 결정입계에 석출하므로써 오스테나이트 결정립 성장을 억제시키는 역할을 하고 있었으나, 오스테나이트화 온도 상승에 따라 분해 및 성장이 점점 더 활성화되어 결정립이 현저하게 성장한 것으로 사료된다. 따라서 오스테나이트화 온도 증가에 따라 석출된 질화물의 분해 및 성장 여부가 결정립 성장의 큰 변수임을 알 수 있다.

3.2. 오스테나이트화시간변화에 따른 결정립성장특성

Photo.4~photo.6은 Steel A, B 및 C를 각각 900℃ 및 1100℃에서 유지시간을 30분에서 4시간으로 변화시켜 오스테나이트화 처리하였을 때의 결정립 변화를 나타낸 현미경 조직으로서 900℃에서는 유지시간 변화에 따른 결정립 성장이 거의 없음을 관찰할 수 있으며,

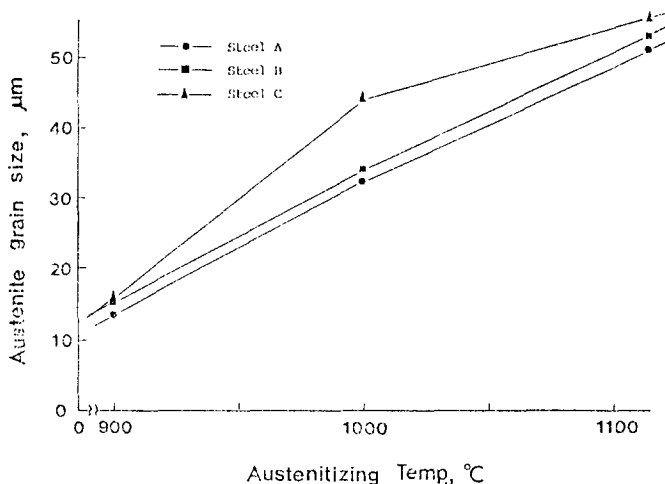


Fig.2. Relation between austenite grain size and austenitizing temperature for steels A, B and C at a given holding time of 4 hours.

1100℃에서는 유지시간 변화에 따라 결정립이 비교적 완만하게 성장하고 있음을 알 수 있다.

Fig.3은 오스테나이트화 온도 900℃에서 유지시간을 변화시켰을 때 생긴 결정립 성장 특성을 나타낸 것으로 유지시간 30분에서는 평균 결정입도가 13~15μm이고, 4시간에서는 평균결정입도가 15~18μm로 유지시간 변화에 따른 결정립 변화는 거의 없음을 볼 수 있다.

이는 오스테나이트 결정입계에 석출하여 오스테나이트 결정립 성장을 억제시키고 있는 AlN, TiN 등과 같은 질화물이 오스테나이트화 온도 900℃에서는 안정하여 유지시간의 증가에도 불구하고 분해 및 성장이 일어나지 않으므로 인해 결정립이 거의 성장하지 않은 것으로 생각된다.

오스테나이트화 온도 1000℃에서의 유지시간 변화에 따른 결정립 변화를 Fig.4에 나타내었으며, 30분 동안 오스테나이트화 처리한 경우 900℃에 비해 12μm정도 더 크게 결정립이 성장하였고 처리시간 변화에 따른 결정립 성장은 비교적 완만함을 볼 수 있다.

이는 오스테나이트화 온도가 1000℃로 증가함에 따라 오스테나이트 결정립 성장을 억제시키고 있던 AlN과 같은 질화물의 분해 및 성장이 일어나 30분 동안 오스테나이트화 처리함에 따라 결정립이 급격하게 성장하였으며, 처리시간 30분에서 분해되지 않은 불안정한 AlN이 처리시간이 길어짐에 따라 서서히 분해 및 성장이 일어나 결정립이 완만하게 성장한 것으로 생각된다.

Fig.5는 오스테나이트화 온도 1100℃의 경우로서 처

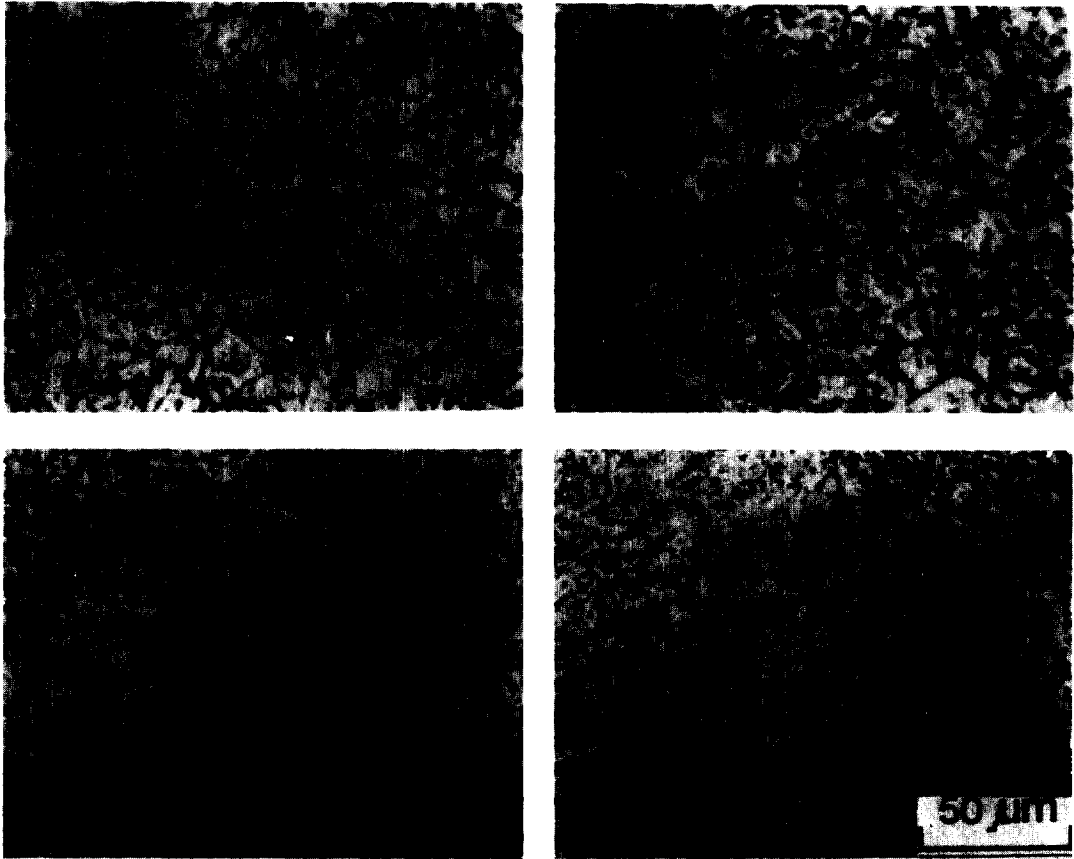


Photo.4. Optical micrographs showing the austenite grain size of steel A austenitized (A) for 30 minutes at 900°C (B) for 4 hours at 900°C (C) for 30 minutes at 1100°C (D) for 4 hours at 1100°C.

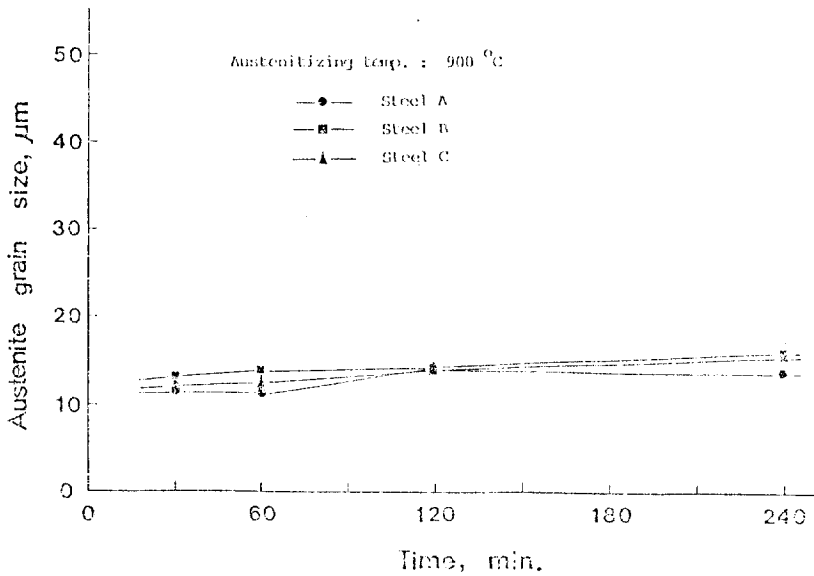


Fig.3. Variation of austenite grain size with holding times at a austenitizing temperature of 900°C for steels A, B and C.

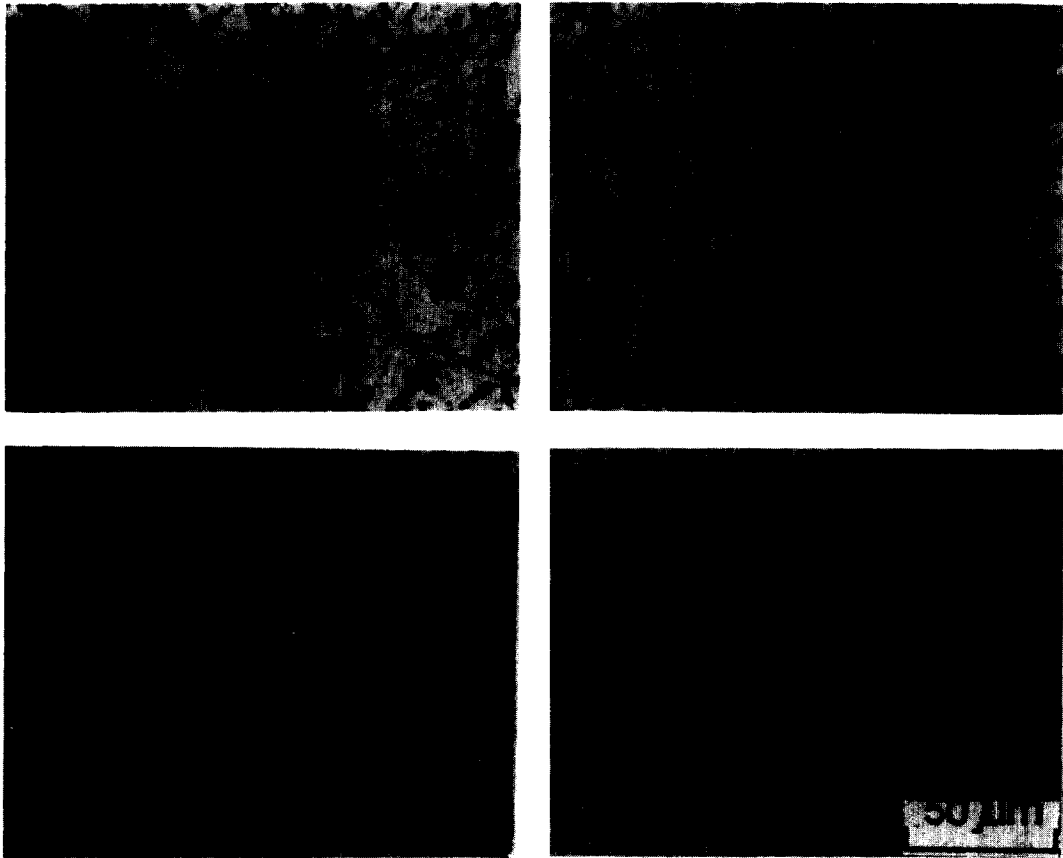


Photo.5. Optical micrographs showing the austenite grain size of steel B austenitized (A) for 30 minutes at 900°C (B) for 4 hours at 900°C (C) for 30 minutes at 1100°C (D) for 4 hours at 1100°C.

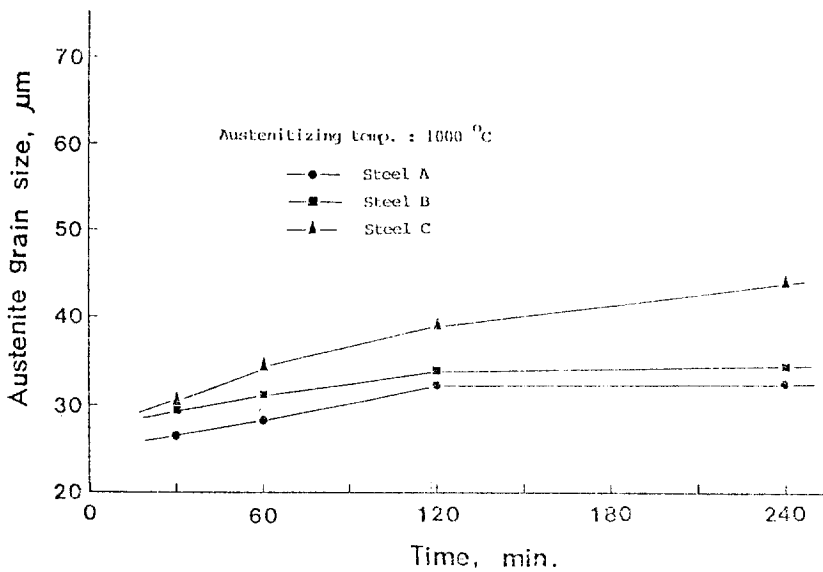


Fig. 4. Variation of austenite grain size with holding times at a austenitizing temperature of 1000°C for steels A, B and C.

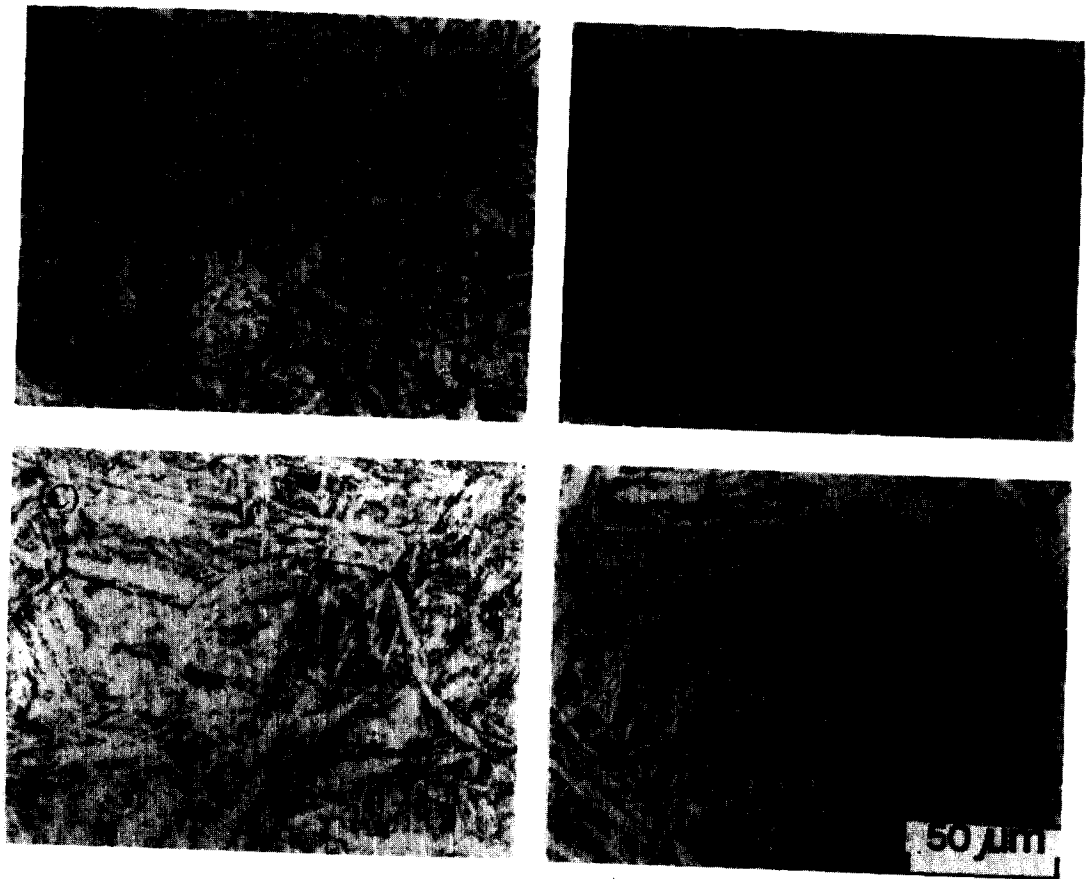


Photo.6. Optical micrographs showing the austenite grain size of steel C austenitized (A) for 30 minutes at 900°C (B) for 4 hours at 900°C (C) for 30 minutes at 1100°C (D) for 4 hours at 1100°C.

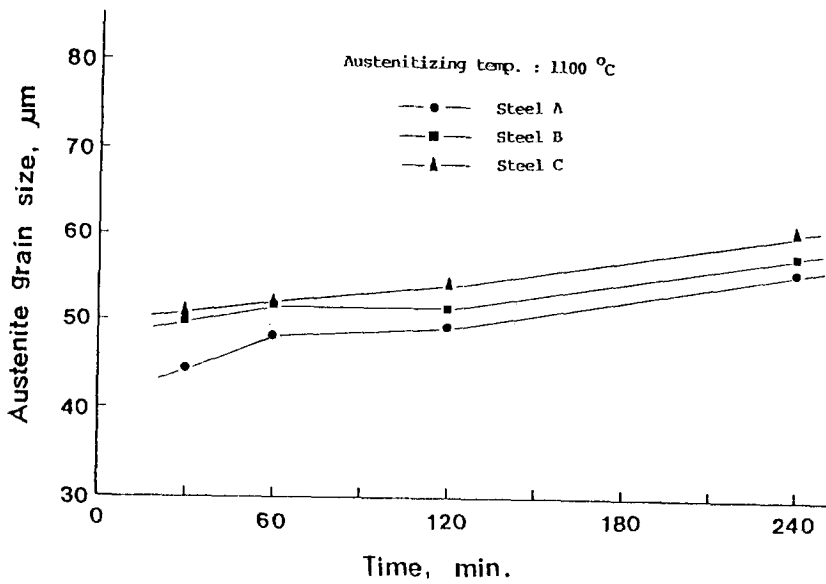


Fig.5. Variation of austenite grain size with holding times at a austenitizing temperature of 1100°C for steels A, B and C.

리시간이 길어짐에 따라 1000℃와 거의 동일한 경향으로 결정립이 성장하고 있다.

이와같이 오스테나이트화 처리시간이 결정립 변화에 미치는 영향은 아주 작으며, 특히 900℃에서는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 Yamanaka와 Ohmori⁵⁾는 처리시간이 길어짐에 따라 초기 가열중 AlN석출 이전에 BN을 형성하므로써 베이나이트 변태 개시온도가 감소하는 것으로 보고 하고 있고, Shyne와 Morgan¹³⁾에 의하면 처리시간이 길어짐에 따라 탈보론화(deboronization)의 경향이 있는 것으로 보고 하고 있다. 따라서 일정한 오스테나이트화 온도에서 가장 우수한 경화능을 얻기 위해서는 유지시간을 가능한 짧게 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

3.3. 오스테나이트화 온도 변화에 따른 경화능 특성

Fig.6은 Steel A를 900℃, 1000℃ 및 1100℃에서 30분간 오스테나이트화 처리한후 선단부 켄칭을 실시하여 조미니 시험편 선단부로부터 거리변화에 따른 경도 분포를 나타낸 Steel A의 조미니 경화능 곡선으로서 오스

테나이트화 온도가 900℃에서 1100℃로 증가함에 따라 록크웰 "C" 경도값으로 44 되는 선단부로부터 거리는 900℃에서는 18 mm, 1000℃에서는 16 mm 및 1100℃에서는 8 mm로 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라 Ohmori 와 Yamanaka⁵⁾ 등이 보고한 것과 동일하게 경화능이 감소하고 있다. 이는 앞절에서도 언급한 바와같이 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라 오스테나이트 결정립 성장을 억제시키고 있던 AlN과 같은 질화물의 분해로인해 결정립이 급격하게 성장하였으며, 질소농도의 증가로 인해 냉각중 결정입계에서 BN 및 보론탄화물이 우선적으로 형성되므로써 오스테나이트 결정입계에 편석된 보론 원자수가 감소하여 상부베이나이트의 형성이 용이해졌으며, Hall-Petch식이 일반적으로 보여주는 바와 같이 큰결정립이 미세한 결정립에 비해 항복강도가 작기 때문에 오스테나이트 결정입계에 베이나이트가 형성되어 결정립 내부로 성장해 갈 때 낮은 오스테나이트 항복강도로 말미암아 베이나이트 변태가 촉진되므로써 오스테나이트화 온도증가에 따라 경화능이 현저히 감소된 것으로 추측된다.

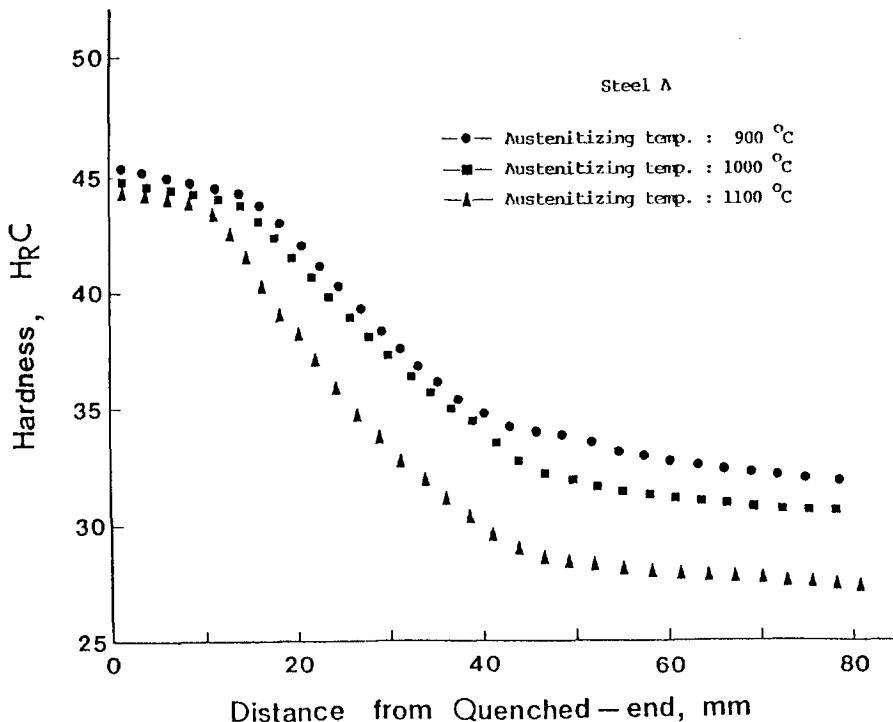


Fig.6. Relation between hardness and distance measured from quenched-end for steel A austenitized for 30 minutes at 900℃, 1000℃ and 1100℃

Steel B에 대한 조미니 경화능 곡선은 Fig.7에 나타낸 바와같으며, Steel A와 동일한 현상으로 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라, 즉 900°C에서는 35 mm, 1000°C에서는 31 mm 및 1100°C에서는 19 mm로 현저하게 경화 깊이가 감소함을 볼 수 있다. 그러나 Steel A에 비해서는 900°C, 1000°C 및 1100°C에서 모두 경화능이 현저히 개선 되었음을 볼 수 있다. 이는 Mn함량이

1.86%로 증가함에 따른 Mn의 영향인 것으로 생각된다.

Fig.8는 Steel C에 대한 조미니 경화능 곡선으로 Steel A 및 B에서와 같이 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라 경화능이 현저히 감소하고 있으나 Steel A 및 B에 비해서는 900°C, 1000°C 및 1100°C에서 경화능이 현저히 개선되었다. 이는 Mn함량이 2.05%로 증가함에

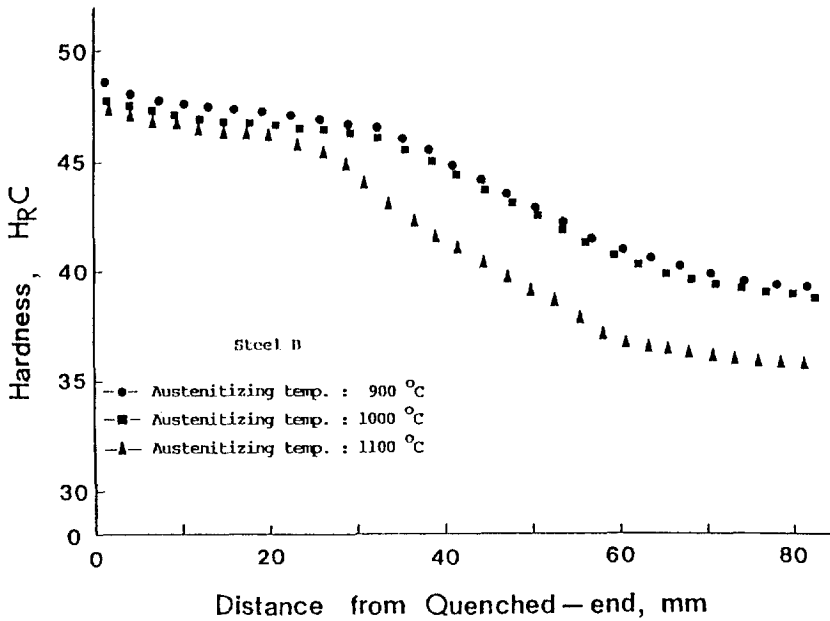


Fig.7. Relation between hardness and distance measured from quenched-end for steel B austenitized for 30 minutes at 900°C, 1000°C and 1100°C.

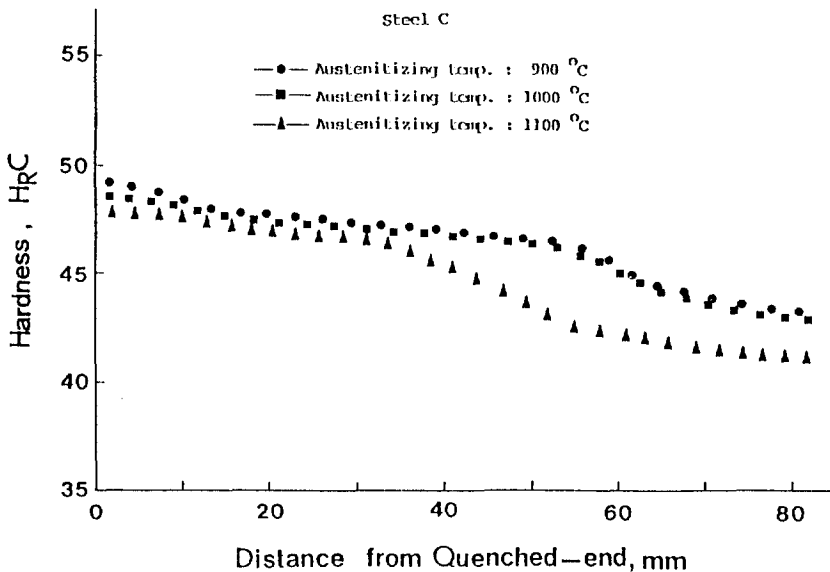


Fig.8. Relation between hardness and distance measured from quenched-end for steel C austenitized for 30 minutes at 900°C, 1000°C and 1100°C.

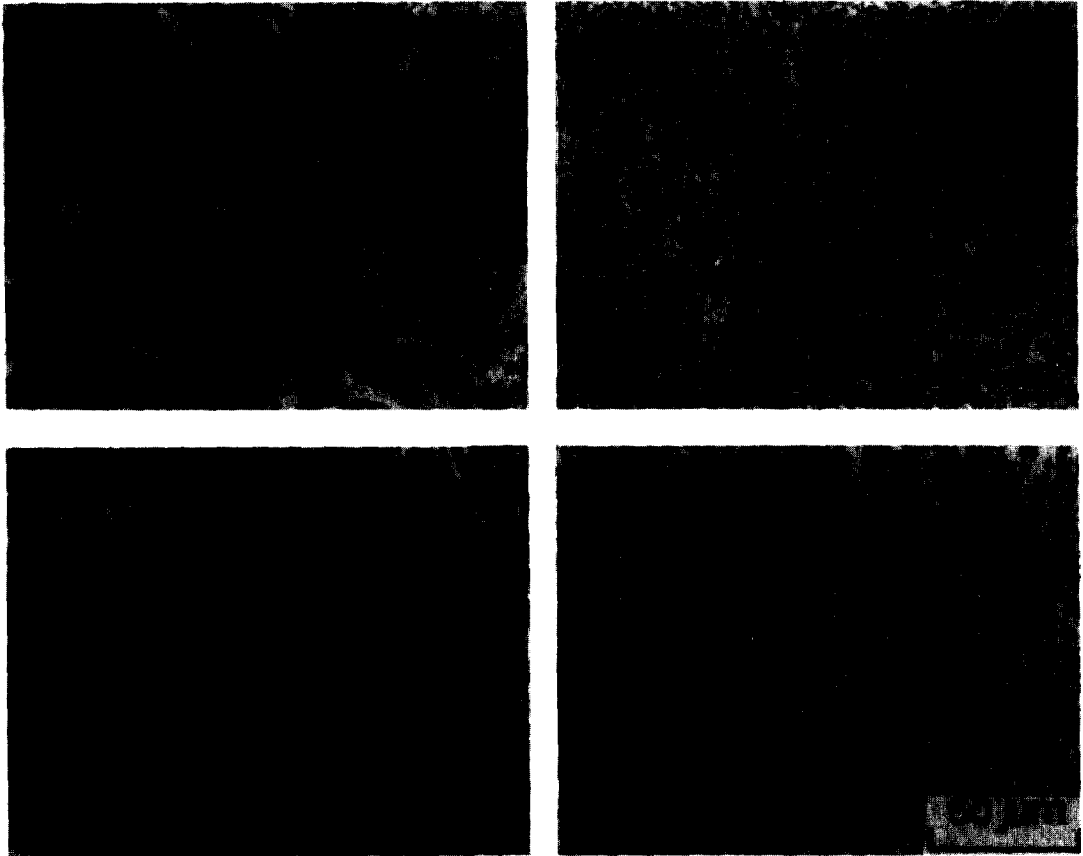


Photo.7. Optical micrographs showing the microstructures at the point of 0.5 mm and 60 mm from quenched-end of Jominy specimen austenitized at 900°C and 1100°C in steel A.
 (A) $J_{0.5}$ at 900°C (B) J_{60} at 900°C (C) $J_{0.5}$ at 1100°C (D) J_{60} at 1100°C

따른 Mn의 영향인 것으로 생각된다. 따라서 보론 첨가 저탄소 합금강에서 기본조성이 경화능에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

조미니 시험편 선단부로부터 거리변화에 따른 Steel A, B 및 C의 미세조직변화를 Photo.7~Photo.9에 각각 나타내고 있으며, Steel A, B 및 C에서 공히 900°C에서 AIN과 같은 질화물이 오스테나이트 결정입계에 석출하여 결정립 성장을 억제하고 있으며, 오스테나이트의 높은 항복강도로 말미암아 베이나이트 변태가 억제되고 있다. 따라서 조미니 시험편 선단부에서는 세계 시료 공히 마르텐사이트와 약간의 하부 베이나이트가 혼재하여 있고, 선단부로부터 거리가 멀어짐에 따라 냉각속도가 현저히 저하함에도 불구하고 상부 베이나이트는 나타나지 않고 있으며, 하부 베이나이트량만 약간

증가하였음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Steel A, Steel B, Steel C순으로 Mn함량이 1.37%, 1.86%, 2.05%로 증가함에 따라 하부 베이나이트 증가량은 감소하고 있다.

오스테나이트화 온도가 1100°C일때 결정립 성장을 억제시키고 있던 AIN의 분해로 인해 질소농도가 증가하여 냉각중 질소와 친화력이 큰 보론이 질소와 결합하여 오스테나이트 결정입계에 BN으로 우선적으로 형성되거나, 보론 탄화물을 형성하여 결정입계에 편석되므로 유효 보론량이 감소하였고, 결정립이 조대화됨에 따라 오스테나이트의 낮은 항복강도로 말미암아 베이나이트 변태가 촉진된다. 따라서 선단부에는 마르텐사이트와 하부 베이나이트 및 상부 베이나이트가 혼재하여 있고 거리 변화에 따른 냉각속도 감소로 인해 상부 베이나이트

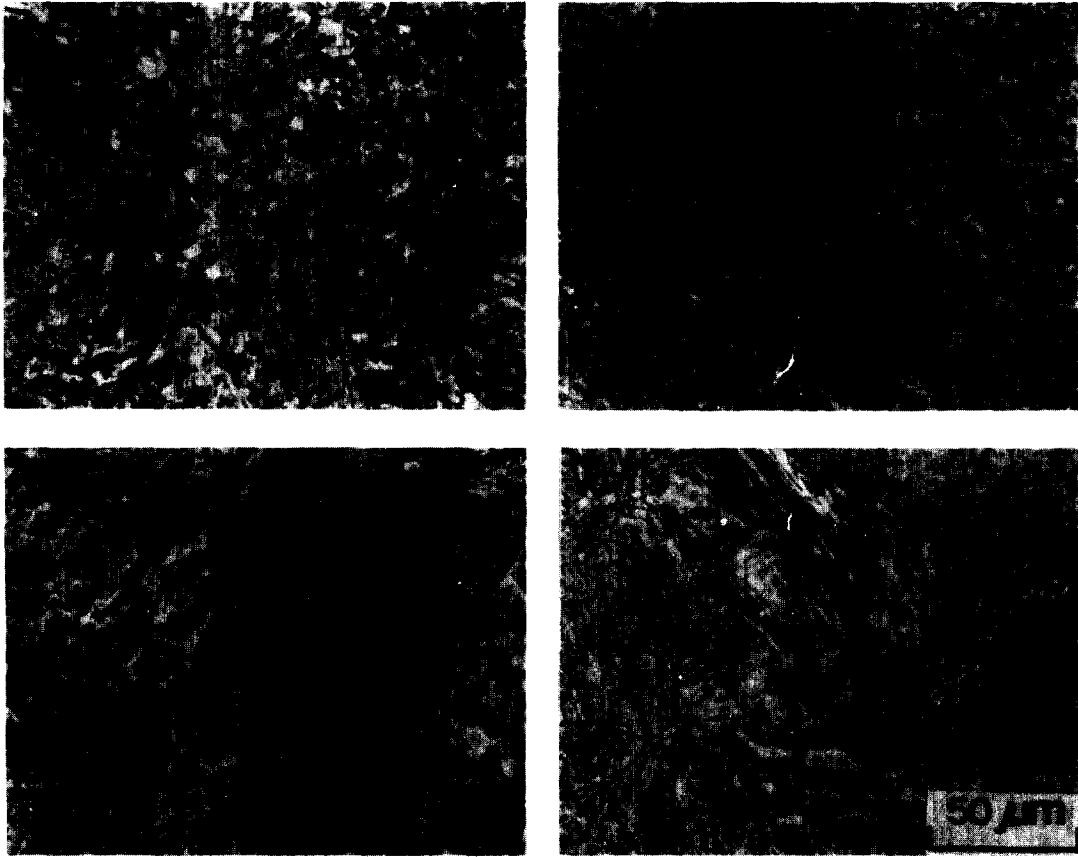


Photo.8. Optical micrographs showing the microstructures at the point of 0.5mm and 60 mm from quenched-end of Jominy specimen austenitized at 900°C and 1100°C in steel C.
(A) $J_{0.5}$ at 900°C (B) J_{60} at 900°C (C) $J_{0.5}$ at 1100°C (D) J_{60} at 1100°C

및 하부 베이나이트량은 증가하고 마르텐사이트량은 감소하고 있다. 이러한 현상은 Mn함량이 증가함에 따라 상부 베이나이트 및 하부 베이나이트량은 감소하고 마르텐사이트량이 증가하기 때문이다.

동일 오스테나이트화 온도에서 Steel A, B 및 C의 경화능을 비교하기 위하여 Fig.9, Fig.10 및 Fig.11에 오스테나이트화 온도 900°C, 1000°C 및 1100°C의 경우를 각각 나타내며, 이 세 온도구간에서 다같이 선단부 경도가 Steel A에 비해 Steel B와 C가 록크웰 "C"경도로 3 정도 더 높게 나타난다. 이는 마르텐사이트 경도는 탄소 함량에 의존하므로 Steel A에 비해 Steel B와 C가 탄소함량이 0.03% 더 많은데 따른 경도 차이인 것으로 생각된다. 그러므로 Steel A 및 Steel B에 비해 Steel C가 가장 우수한 경화능을 나타내고 있다. 이것은 Mn

이 마르텐사이트 경화능을 향상시키기 때문이며, Mn 함량 2%까지는 고용강화제로 작용하여 오스테나이트 결정입계에 편석함으로 초석페라이트 및 베이나이트 형성을 억제할 뿐 아니라 오스테나이트내에 고용된 Mn의 고용효과인 것으로 생각된다.

Fig.12는 Mn함량 변화와 조미니 시험편 선단부로부터 40mm되는 지점에서의 경도변화를 나타낸 것으로 Mn함량이 증가함에 따라 오스테나이트화 온도 900°C, 1000°C 및 1100°C에서 경도값이 현저하게 증가하고 있고 동일 Mn함량에서 오스테나이트화 온도가 900°C에서 1000°C로 증가함에 따른 경도 감소율 보다 1000°C로 증가함에 따른 경도 감소율이 현저하게 더 큼을 볼 수 있다.

따라서 동일 오스테나이트화 온도에서 Mn함량이 경

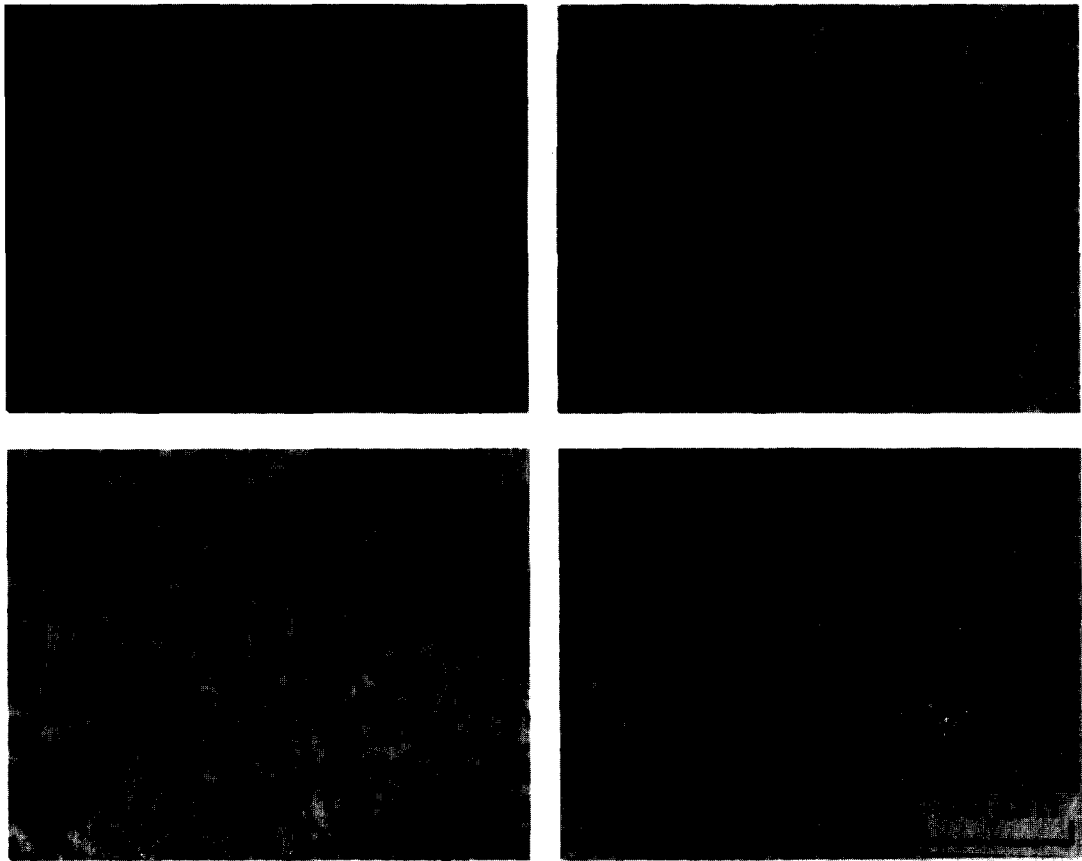


Photo.9. Optical micrographs showing the microstructures at the point of 0.5 mm and 60 mm from quenched-end of Jominy specimen austenitized at 900°C and 1100°C in steel C.
 (A) $J_{0.5}$ at 900°C (B) J_{60} at 900°C (C) $J_{0.5}$ at 1100°C (D) J_{60} at 1100°C

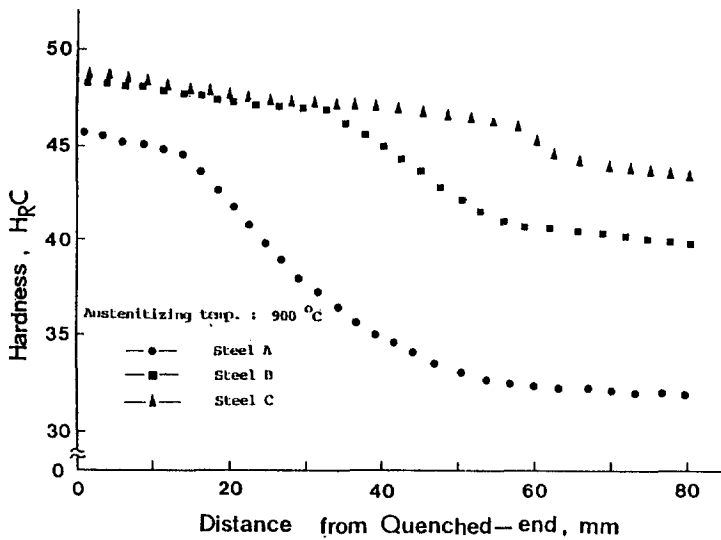


Fig.9. Relation between hardness and distance measured from quenched-end for steel A, B and C austenitized for 30 minutes at 900°C.

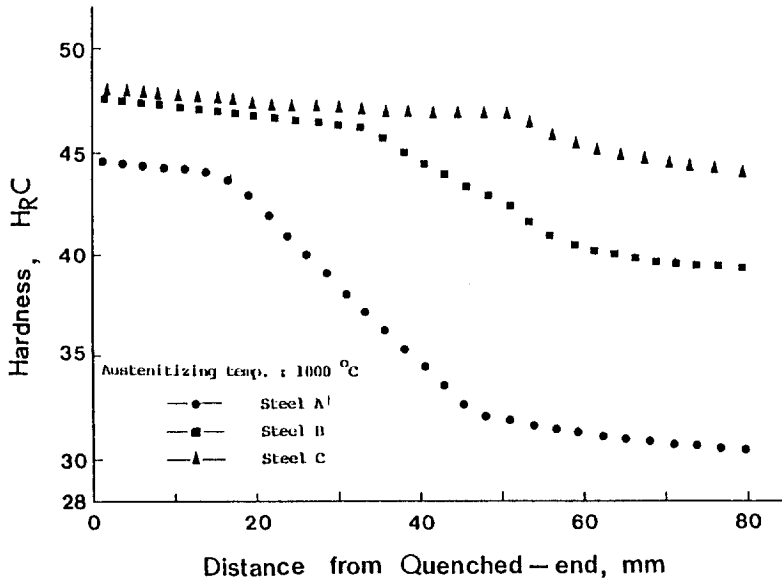


Fig.10. Relation between hardness and distance measured from quenched-end for steel A, B and C austenitized for 30 minutes at 1000°C.

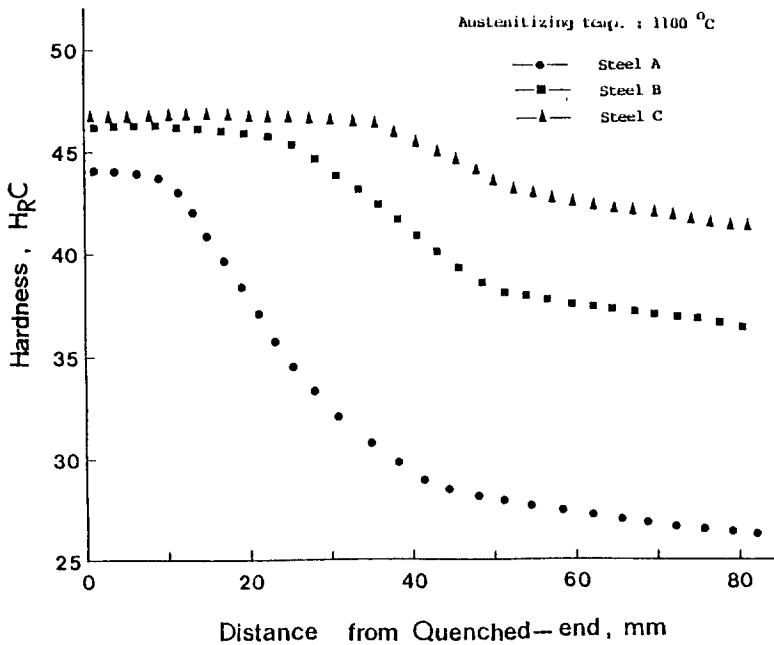


Fig.11. Relation between hardness and distance measured from quenched-end for steel A, B and C austenitized for 30 minutes at 1100°C.

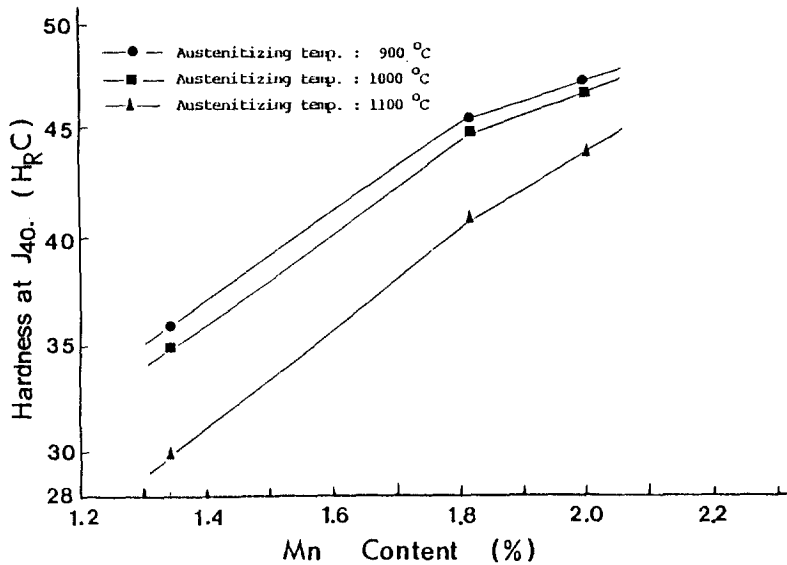


Fig.12. Relation between hardness at the point of 40 mm from quenched-end of Jominy specimen and Mn contentized for 30 minutes at 900 °C, 1000°C, and 1100°C.

화능에 미치는 영향은 대단히 큼을 알 수 있고, Mn함량이 서로 다른 Steel A, B 및 C에서 다같이 오스테나이트화 온도 900°C에서 경화능이 가장 높음을 알 수 있다.

4. 결 론

보른 첨가 Fe-C-Cr-Mo합금계에 Mn함량을 변화시켜 Mn함량이 경화능에 미치는 영향과 동일 Mn함량에서 결정입도가 경화능에 미치는 영향을 규명하기 위해 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 오스테나이트화 온도 900°C~950°C에서는 결정립 변화가 거의 없었고, 975°C~1100°C에서 급격하게 결정립이 성장하였다.
- 2) 동일 오스테나이트화 온도에서 처리시간이 길어짐에 따른 결정립 성장은 매우 점진적으로 일어났으며, 특히 900°C에서는 처리시간 증가에 따라 거의 결정립이 성장하지 않았다.
- 3) Mn함량이 증가함에 따라 경화능은 오스테나이트화 처리온도 900°C, 1000°C 및 1100°C에서 모두 현저히 개선 되었다.
- 4) Mn함량이 서로 다른 Steel A, B 및 C는 다같이

오스테나이트 결정입도가 가장 미세한 오스테나이트화 처리온도인 900°C에서 최고의 경화능을 나타낸다.

5. 후 기

본 연구비는 과학기술처 주관의 특정연구 개발의 연구비 지원에 의하여 수행된 것의 일부로서 본 지원에 깊이 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. A. Brown, J.D. Garnish and R.W.K. Honeycombe : Metal Science, 1944, vol.8, p.317
2. Ph. Maitrepierre, J. Rofes-Varnis, D. Thivellier and R. Tricot : Heat Treatment '76' The Metals Society, 1976, p.177
3. R.A. Grange, W.B. Seens, W.S. Holt and T.M. Garvey : Trans. ASM, 1950, vol.42, p.75
4. N.F. Tisdale : Proc. Open-Hearth Conf. AIME, 1943, vol.26, p.190
5. K. Yamanaka and Y. Ohmori : Trans. ISIJ,

- 1977, vol.17, p.92
6. C.J.Mcmahon : Met. Trans., 1980, vol.11 A, p.531
 7. T.G.Digges and F.M.Reinhart : J.Res. Nat. Bur. Std, 1947, vol.39 p.67
 8. V.Biss and A.P.Coldren : Trans. AIME, 1969, vol.245, p.884
 9. F.Vodepivec : ibid, 1973, vol.211, p.664
 10. B.Garbarz and F.B.Pickering : Matreials Science and Technology, 1986, vol.2, p.1106
 11. B.Garbarz and F.B.Pickering : Matreials Science and Technology, 1988, vol.4, p.117
 12. B.Garbarz and F.B.Pickering : Matreials Science and Technology, 1988, vol.4, p.967
 13. J.C.Shyne, E.R.Morgan and D.N.Frey : Trans, ASM, 1956, vol.48, p.265