

論 文

오스템퍼링 조건과 Mn의 양이 ADI의 기계적 성질에 미치는 영향

서 관 수, 예 병 준

Effect of Austempering Factors and Mn Addition on Mechanical Properties of ADI

Kwan-Soo Suh, Byung-Joon Ye

Abstract

In this study, we investigated effect of austempering factors and Mn addition on mechanical properties of ADI with ferrite-bainite matrix by pearlite-bainite transformation treatment. Ductile cast iron specimens containing various of Mn were austenitized at 875°C for 350 sec or 925°C for 160 sec and then austempered at 300°C or 400°C for the various periods(5 to 30 min). Manganese increased pearlite volume fraction in as cast ductile cast iron.

The obtained results are as follows;

- 1) In austenitizing, hardness of sepecimens austenitized at 875°C for 350 sec was higher than that of 925°C for 160 sec.
- 2) In effect of austempering temperature, tensile strength and handness of specimens austempered at 300°C was higher than that of 400°C. However, elongation had reverse tendency.
- 3) Increasing austempering time decreased hardness due to the increment of bainite and retained austenite fractions. However, toughness are increased.

1. 서 론

최근에 구상흑연주철을 강인화하는 방법으로 오스템퍼링처리가 활발하게 연구되고 있다, 오스템퍼링처리는 열처리조건뿐만 아니라 Mo, Ni, Mn등의 합금원소를 첨가함으로써 보다 기계적 성질을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다¹⁻¹⁰⁾. 이러한 오스템퍼링처리한 구상흑연주철(ADI)은 보다 강인화된 소재로서 단조강에 비해 생산비의 저렴, 중량의 감소등으로 강의 대체재료로 활용하고 있다. 오스템퍼링퍼리에 관한 연구는 오스테나이트

트화조건이 850~950°C에서 0.5~3시간 가열유지 시키는데 대해 많은 진행되었으나, 오스테나이트화 시간이 보다 짧은 경우의 오스템퍼링처리에 대한 연구는 그리 많지 않은 것이 현재의 실정이다. 이는 오스테나이트화시간이 짧을 때 오스템퍼링처리는 시편의 크기가 클 경우 균일한 열처리효과를 얻을 수 없기 때문이다. 하지만 ADI는 자동차나 공작기계의 부품소재¹¹⁻¹⁴⁾으로만이 아니라 그 활용이 점차 다양해지는 현재의 상황에 비추어 오스테나이트화 유지시간이 짧을 때의 오스템퍼링처리에 대한연구가 ADI사용범위를 보다 확대하는

경북대학교 금속공학과 (Department of Matallurgical engineering Kyungpook National University, Taegu, 702-701)

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

compo. Alloy No.	C	SI	Mn	P	Mg	Ni	Cr	Cu	S
ALLOY 1	3.68	2.75	0.25	0.051	0.050	0.015	0.032	0.014	0.013
ALLOY 2	3.55	2.67	0.48	0.044	0.039	0.017	0.033	0.014	0.010
ALLOY 3	3.34	2.55	0.65	0.043	0.035	0.016	0.032	0.014	0.010

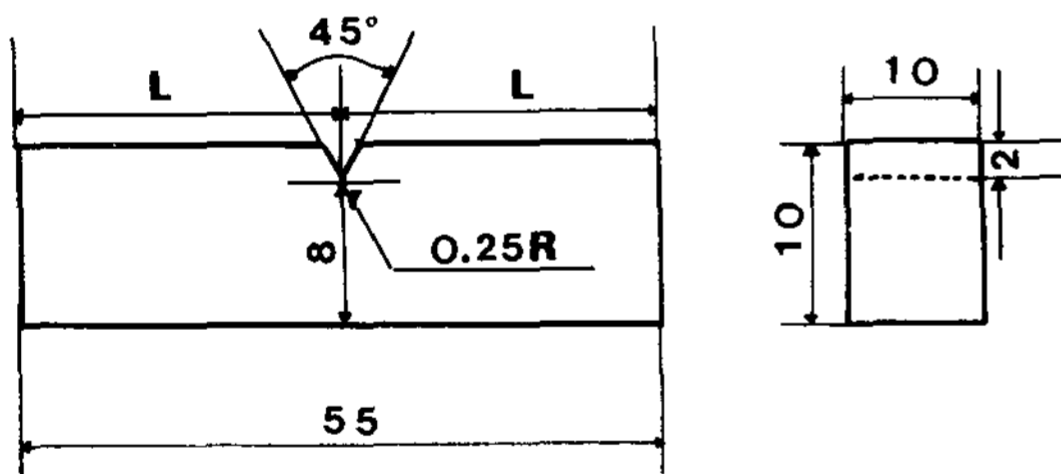
데 이용될 수 있으리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 합금첨가원소인 Mn량을 달리 첨가하여 펄라이트체적비가 다른 구상흑연 주철을 제조 짧은 유지시간의 오스테나이트화 조건인 오스템퍼링처리한 후 오스템퍼링처리조건과 Mn첨가량이 기계적 성질에 미치는 영향을 조사 검토하였다.

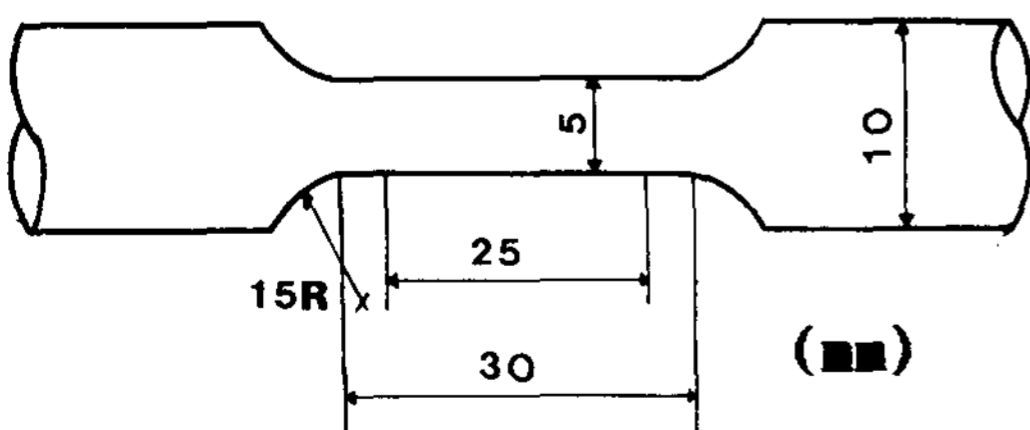
2. 실험방법

2.1 시편제작

본 실험에서 사용한 시료의 제작은 전보¹⁵⁾와



Impact specimen(mm)



Tensile Specimen

Fig. 1. Geometry of V-notch impact and tensile specimens.

동일하게 펄라이트체적비가 다른 세 종류의 합금을 Y-Block으로 제작하여 충격시편, 인장시편 및 경도시편으로 가공하였다. 각 합금의 분석은 할가사 제품인 polybaker 2982 분광분석기로 하였으며 그 분석 결과는 Table 1과 같다.

Fig. 1은 충격 및 인장시편의 규격을 나타내었으며, 충격시편은 KSB0809규격 명시된 V형 notch가 있는 4호 시편으로 제작하였다.

2.2 열처리

각 합금시편의 오스테나이트화 조건은 전보¹⁵⁾와 같이 조사하였다. 즉, 공석변태점 이상의 온도 구간에서 일정 시간동안 유지시킨 후, 얼음물에 퀘칭 하였다. 그 결과, 875℃에서 열처리할 때 230초, 925℃에서는 130초에서 펄라이트가 오스테나이트로 변태되었다. 또한 열처리시간을 보다 증가시킬때 페라이트가 오스테나이트로 변태되었는데, 875℃에서 페라이트입계에서 우선적으로 변태되고 925℃에서는 흑연립 주변, 페라이트입계 그리고 펄라이트에 인접한 페라이트에서 거의 동시에 나타났다.

이러한 결과에 따라 기계적 성질의 측정을 위해 오스테나이트화 처리는 흑연립 주변이 오스테나이트로 변태되지 않는 열처리조건인 875℃, 350초와 925℃, 160초로 Ar 분위기의 수평식 관상로에서 행하였다. 이어서 오스템퍼링처리는 상부와 하부 베이스나이트가 발생하는 300℃와 400℃로 유지된 염욕(NaNO₃:KNO₃=50:50)에서 5, 10, 20, 30 분동안 행한 후 상온에서 공냉하였다. Fig. 2는 본 실험에서 행한 열처리 싸이클이다.

2.3 기계적 성질의 측정

주조상태 및 열처리된 시편이 기계적 성질을 측정하기 위하여 충격, 인장 및 경도시험을 하였다. 충격시험은 Charpy(용량 50 Joule)를 이용하였고 인장시험은 Instron type인장시험기로 실시하

였는데, 인장조건중 cross head speed는 1.5 mm/min, chart speed는 30 mm/min 이었다. 경도측정은 Vickers 경도기를 사용하였는데, 이

때 부하하중은 30kg이었고 각 경도값은 7번을 시험하여 최대값과 최소값은 제외한 나머지 값의 산술평균치를 취하였다.

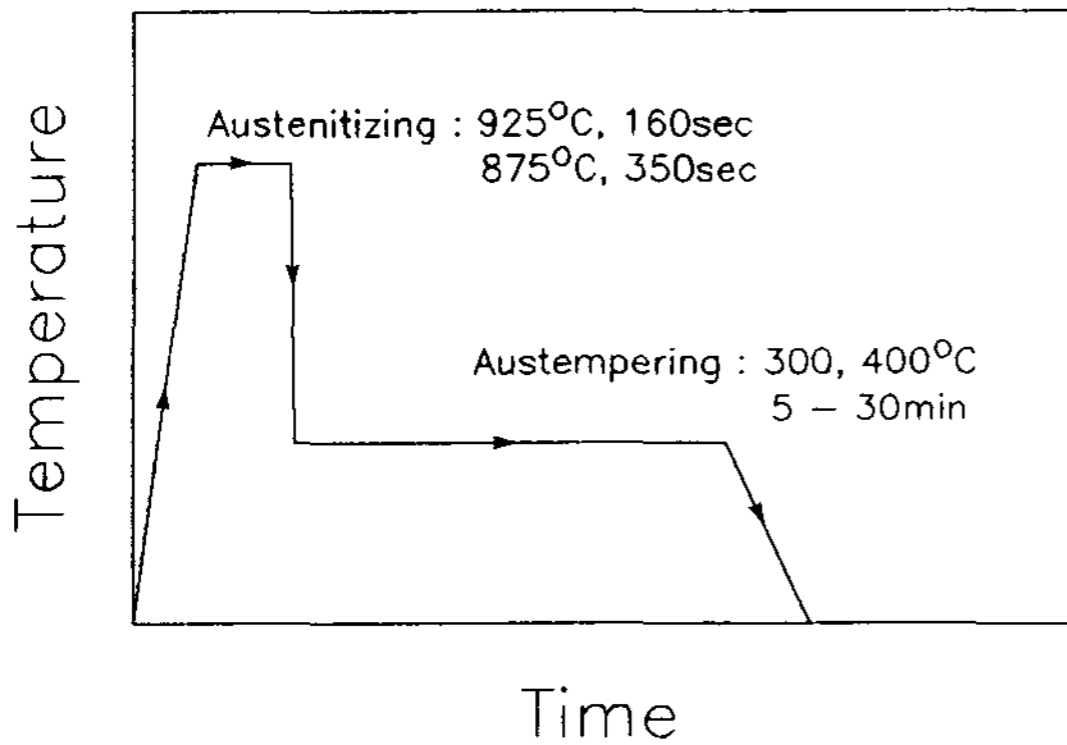


Fig. 2. Schematic diagram of heat treatment cycle.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열처리에 따른 기계적 성질의 변화

3.1.1 경도특성에 관한 영향

Fig 3은 오스템퍼링시간에 따른 Vickers 경도의 변화를 나타내고 있다. Alloy 1, Alloy 2, Alloy 3순으로 경도가 증가함을 보여주고 있으나 동일시간에는 유지시간이 길어질수록 경도는 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 오스템퍼링시간이 증가하면 오스테나이트에서 생성되는 베이나트량이 많아짐으로서 오스테나이트량이 감소하고 또한 오스테나이트의 탄소함량이 증가하여 오스테나이트화의 상온에서의 안정화도 커짐에 따라

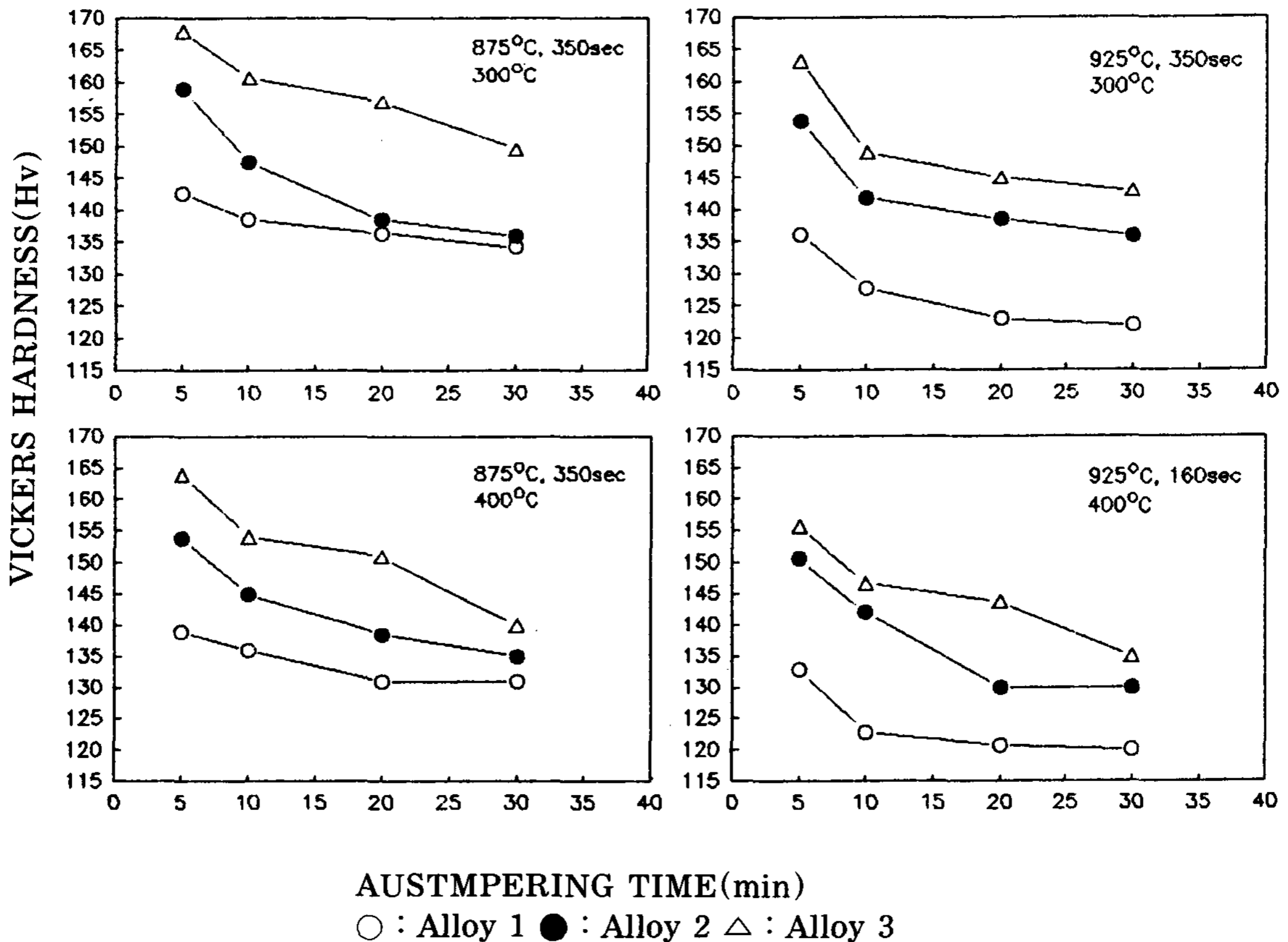


Fig. 3. Effect of austempering time on the hardness of specimens austenitized at 875°C for 350 sec and austempered at 300°C or 400°C.

경도는 점차 감소하여 30분에서 가장 경도치가 낮았다. 또한 Alloy 1, Alloy 2, Alloy 3 순으로 경도가 증가하는 것은 주조조직에서의 Mn첨가로 인한 연성인 페라이트 감소¹⁵⁾와 Mn의 베이나이

트 변태억제효과¹⁶⁾로 인한 영향으로 생각된다. 표 2는 전보¹⁵⁾에서 점산법으로 계산한 펄라이트와 페라이트의 체적비를 나타낸 것으로 주조조직에서 Mn이 증가함에 따라 페라이트가 감소하고 펄라이트는 증가하였다.

Table 2. Volume fraction and pearlite in ductile cast iron.

phase Alloy No.	FERRITE(%)	PEARLITE(%)
Alloy 1	84	16
Alloy 2	72	28
Alloy 3	53	47

일반적으로 ADI의 경도값의 범위는 Vickers는 경도로 250~500이나¹⁷⁾본 실험은 그림 3에서 나타난 바와 같이 Vickers 경도범위는 120~170으로 보다 낮았다. 이는 짧은 오스테나이트화 유지시간의 오스템퍼링처리를 함에 따라 연성인 페라이트화가 상온에서 많은 양이 잔류하기 때문이라고 생각된다.

Fig4는 오스템퍼링온도에 따른 Vickers경도를 나타내고 있다. 300℃에서 오스템퍼링 할 때의 경

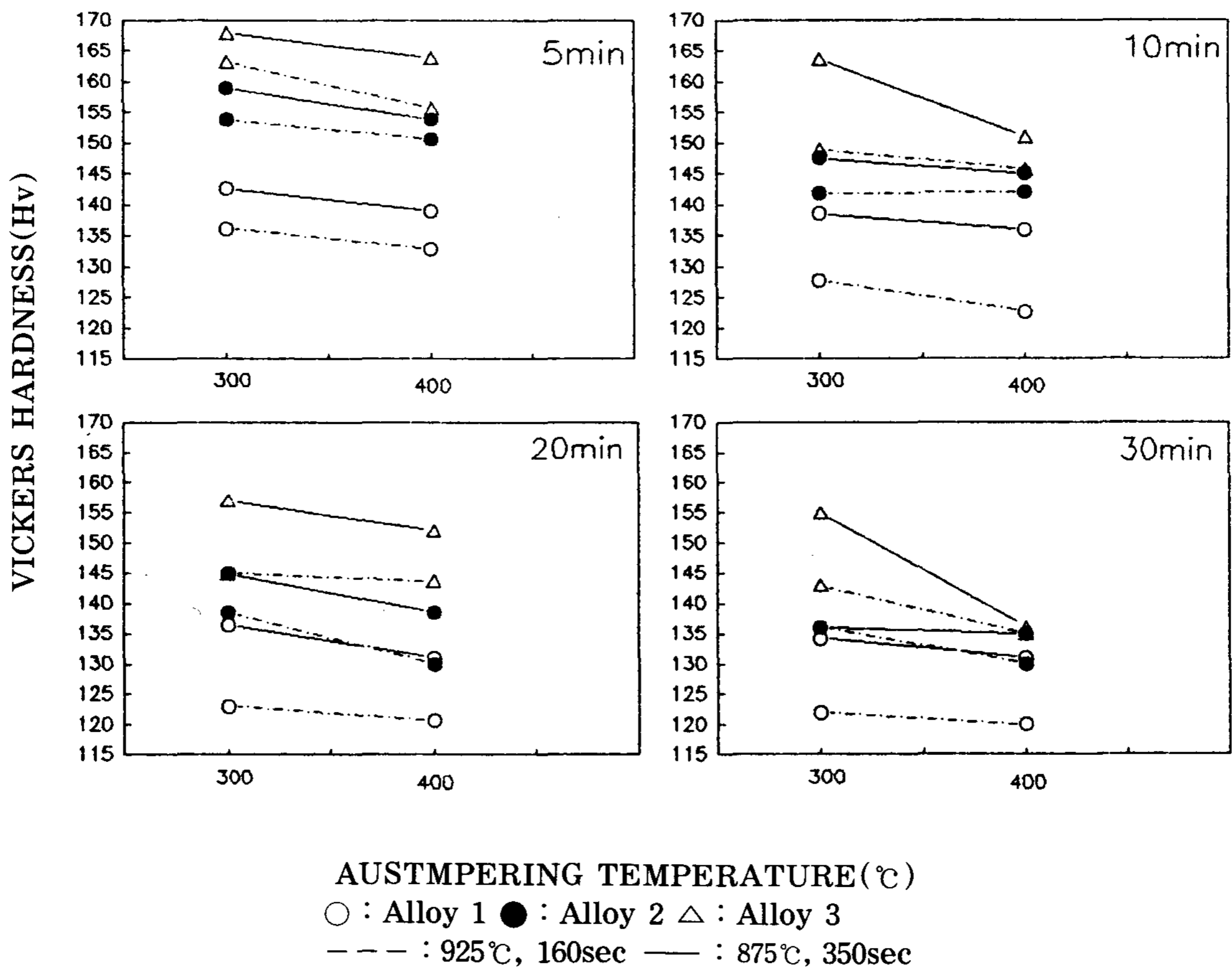


Fig. 4. Effect of austempering temperature on the hardness of specimens austempered for various periods.

도는 400°C에서의 오스템퍼링 할 때보다 높게 타났으며 875°C에서 350초동안 오스테나이트화 처리시의 경도치가 925°C에서 160초동안의 경우보다 높았다. 이는 300°C에서 오스템퍼링할 때 하부 베이나이트가 일어나는데, 베이나이트 페라이트입내에 미세한 iron carbide가 석출되어 내부응력이 증가된 베이나이트가 생성되고, 또한 베이나이트가 미세하고 치밀하게 많이 나타나기 때문에 베이나이트plate주위에 나타나는 연성인 안정화된 잔류 오스테나이트는 상부베이나이트가 발생하는 400°C의 경우보다 더 적게 나타났다. 따라서 경도는 오스템퍼링온도가 낮은 경우에 더 높게 나타났다고 생각한다. 또한 875°C에서 350초동안 오스테나이트화 열처리시의 경도가 925°C에서 160초동안의 경우보다 높은 것은 875°C에서 350초동안 오스테나이트화 처리시 925°C, 160초보다 탄소의 확산이 충분히 일어났으며, 또한 페라이트입계에서의 베이나이트 생성¹⁵⁾됨에 따라 나타난다고 생각된다.

확산식 $D = D_0 \exp(-Q/RT)$ 식에 의해 ferrite (bcc)에서의 탄소확산을 계산하였을 때 925°C에서이 확산계수(D_{1198})는 $0.43 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ 이며, 875°C에서는 D_{1148} 는 $0.3 \times 10^{-3} \text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ 이므로, $r = 2.4(DT)^2$ 에 의해 확산거리를 계산할 때 925°C에서 160초동안 오스테나이트화 열처리시의 탄소확산거리(1198)는 0.63mm이고, 875°C에서 350초동안 오스테나이트화 열처리시의 탄소확산거리는 0.78mm이다. 이러한 계산결과로 볼 때 875°C,

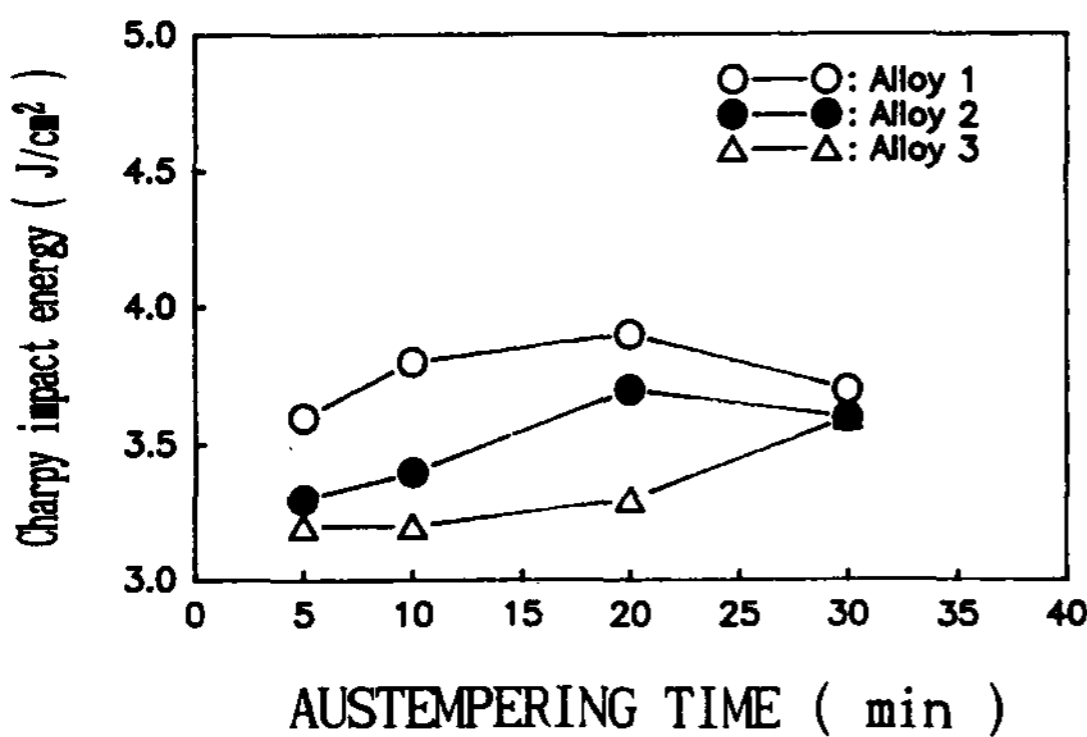


Fig. 5. Effect of austempering time on the impact value of specimens austenitizing at 875°C for 350 sec and austempered at 300°C.

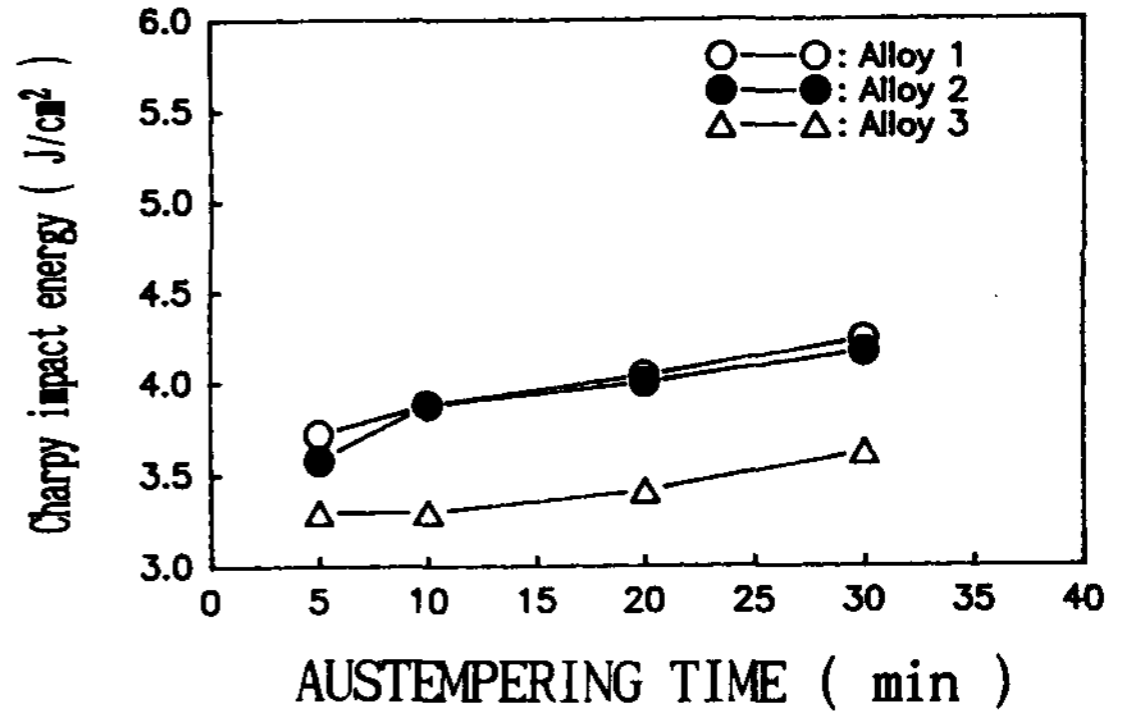


Fig. 6. Effect of austempering time on the impact value of specimens austenitizing at 875°C for 350 sec and austempered at 400°C.

350초동안 탄소확산이 925°C, 160초보다 충분히 일어났음을 알 수 있다.

3.1.2 충격특성의 변화

Fig 5, 6은 오스템퍼링 시간에 따른 충격특성을 나타내었다. 유지시간이 길어질수록 충격치는 증가하였고 동일시간에서는 Alloy 1, Alloy 2, Alloy 3순으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 열처리시간이 증가함에 따라 연성인 베이나이트가 증가하고 마르텐사이트는 감소함으로 충격치는 증가되었으며, 또한 Alloy 1, Alloy 2, Alloy 3순으로 갈수록 감소하는 것은 Mn이 증가함에 따른 주조조직에서의 페라이트감소와 오스템퍼링시에 페라이트 입계에서의 베이나이트의 생성¹⁵⁾로 인한 영향으로 생각된다. 또한 Fig 5의 합금 1과 2가 오스템퍼링시간이 30분일때 감소하는 것은 하부 베이나이트변태의 빠른 진행으로 변태 제 2단계가 일어나지만 합금 3은 주조조직의 펄라이트체적비가 크에 따른 영향으로 오스테나이트량이 보다 커져서 제 2단계까지 이르지 못한 것으로 생각된다.

3.1.3 연신율의 변화

Fig 7,8은 오스템퍼링온도에 따른 인장특성을 나타내었다. 오스템퍼링처리한 경우를 주조조직(as cast : AC)와 비교해 볼때 인장강도는 300°C가 400°C보다 큰 증가를 보여주고 있고, 연신율은 그 반대의 경향을 보여주고 있다. 300°C에서의 오스템퍼링처리는 하부 베이나이트변태처리로서 베

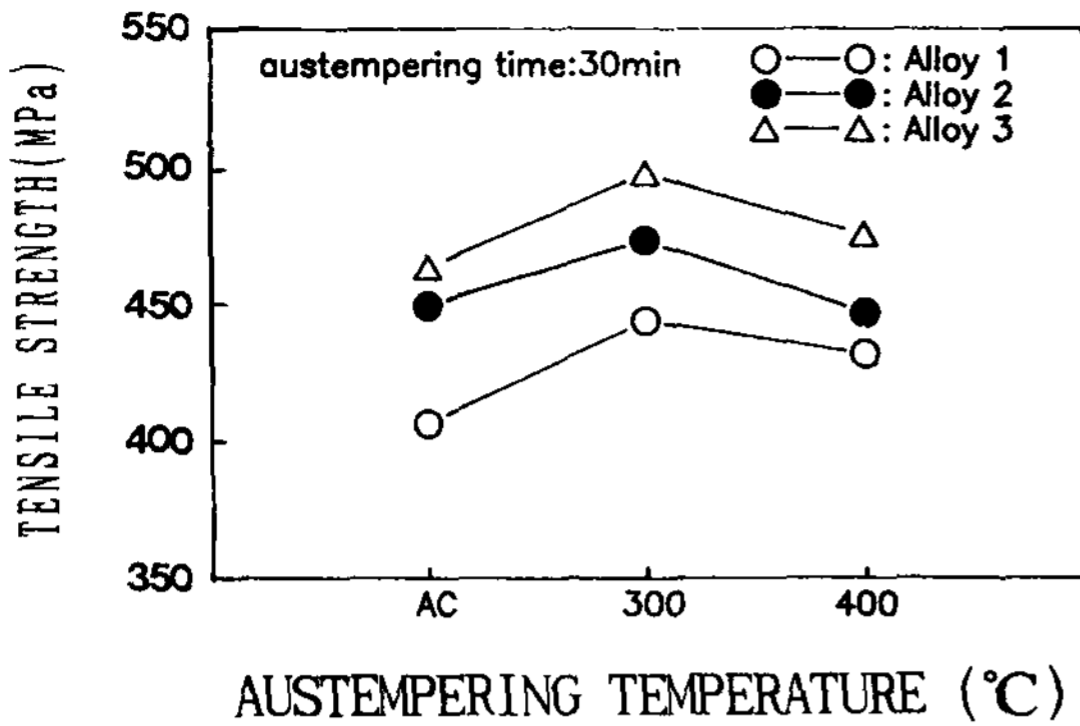


Fig. 7. Effect of austempering temperature on the tensile strength of specimens austempered for 30 min.

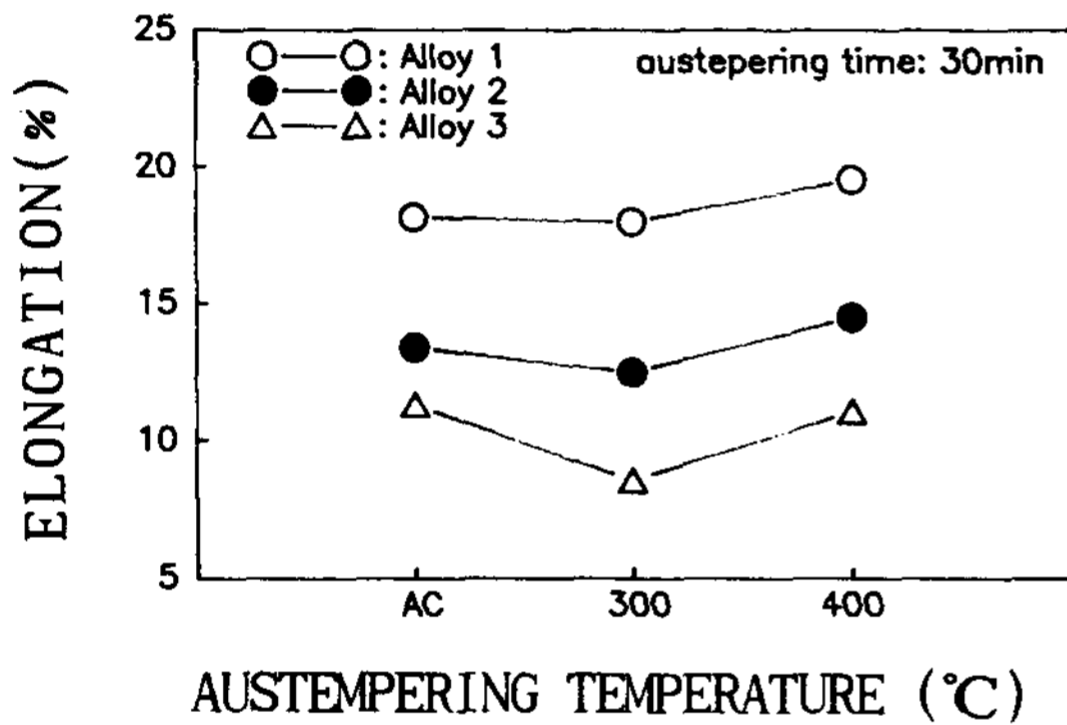


Fig. 8. Effect of austempering temperature on the elongation of specimens austempered for 30 min.

이니틱 페라이트 plate내에 carbide석출로 인해 경한 베이나이트가 석출되고 오스테나이트의 탄소량이 낮음으로서 잔류 오스테나이트의 양이 적고, 400°C는 상부 베이나이트변태로서 탄소 확산에 의해 연한 베이나이트가 석출되며 오스테나이트의 탄소량 증가로 연성인 잔류 오스테나이트의 양이 300°C보다 많다. 따라서 300°C의 경우가 400°C보다 인장강도는 크고 연신율이 반대 경향을 나타낸다고 생각된다. 또한 합금첨가원소인 Mn이 증가함에 따라 인장강도는 증가하고 연신율은 감소하였다. 이는 Mn의 증가로 인한 페라이트의 감소효과로 열처리시의 페라이트입계에서의 베이나이트의 생성의 증가로¹⁵⁾ 인장강도는 증가되고 연신율은 감소하였다고 생각된다.

일반적인 오스템퍼링처리에 비해 본 실험에서의 연신율은 상당히 높은 수준을 보여주고 있는데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 상온에서 잔류하는 페라이트의 영향과 오스템퍼링처리에 의한 안정화된 잔류 오스테나이트에 의한 영향으로 나타났다고 생각한다.

4. 결 론

합금원소인 Mn량이 다른 구상흑연주철을 875°C, 925°C에서 유지시간을 변화시켜 펄라이트만을 오스테나이트로 변태시킨 후 300°C, 400°C에서 유지시간을 변화시켜서 오스템퍼링처리를 하였다. 그 결과, 이들 열처리 과정과 Mn이 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 875°C에서 350초동안 오스테나이트화 처리된 정도는 925°C, 160초에서의 정도보다 높았다. 또한 일반적인 오스템퍼링의 경우보다는 페라이트를 많이 잔류시켜 줌에 따라 경도가 무척 낮은 범위를 갖는다.
- 2) 오스템퍼링 온도의 경우, 300°C에서 400°C보다 정도와 인장강도는 크고 연신율은 작았다.
- 3) 오스템퍼링시간이 증가할수록 연신율, 충격치는 증가하는 경향을 보였으며 정도는 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만 300°C의 경우, 합금 1과 2가 30분에 도달하면 오히려 낮아지는 경향을 나타내었다.
- 4) Mn이 증가할수록 인장강도는 증가하고 연신율은 감소하며, 또한 충격치는 감소하고 정도는 증가하였는데, 이는 Mn이 증가함에 따른 주조 조직중의 펄라이트의 증가와 페라이트 입계의 베이나이트 석출의 증가에 의한 효과라고 생각된다.

참 고 문 헌

1. J.F.Janowak and R.B.Gundlach : AFS Trans., 88(1983) 705-718.
2. D.J.Moor and T.N.Rundman : AFS Trans., 93(1985) 705-718.
3. H.L.Morgan : The British Foundryman,

- Fed. /March 1987, 98-108.
4. T.N.Rouns, D.J.Moore and K.B.Rundman., 92(1984)815-840.
 5. R.C.Voigt and C.R.Loper, Jr : J. Heat Treating, 3(1984) 26-30.
 6. K.H.Miska : Modern Casting, June 1986, 35-39.
 7. F.S.Rossi and B.K.Gupta : Metal Progress, 5(1981) 25-31.
 8. 申 坪 雨 : 高麗大學校 博士學位論文(1986).
 9. 金燦鳳, 尹義傳 : 大韓金屬學會誌, 21(1983) 23-30.
 10. J.F.Rehder : AFS Trans., 27(1949) 549.
 11. R.A.Harding : Material & Design, 27 (1985) 177-184.
 12. B.V.Kovacs, sr : J.Heat Treating, 5 (1987) 55-60.
 13. J.Dodd, R.B.Gundlach and J.A.Licln : CASTING ENGINEERING & FOUNDRY WORLD (1984) 15-22.
 14. 佐野 實, 岡田文宏 : 自動車技術, 8(1986) 1010-1016.
 15. 徐實洙, 芮秉浚 : 大韓鑄造工學誌. 12(1992)
 16. P.A.Blackmore and R.A.Harding : J.Heating Treting, 3 (1984) 310-325
 17. B.V.Kovacs,Sr : Modern Casting, March, 1990, 38-41..