



3相 混合組織 球狀黑鉛鑄鐵의 強靱化에 미치는 特殊熱處理의 影響에 關한 研究

崔 賢 洙, 金 錫 元

Effect of Special the Heat Treatment on the Strength and Toughness in a Multi-phase(Ferrite-Bainite-Martensite) Ductile Cast Iron

Hyun-Soo Choi, Sug-Won Kim

Abstract

This study is aimed to investigate the effect of cyclic heat treatment which is special heat treatment on the strength and toughness in Multi-phase(Ferrite-Bainite-Martensite) Ductile cast irons.

Spceimens were austenitized at eutectoid transformation temperature range($\alpha + \gamma$) for 30min and austempered at 300°C and 400°C for different holding times, and then quenched in ice water to obtain the multi-phase(Ferrite-Bainite-Martensite) structure from various prior structures, which was obtained by various cyclic heat treatments.

As the number of cycle in cyclic heat treatment increased, volume fraction of pearlite increased and the its morphology was refined.

As the number of cycle in cyclic heat treatment increased, the multi-phase(Ferrite-Bainite-Martensite) was dispersed in whole matrix as refined island phase.

Particularly, martensite among the multi-phase gradually became a spherical shape.

Good combination in impact energy and tensile strength was detained in 840°C-300°C-15min condition after 10 cycles in cyclic heat treatment, and its multi-phase volume fraction is Ferrite(50%)-Martensite(13%)-Bainite(37%).

1. 서 론

현재까지 구상흑연주철을 강인화시키는 방법으로는

- 1) 합금원소의 첨가^{1~7)}
- 2) 열처리 방법등^{8~16)}이 사용되어지고 있다.

구상흑연주철에서 파괴 발생장소는 흑연과 기지간의 계면뿐만 아니라, 공정계면이 파괴의 기점으로 작용하므로¹⁶⁾ 구상흑연주철의 강인화방법으로 이들 계면부위를 강인화하는 것으로, 예를 들면 페라이트기지 구상흑연주위에 강한 마르텐사이트 또는 베이나이트 조직을 갖는 이른바 "Hard eye"조

직과 마르텐사이트 또는 베이나이트 기지 구상흑연주위에 페라이트가 존재하는 "Soft eye"조직의 구상흑연주철의 연구가 많이 진행되고 있다.^{6,14)}

근년에는 강인화 방법으로 구상흑연주철의 오스테미어링 처리가 특히 주목받고 있다. 또한 구상흑연주철의 강인화를 위해서는 합금원소 첨가 및 열처리에 의해서 상(phase)변태와 석출을 억제하는 특수열처리를 실시하여 강도와 인성을 함께 향상시키는 방법이 가능하다고 생각되어 그 한가지 방법으로 열처리에 의한 구상흑연주철의 페라이트기지에 베이나이트 또는 마르텐사이트를 분산시켜 강인화하는 방법을 고려할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 결정립 미세화 방법중 주기열처리에 의

하여 결정립이 미세화된 전조직을 얻은 후 이를 3상(페라이트+베이나이트+마르텐사이트) 혼합 구상흑연주철로 만들기 위해($\alpha+r$) 구역에서 가열 유지하여 페라이트+오스테나이트화 시킨 후, 서로 다른 베이나이트 변태온도에서 오스테나이트를 불완전 변태시킨 후 얼음물에 급냉하였다. 이렇게 하여 얻은 3상 혼합구상흑연주철의 강인화에 특수 열처리인 주기열처리가 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 연구검토하였다.

2. 실험방법

2-1. 시험편제작 및 열처리

본 실험에 사용한 구상흑연주철의 시료의 용해는 고주파유도로(1000Hz)를 이용하였고, 용탕은 1520°C까지 승온시켜 탈황처리 한 후, 레들에서 샌드윗치법으로 구상화처리하여 CO₂ 주형으로 만든 200×150×60mm Y-block에 1420°C에서 주입하여 시료를 제작하였다.

Table 1은 본 실험에 사용된 시료의 화학성분이다. 본 실험에 사용한 충격시편은 50×10×7이고 인장시편의 크기는 평행부의 길이 30mm, 지름은 5mm로 제작하였다.

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

Element	C	Si	Mn	P	S	Mg
%	3.9	2.7	0.2	0.06	0.012	0.0417

열처리는 먼저 흑연화처리를 위하여 시료를 950°C에서 25시간 유지한 후 노냉하였다. 그 후 가공된 인장시편 및 충격시편을 아르곤분위기의 관상로에서 Fig. 1과 같이 처리하여 균일한 페라이트 조직으로 만들었으며, 이 때 얻어진 시편을 각 840°C와 860°C로 유지된 연속속에 급가열시켜 60초 경과후에 공냉하는 주기열처리를 각 0회, 5회 및 10회 실시하였다.

Fig. 2의 (A), (B), (C)는 미세화 전조직을 얻기 위한 주기열처리후 3상 혼합조직을 얻기 위하여 서로 조건이 다른 오스템퍼링 열처리곡선이다.

주기열처리 및 오스테나이트화 열처리에 사용한 고온욕은 Pb를 사용하였고, 이때 Pb의 산화와 증발을 방지하기 위해서 NaCl : Na₂CO₃ : K₂CO₃ = 1 : 1 : 1로 혼합하여 피복제로 사용하였다.¹⁸⁾ 그리고

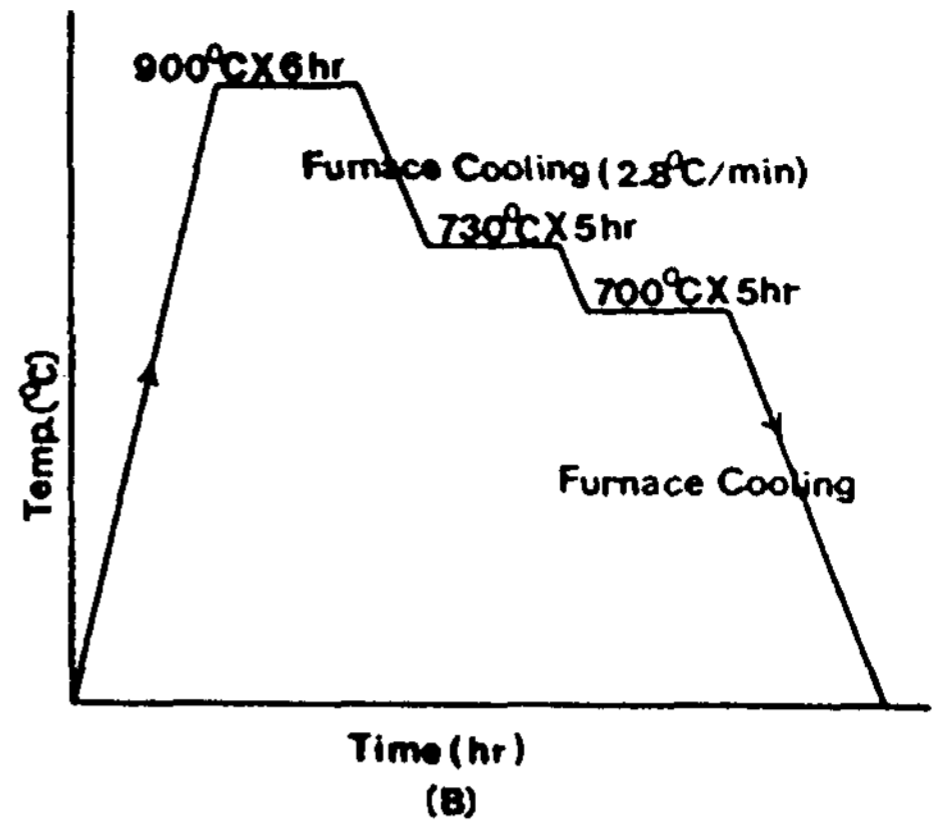


Fig. 1 Heat treatment for ferritizing.

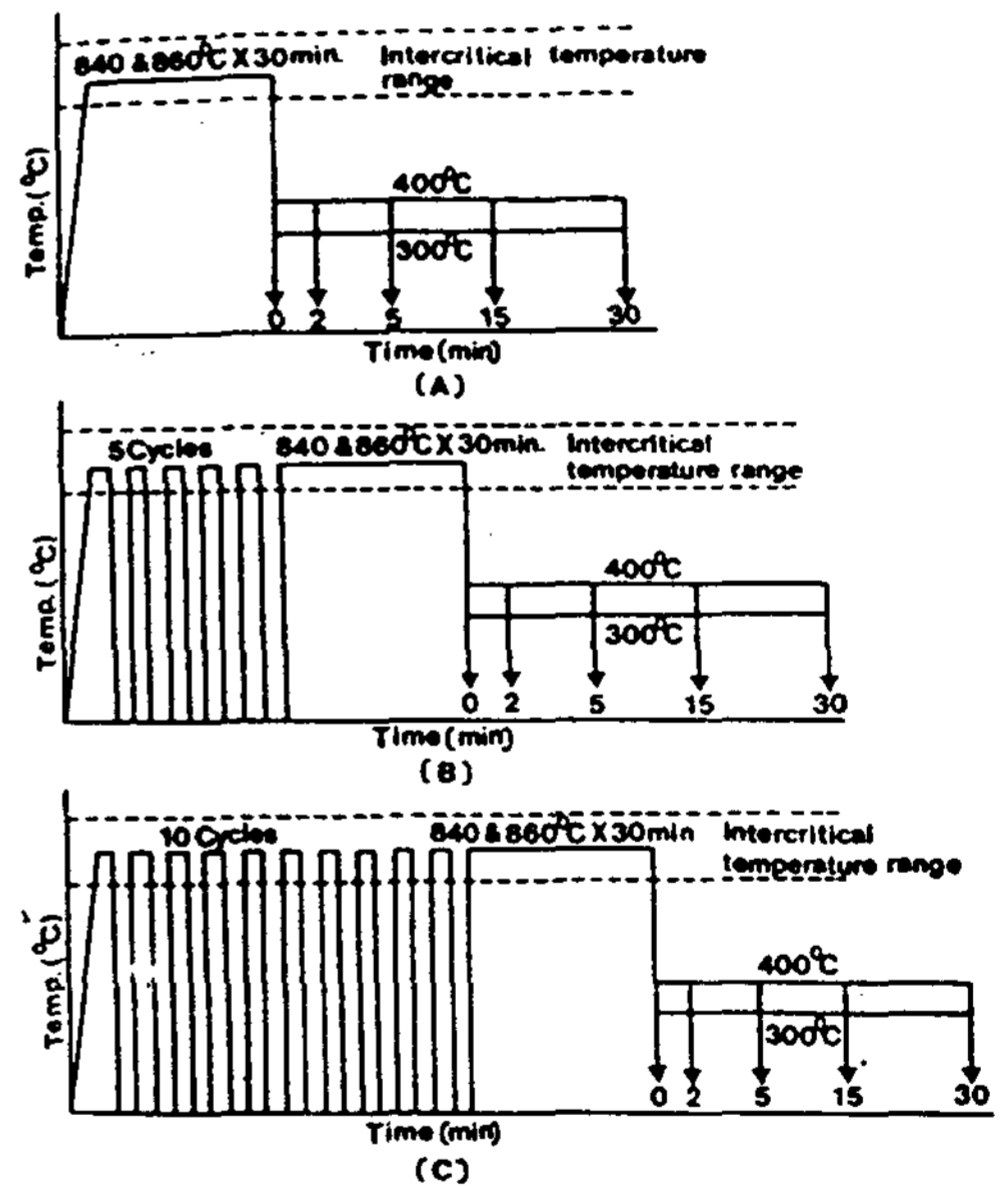


Fig. 2 Schematic diagrams of cyclic heat treatment and austempering treatment for multi-phase (ferrite-bainite-martensite) structure.

(A) 0 cycle (B) 5 cycles (C) 10 cycles

저온욕은 KNO₃ : KaNO₃ = 1 : 1로 혼합하여 사용하였다.¹⁹⁾

2-2. 기계적 성질, 상분율 측정 및 조직관찰

충격시험은 계장화된 샤르피 충격시험기(Instru-

mented Charpy Impact Tester)를 이용하였고, 인장시험은 Instron 1125의 인장시험기(fule scale 5ton, cross head speed 1mm/mm, chart speed 5cm/mm)로 하여 실시하였다.

시편의 조직은 저배율은 광학현미경으로, 고배율은 주사전자현미경으로 관찰하였고 이 때 3상조직을 관찰하기 위해서는 Lepera시약²⁰⁾을 이용하였다. 그 결과 광학현미경관찰에서 페라이트는 흰색, 마르텐사이트는 회색, 베이나이트는 검은색으로 관찰되었다.

베이나이트 형태는 JEM-35Type의 주사전자현미경을 이용하였다.

페라이트, 마르텐사이트, 베이나이트 상분율은 시편의 현미경 조직사진을 이용하여 2500점을 기준으로 한 점집계방법^{21,22)}으로 5회 반복한 다음 그 평균값을 취하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 전조직에 미치는 주기열처리의 영향

Photo 1(A)는 열처리를 실시하기전 주방상태의 조직사진이며, (B)는 (A)의 조직을 페라이트화 열처리를 실시한 후의 조직사진으로서 비교적 열적으로 불안정한 Fe₃C가 쉽게 분해되어 기지가 페라이트화 되었으며, 기지조직에 미소하게 남은 흑연입자들은 Fe₃C의 분해로 생긴 탄소가 구상흑연을 향하여 충분히 확산되어 응집되지 못하고 확산거리가 크므로 기지조직내에 잔류하는 2차 흑연입자들이다.

Photo 2는 Photo 1의 페라이트조직으로부터 미세화된 전조직을 얻기위하여 주기열처리를 실시하여 얻은 전조직을 나타내었다. 즉 (B)는 (A)보다 미세화 현상과 퍼얼라이트량이 증가되었음을 알 수 있다. (C)와 (D)는 (A)와 (B)의 비교때와 마찬가지로 미세화 현상과 퍼얼라이트량이 많이 존재하였다.

주기횟수가 증가함에 따라서 퍼얼라이트량이 증가되는 원인은($\alpha+r$) 구역으로 급가열시에 생긴 오스테나이트를 공냉하므로써 퍼얼라이트로 변태되고 다시 이것을 반복 주기열처리함으로써 퍼얼라이트내 Fe₃C의 열적 불안정성 때문에 퍼얼라이트중의 Fe₃C가 쉽게 분해되므로 오스테나이트화속도가 빨라지고, 그 결과 오스테나이트양이 증가하고 결국 냉각시 퍼얼라이트량이 증가하게 되어

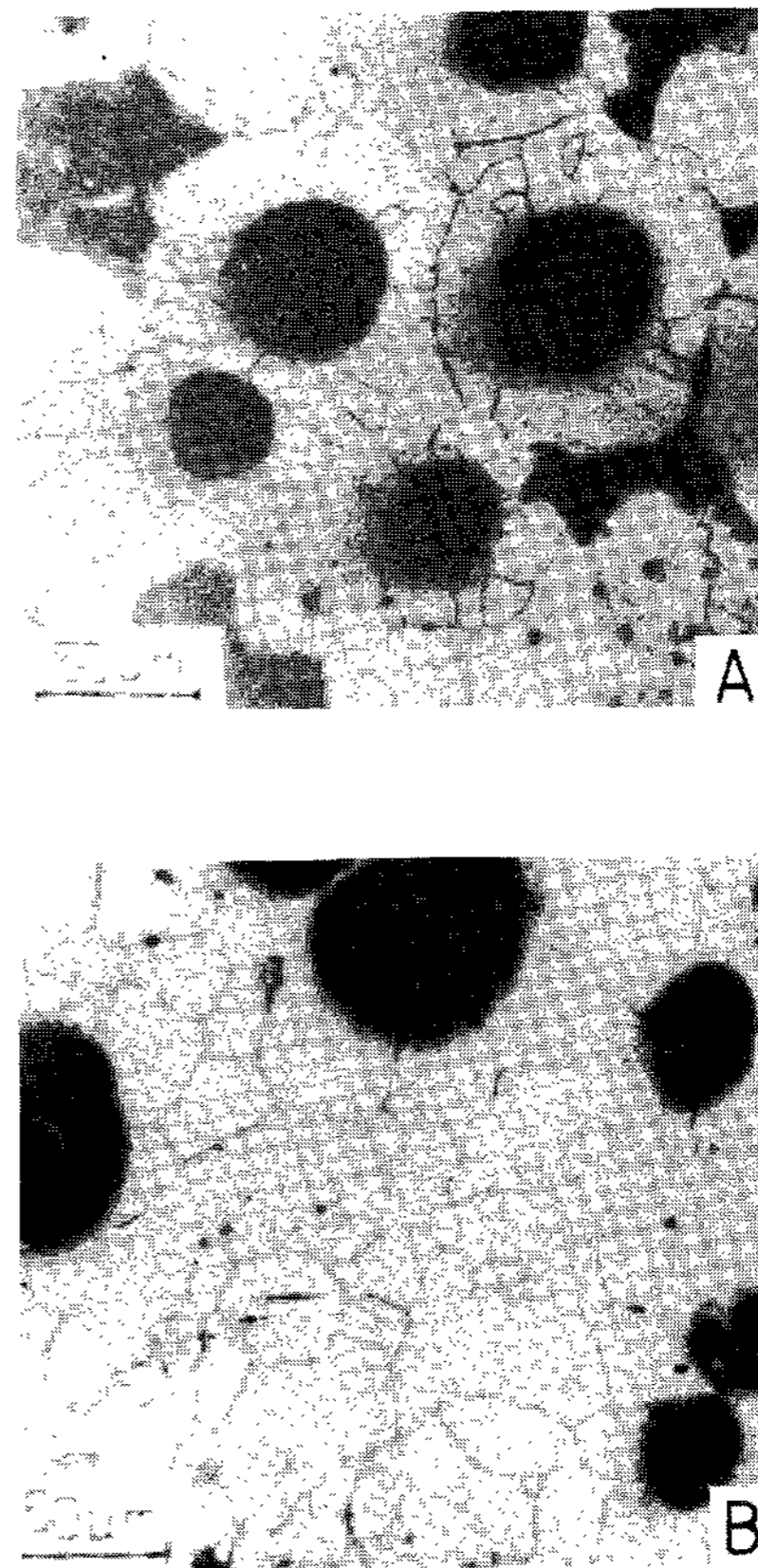


Photo 1. Microstructures of specimens (A) as-cast structure, (B) full annealed ferritic ductile cast iron.

진다. 또한 퍼얼라이트의 미세화의 결과는 어느 경우에서든지 구상의 퍼얼라이트가 미세하게 존재하였다.

주기열처리에 의한 퍼얼라이트의 미세화현상은 열처리중의 반복되는 가열냉각을 통해서 퍼얼라이트내의 Fe₃C가 분해시 기지내의 탄소확산을 저지시켜, 탄소의 확산을속해 지배되는 오스테나이트의 성장을 억제시킴으로써 미세화되어진다고 생각되어진다.²³⁾

그러므로 본 실험에서 실시한 주기열처리는 A₁ 변태점 이상의 온도로 급속가열한 다음, 짧은 시간 동안 유지시킴으로써 Fe₃C로부터 분해되어 생긴 탄소의 확산을 억제시켜 오스테나이트가 미세화되고 그로부터 변태된 퍼얼라이트가 미세화 되었다.

주기열처리를 실시한 전조직의 퍼얼라이트 부피분율과 기계적성질에 미치는 주기열처리의 영향에 대하여 Fig. 3에 나타내었다.

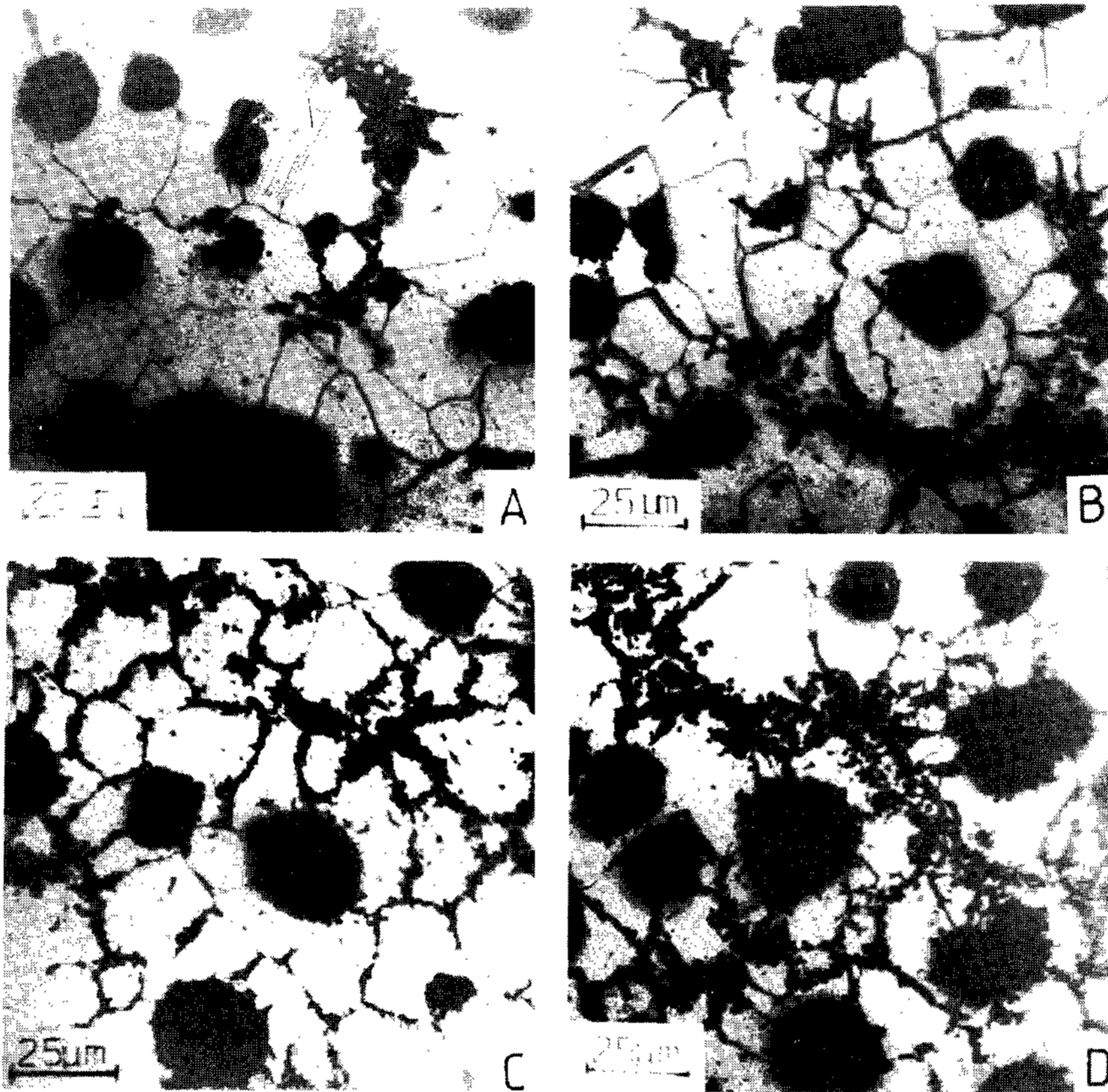


Photo 2. Microstructures of specimens due to various cyclic number.
 (A) 840°C-5cycles (B) 840°C-10cycles
 (C) 860°C-5cycles (D) 860°C-10cycles

그림에서 알 수 있는 바와 같이($\alpha+r$) 온도영역에서도 860°C가 840°C보다 오스테나이트화율이 높기 때문에 퍼얼라이트량도 많이 생성되었으며, 그 결과 840°C 보다 860°C에서 인장강도는 증가되고 연신율은 감소되었다. 또한 주기횟수가 증가함에 따라 퍼얼라이트양과 인장강도는 증가하고 연신율은 감소하고 있다.

3-2. 강인화에 미치는 주기열처리의 영향

3-2-1. 3상(Bainite-Ferrite-Martensite)의 거동에 미치는 주기열처리의 영향

Photo 3은 860°C에서 5회 주기열처리 다음 다시 860°C에서 30분 동안 오스테나이트화시킨 후 300°C에서 2분 유지하고 얼음물에 급냉시 나타난 3상(Bainite-Ferrite-Martensite)의 조직사진이다.

각 상을 Lepera부식액을 사용하여 부식시켜 광학현미경으로 관찰하였으며, 이 때 마르텐사이트

는 회색, 페라이트는 흰색, 베이나이트는 검은색으로 관찰되었다.

사진에서 알 수 있는 바와 같이 베이나이트변태는 고탄소 부분인 흑연주위보다는 저탄소 부분인 페라이트와 오스테나이트의 계면에서 핵생성이 시작되므로 페라이트와 오스테나이트 계면에서 주로 관찰되었고 또한 베이나이트변태는 확산변태이므로 항온유지도가 300°C일 경우는 상대적으로 낮은 온도이기때문에 베이나이트핵생성 잠복기가 길어 핵생성이 늦게 일어나게 되고, 이 때 변태된 베이나이트의 형상은 일부가 침상으로 관찰되었다.

또한 5회 주기열처리로서 얻은 전조직에서는 미세한 퍼얼라이트의 형상이 도상(島狀)을 이루고 있었으므로 그로 인하여 마르텐사이트의 형상이 비교적 구상의 형태를 이루고 있었다.

Photo 4의 840°C의 오스테나이트화 온도에서 오스템퍼링조건이 같을 경우에 전체 기지조직에 미

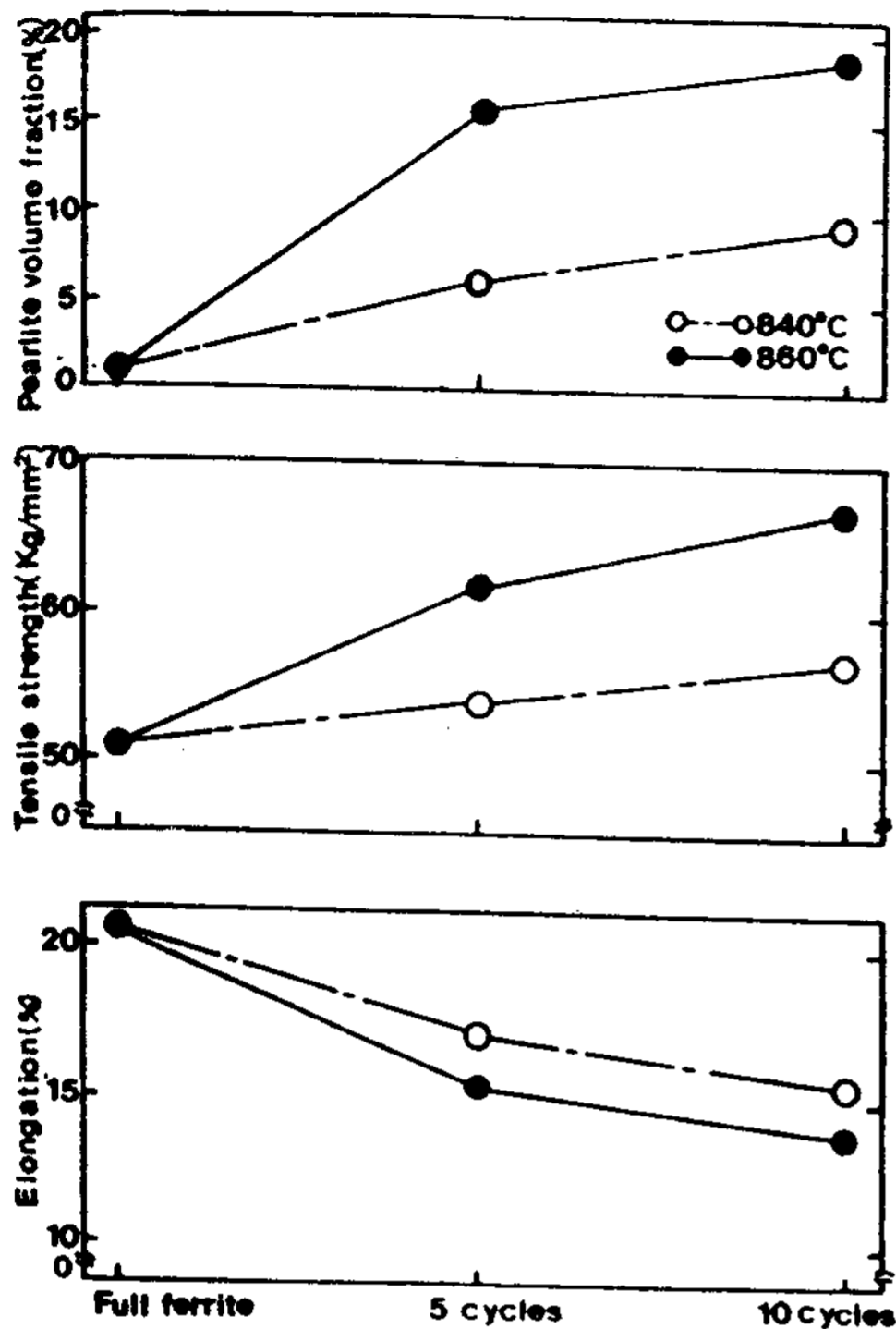


Fig. 3 Effect of the number of cyclic heat treatment on prior structures and mechanical properties.

치는 주기열처리의 영향을 나타낸 조직사진이다.

먼저 Photo 4(A)는 주기열처리를 하지 않아 전조직을 부여하지 않은 페라이트 기지조직에서 오스템퍼링 한 것으로 기지조직과 공정 셀 중에 Mn 이나 C가 편석되어 이러한 합금원소의 영향으로 A₁변태점을 내려주므로 주로 오스테나이트화가 공정 셀부근에서 일어나고²⁴⁾ 변태된 오스테나이트가 400°C에서 5분동안 불완전 항온변태된 3상의 조직이다.

(B)는 전조직을 부여하기 위해 5회 주기열처리를 실시한 후 오스템퍼링한 시편의 조직사진으로 주기열처리시에 생성된 퍼얼라이트가 열적 불안정 때문에 페라이트보다 오스테나이트화 속도가 빠르고 조직사진(A)보다는 기지전체에 더욱 많은 3상이 고르게 분포되어있다.

(C)는 10회의 주기열처리 이력을 받은 전조직을 오스템퍼링한 조직사진으로써 (B)보다 더욱 미세한 3상의 혼합조직이 나타나고 있다.

여기서도 전체적으로 볼 때 (A)보다는 (B), (B)



Photo 3. Microstructure showing multi-phases (ferrite-bainite-martensite) in specimen isothermally treated at 300°C for 2min after austenitizing at 860°C for 30min (5 cycles).
 (A) ferrite(white)
 (B) martensite(grey)
 (C) bainite(black)

보다는 (C)가 제 2 상, 제 3 상의 분율이 증가되고 있는데 이는 전조직에서 생성된 퍼얼라이트는 열적불안정으로 인해 일정한 오스테나이트화 온도에서 페라이트 보다 더욱 빨리 오스테나이트로 변태되므로 오스테나이트화 온도가 같고 유지시간이 같을 경우에도 열이력을 많이 받은 전조직일수록 오스테나이트화가 더욱 빨리 일어나 전체적으로 오스테나이트 분율이 높고 그 반면 페라이트량은 줄어들게 된다.

또한 주기열처리 횟수가 증가함에 따라 상이 점차 도상으로 되어 가며 특히 마르텐사이트는 구상으로 되어지는 경향을 나타내고 있다.

이는 주기열처리 횟수가 증가함에 따라 베이나이트 변태량이 증가되고 따라서 변태전의 오스테나이트 결정립이 구상으로 미세화 되어지기 때문으로 생각된다.

Photo 5은 같은 템퍼링 조건에서라도 주기열처리의 영향에 따라서 3상의 전체적인 형상이 변화하고 있음을 주사전자현미경 사진으로 나타내고 있다.

사진에서 평평하고 양각으로 나타나 있는 것은

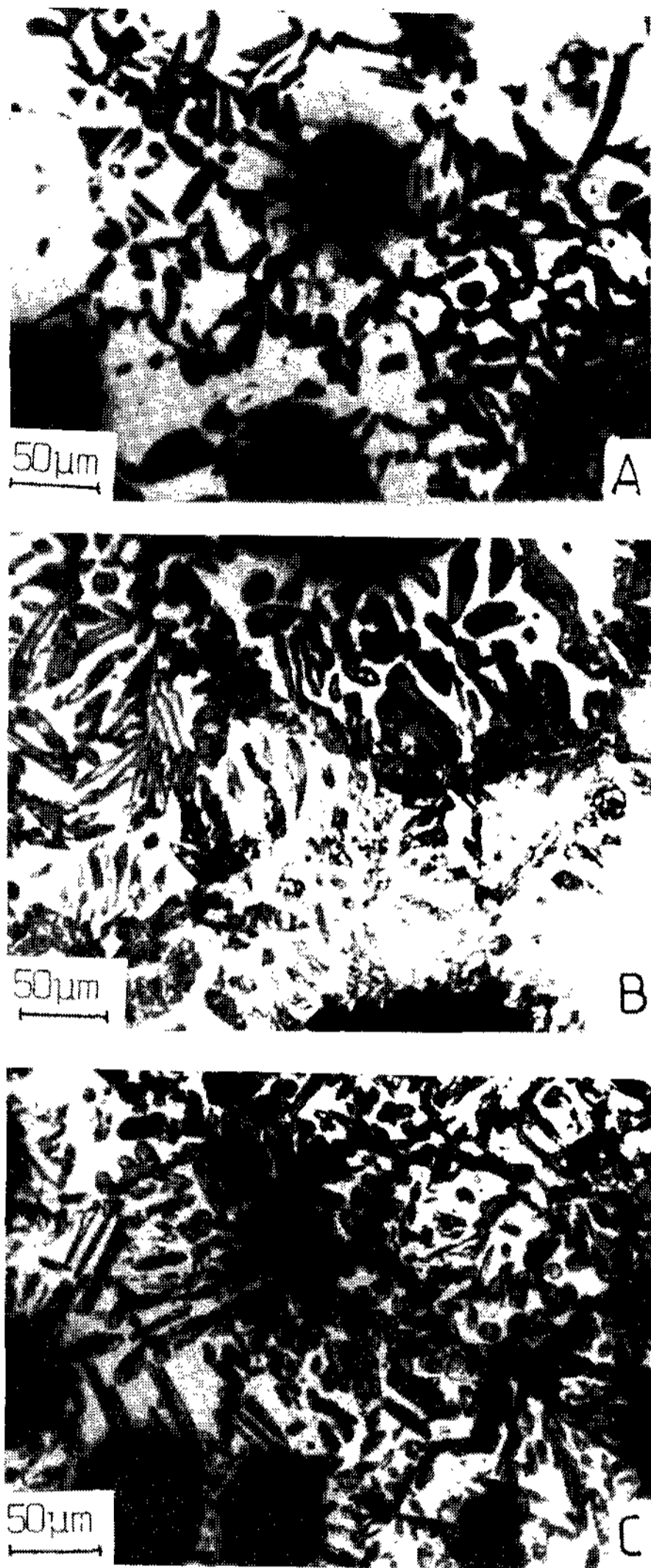


Photo 4. Effect of various cyclic heat treatment on microstructures of specimens austempered at 400°C for 5min after austenitizing at 840°C for 30min.
(A) 0cycle (B) 5cycles (c) 10cycles

마르텐사이트라고 바탕의 회색은 페라이트이며 입상의 형태는 베이나이트이다.

사진에서 주기열처리 횟수가 증가하므로써 마르텐사이트와 베이나이트 양이 증가하였음을 알 수 있는데, 이는 전조적에서 생성된 퍼얼라이트가 주기열처리 횟수 증가에 따라 증가되었고 이것이 오스테나이트화 되므로 오스테나이트변태량이 증가되어 이로부터 변태하는 제 2상, 제 3상의 양이 증가되었기 때문이다.

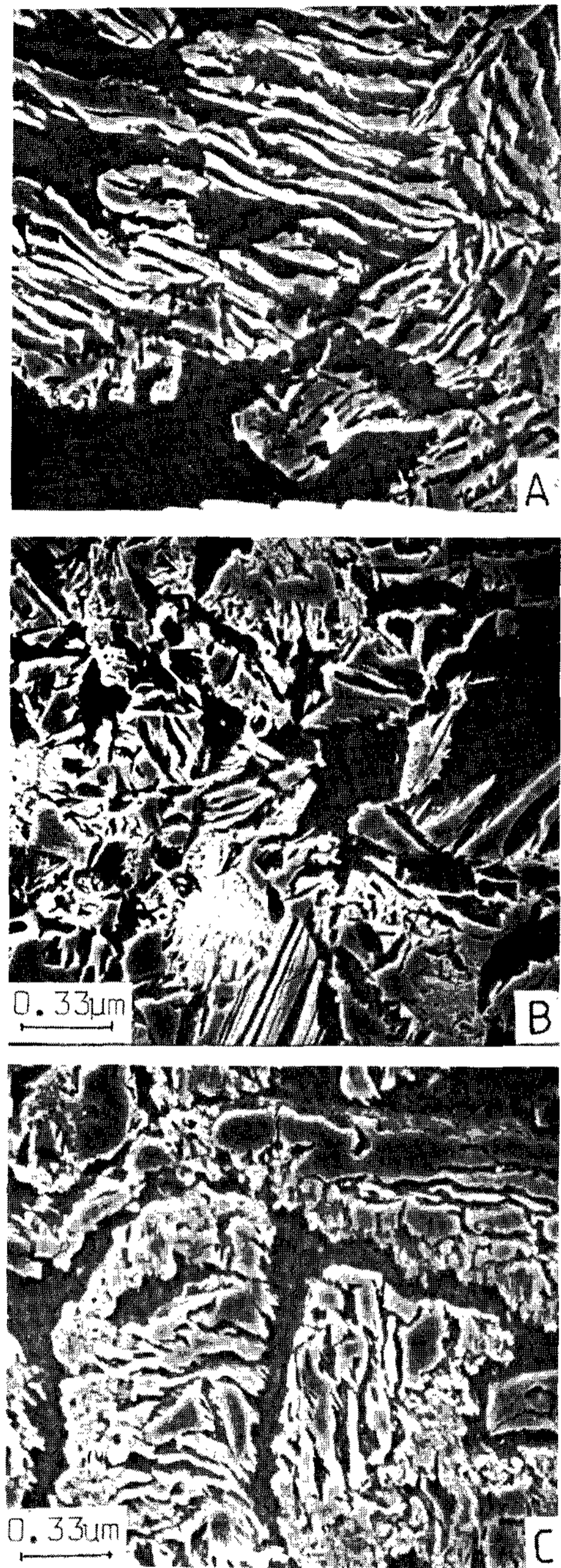


Photo 5. Microstructures of specimens austempered at 400°C for 5min after austenitizing at 840°C for 30min ; revealed by SEM.
(A) 0cycle (B) 5cycles (C) 10cycles

3-2-2. 3상분율에 미치는 주기열처리의 영향
주기열처리 횟수에 따른 베이나이트 부피분율과

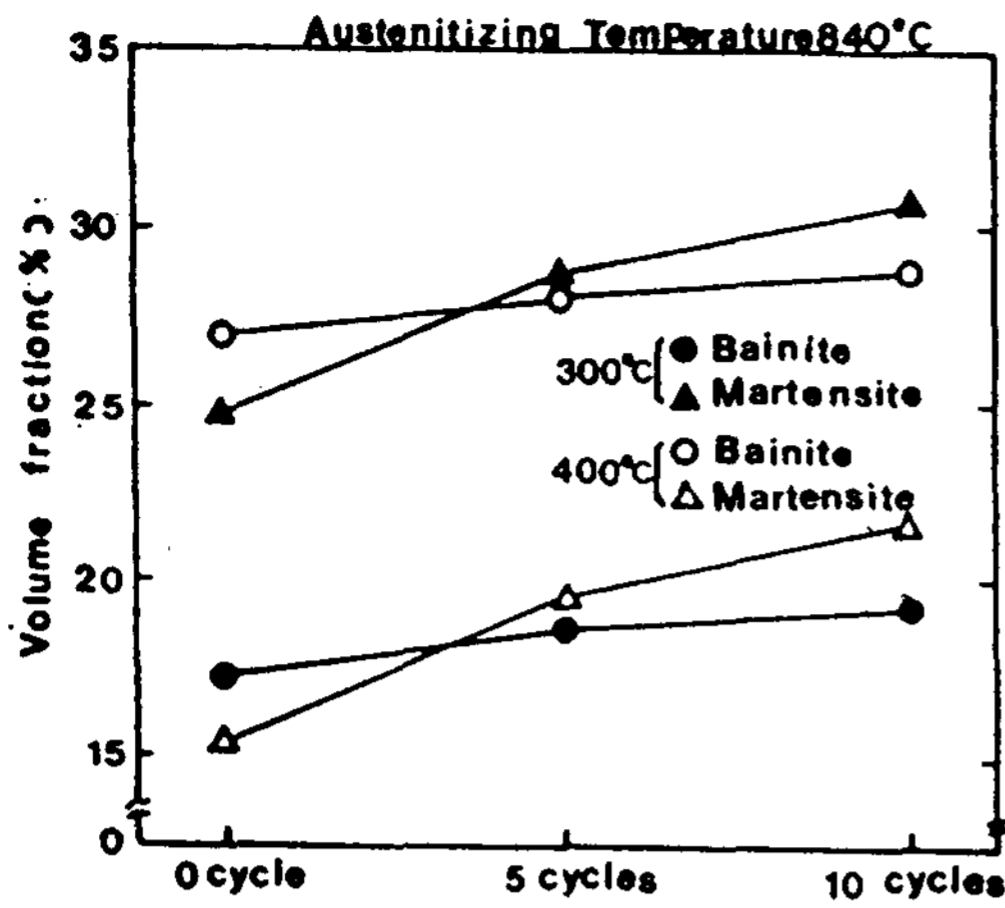


Fig. 4 Relationship between bainite and martensite volume fraction due to different cyclic heat treatment.(Austemper holding time : 5min)

마르텐사이트 부피분율변화의 상관관계를 Fig. 4에 나타내고 있다.

베이나이트와 마르텐사이트의 부피분율은 그림에서 알 수 있듯이 주기열처리 횟수가 증가함에 따라 베이나이트와 마르텐사이트의 부피분율은 공히 증가하고 있는데 이는 주기열처리 횟수 증가에 따라 오스테나이트 부피분율이 증가하기 때문이다.

또한 그림에서 알 수 있듯이 주기열처리 횟수 증가에 따른 베이나이트 부피분율증가는 적고 마르텐사이트 부피분율 증가는 높게 나타나고 있는데, 이는 주기열처리 횟수에 따라 전조직에 존재하는 퍼얼라이트량이 다르므로 템퍼링시에 변태되는 오스테나이트상 중에 고용되는 탄소량이 다르기 때문이다.

즉, 퍼얼라이트량이 많을 수록 오스테나이트중 고용탄소량이 높아²⁵⁾ 오스테나이트상내로 탄소를 토출하면서 성장하는 저탄소 조직인 베이나이트의 성장을 억제하기²⁶⁾ 때문에 오스테나이트 부피분율 증가에 비하여 베이나이트의 부피분율 증가는 적고, 증가된 미변태 오스테나이트가 급냉으로 인하여 마르텐사이트로 변태되므로 상대적으로 마르텐사이트 부피분율은 높게 나타난다. 또한 항온유지 시간에 따른 마르텐사이트와 베이나이트의 부피분율 관계는 항온 유지시간이 적으면 마르텐사이트의 변태가 많이 나타나고, 항온유지시간이 증가할 수록 베이나이트 변태가 증가되어 나타나고 있다.

3-2-3. 인장특성에 미치는 주기열처리의 영향

인장시험편의 연신율 변화를 Fig. 5와 6에 나타내고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 항온유지시간이 증가할 수록 연신율은 증가하고 있는데 이는 항온유지 시간증가에 따라 마르텐사이트 부피분율이 감소하고 베이나이트 부피분율이 증가하기 때문이다.

특히 연신율은 2-15분 사이 항온유지시간에 급격한 증가를 보이고 있는데 이는 베이나이트 변태는 탄소의 확산에 지배를 받기 때문으로써 탄소확산은 초기 잠복기를 거쳐 일단 활성화되면 급격하게 일어나기 때문이다.

이러한 탄소확산 거동은 항온유지시간에 따른 베이나이트 부피분율 증가를 지배하며 항온유지시간이 길수록 베이나이트 부피분율은 증가하고 마르텐사이트 부피분율은 감소하게 된다.

또한 300°C와 400°C의 서로 다른 항온변태온도에서 항온유지온도에 따라 연신율은 큰 차이를 보이

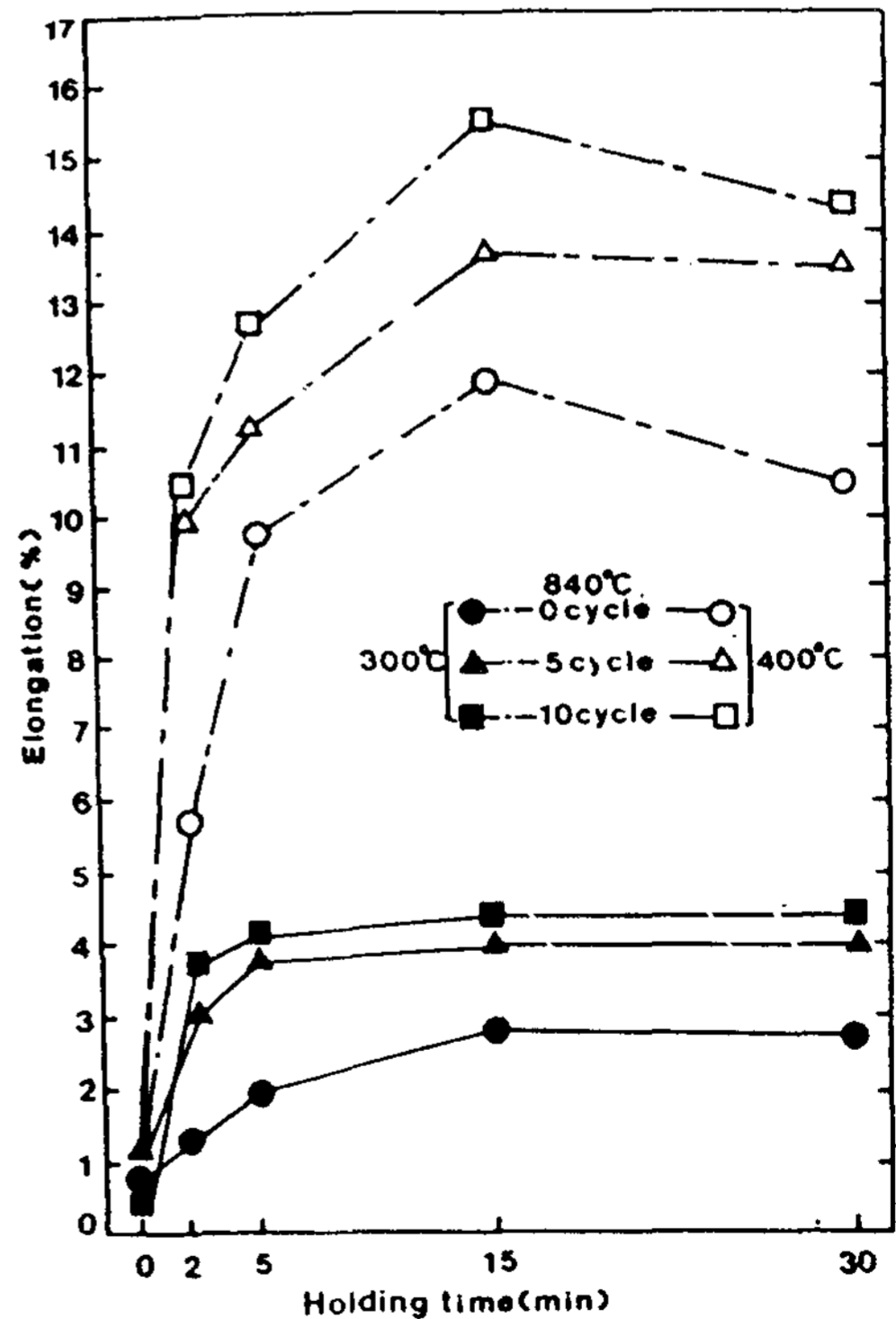


Fig. 5 Relationship between elongation and various austempering conditions after different cyclic heat treatment.

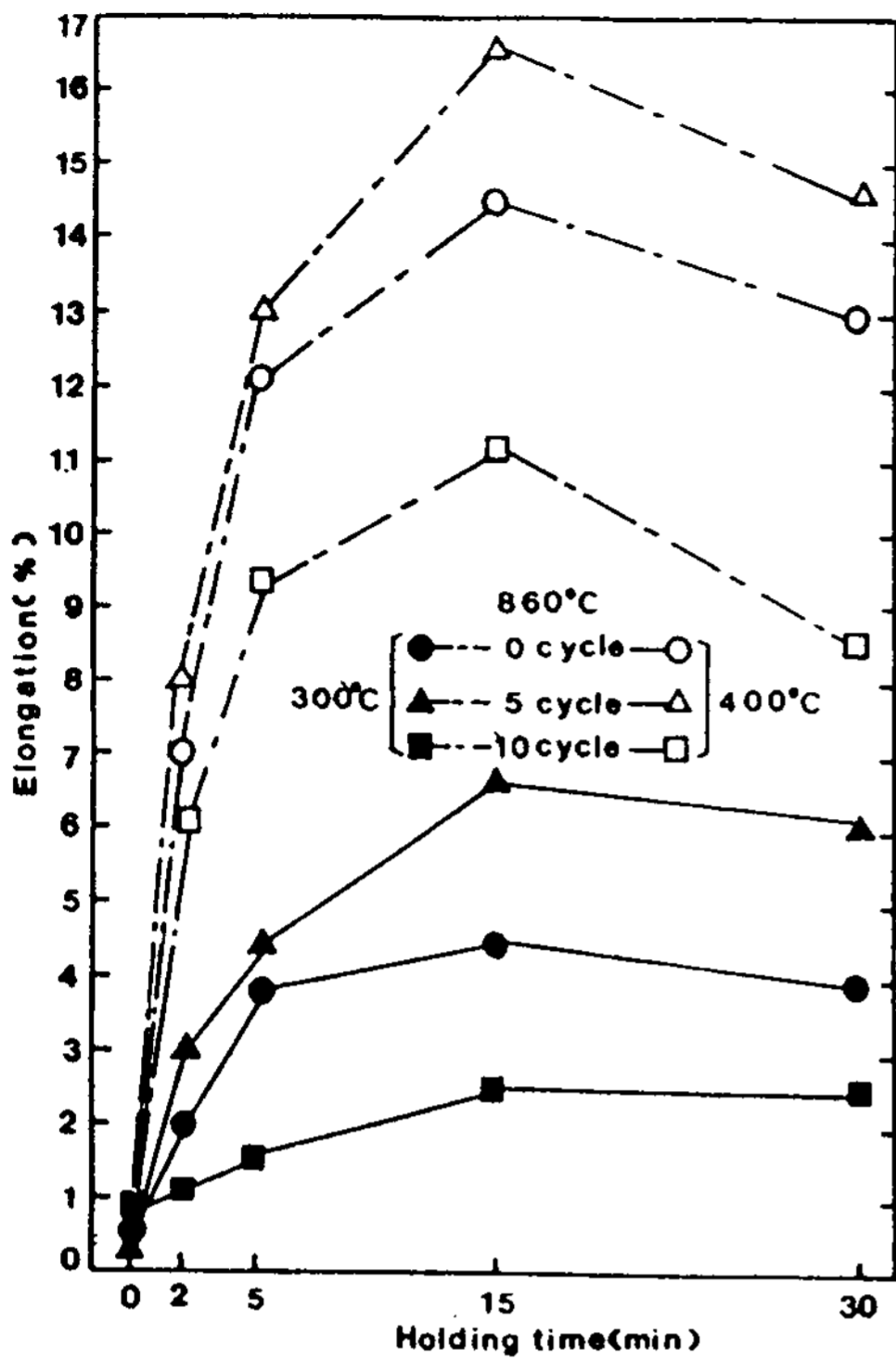


Fig. 6 Relationship between elongation and various austempering conditions after different cyclic heat treatment.

고 있는데 이는 하부베이나이트의 기계적성질에서 기인되는 것으로 상부베이나이트는 연성은 좋으나 강도가 저하되고 하부베이나이트는 강도가 좋으나 연성이 저하되기 때문이다.

오스테나이트화 온도 840°C에서 주기열처리 횟수 증가에 따른 연신율 변화는 Fig. 5에서 알 수 있듯이 주기열처리 횟수 증가에 따라 연신율은 증가하고 있다.

이는 주기열처리 횟수가 증가함에 따라서 전조직에 생성된 퍼얼라이트가 미세화 되어 입상 또는 구상형태를 나타내었으며, 이 미세화된 퍼얼라이트를 오스템퍼링 함으로써, 변태된 베이나이트, 마르텐사이트 형상의 미세화에 큰 영향을 주므로 연신율이 증가하게 된다.

Fig. 7는 오스테나이트화 온도가 840°C로써 주기열처리 횟수가 증가할수록 인장강도 증가를 보이고 있다.

이는 주기열처리에 의해 결정립이 미세화 되었

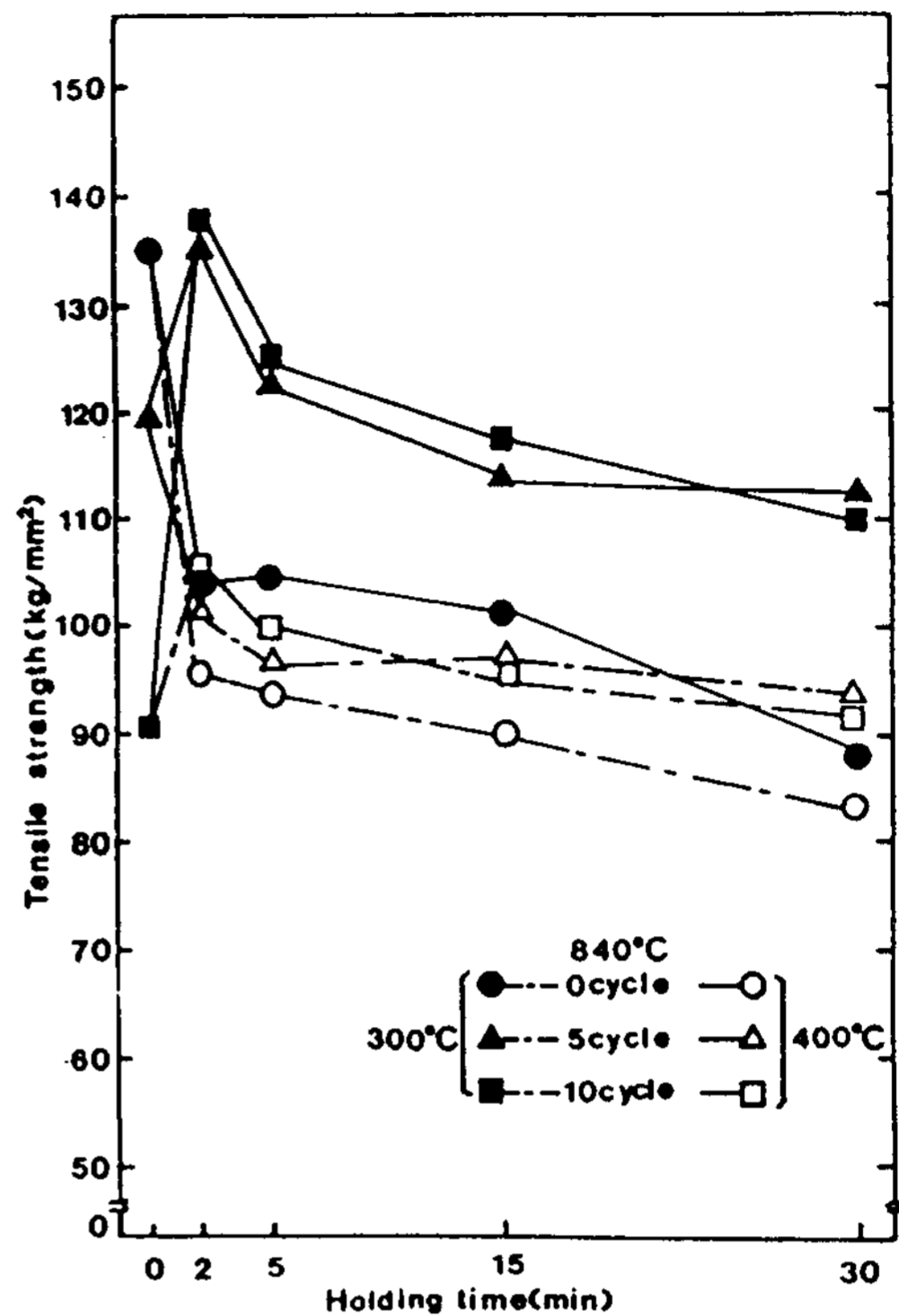


Fig. 7 Relationship between tensile strength and various austempering conditions after different cyclic heat treatment.

기 때문으로써, 주기열처리 횟수가 증가할 수록 결정립은 더욱 미세화 되어진다.

또한 항온유지온도에 따라서는 400°C보다 300°C에서 높은 인장강도를 보이고 있으며, 항온유지시간이 0분인 경우는 주기열처리를 실시하였을때 인장강도 저하를 보이고 있는데 고용탄소량을 높이기 되어 소입시 재료내 취성을 나타내는 마르텐사이트로 변태되고, 또한 소입시 고탄소 오스테나이트에서 마르텐사이트로 변태될 때 생기는 미소균열의 원인이 되어 재료의 인장강도를 저하시킨다고 생각된다.

또한 10회 주기열처리한 후 항온변태 시켰을때 항온변태시간이 길어짐에 따라 급격한 강도저하를 보이고 있는데, 이는 베이나이트 생성구역에서 항온유지할 때 항온유지시간이 길수록 미변태 오스테나이트 내의 고용탄소량은 높아지고 탄소량이 높은 오스테나이트상 중에서 생성된 베이나이트는 취약하기 때문으로서 주기열처리 횟수가 증가함에

따라 오스테나이트 중의 고용탄소량이 증가되어 비교적 짧은 항온유지시간에도 취성의 배이나이트가 생성되기 때문이다.

3-2-4. 충격특성에 미치는 주기열처리의 영향

충격시험으로 부터 재료의 변형율을 평가하는 방법으로서 시험전, 후 시편의 단면변형 변화를 조사하여 시험전의 폭(I_0)과 시험후의 폭(I_f)으로 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다.²⁷⁾

$$\delta(\%) = \frac{I_f - I_0}{I_0} \times 100$$

[δ : 충격시편으로부터 얻어진 변형율]

Fig. 8은 860°C에서 오스테나이트화 한 후, 항온 변태온도, 유지시간, 변형량과의 관계를 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 주기열처리 횟수에 따른 변형율 거동은 인장시험에서 얻은 연신율 거동과 거의 유사하게 나타나고 있다.

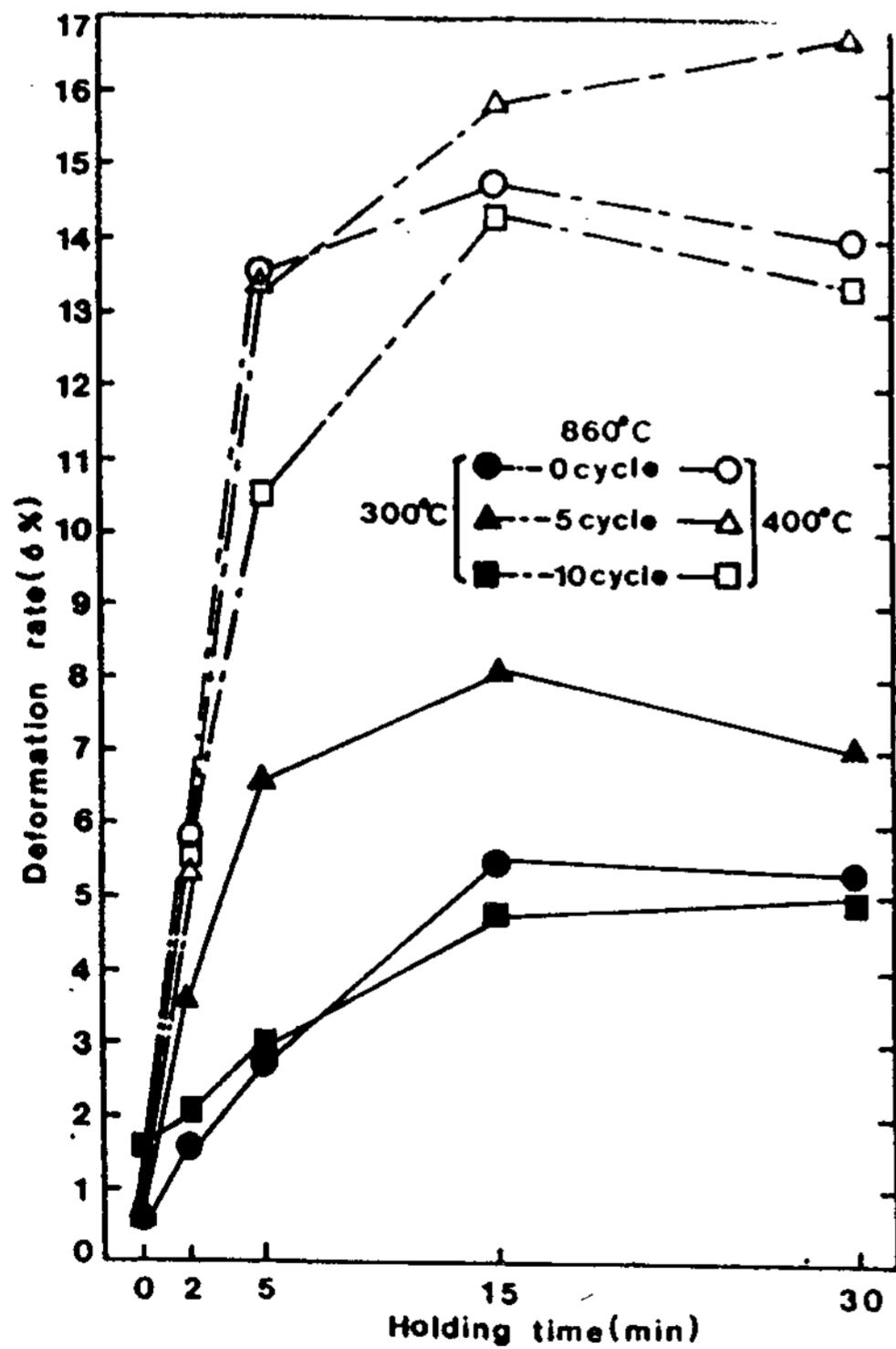


Fig. 8 Relationship between deformation rate and various austempering conditions after different cyclic heat treatment.

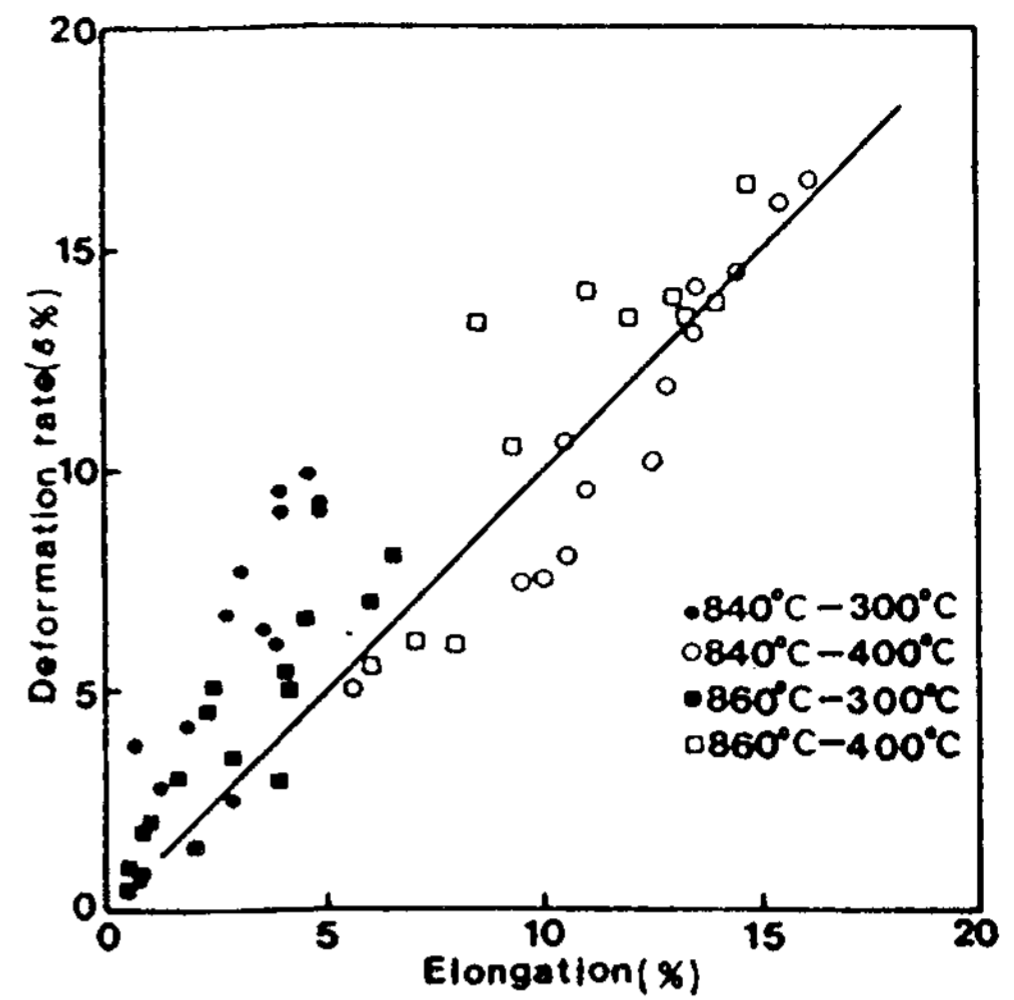


Fig. 9 Relationship between elongation and deformation rate.

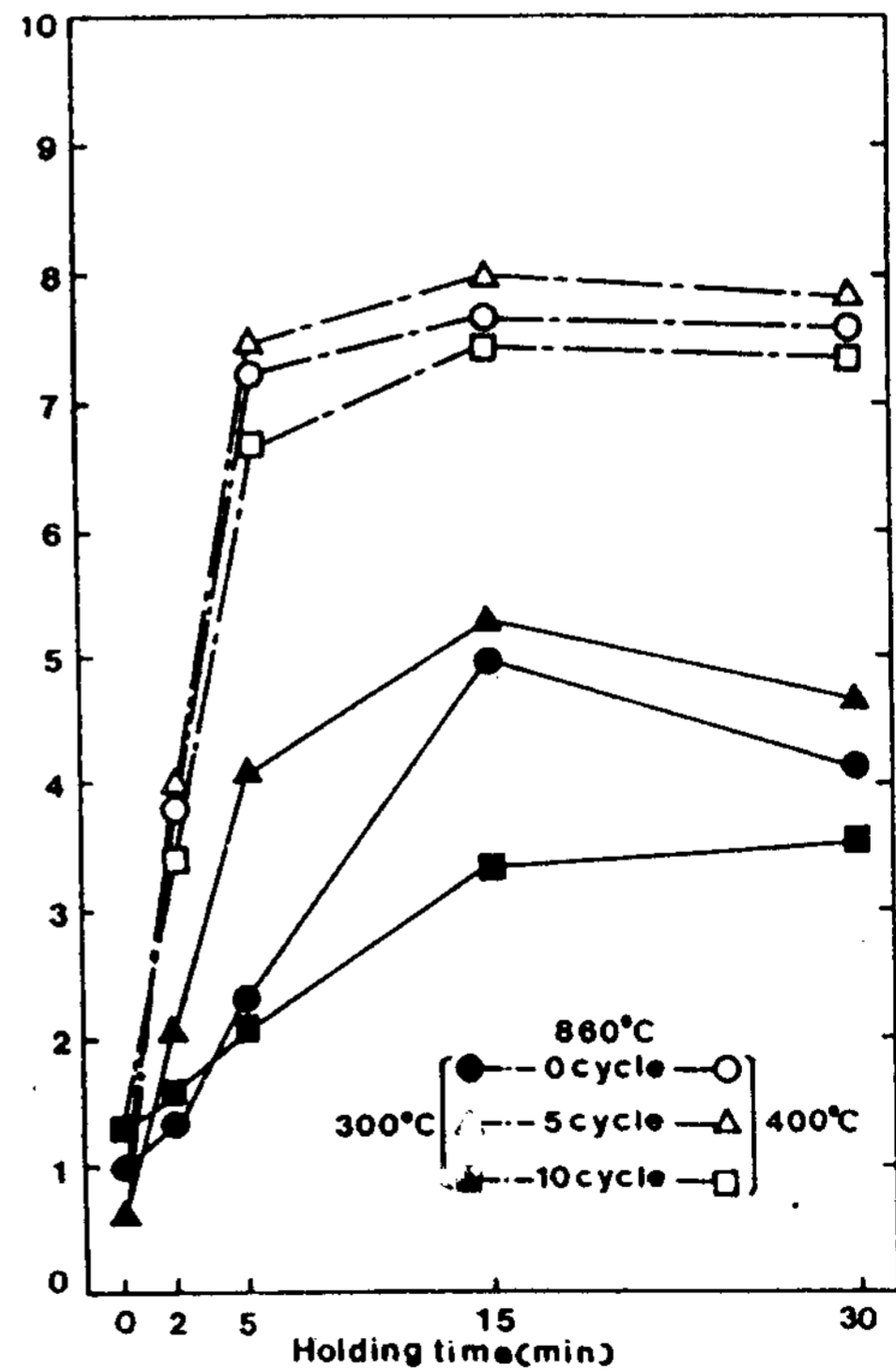


Fig. 10 Relationship between charpy impact energy and various austempering conditions after different cyclic heat treatment.

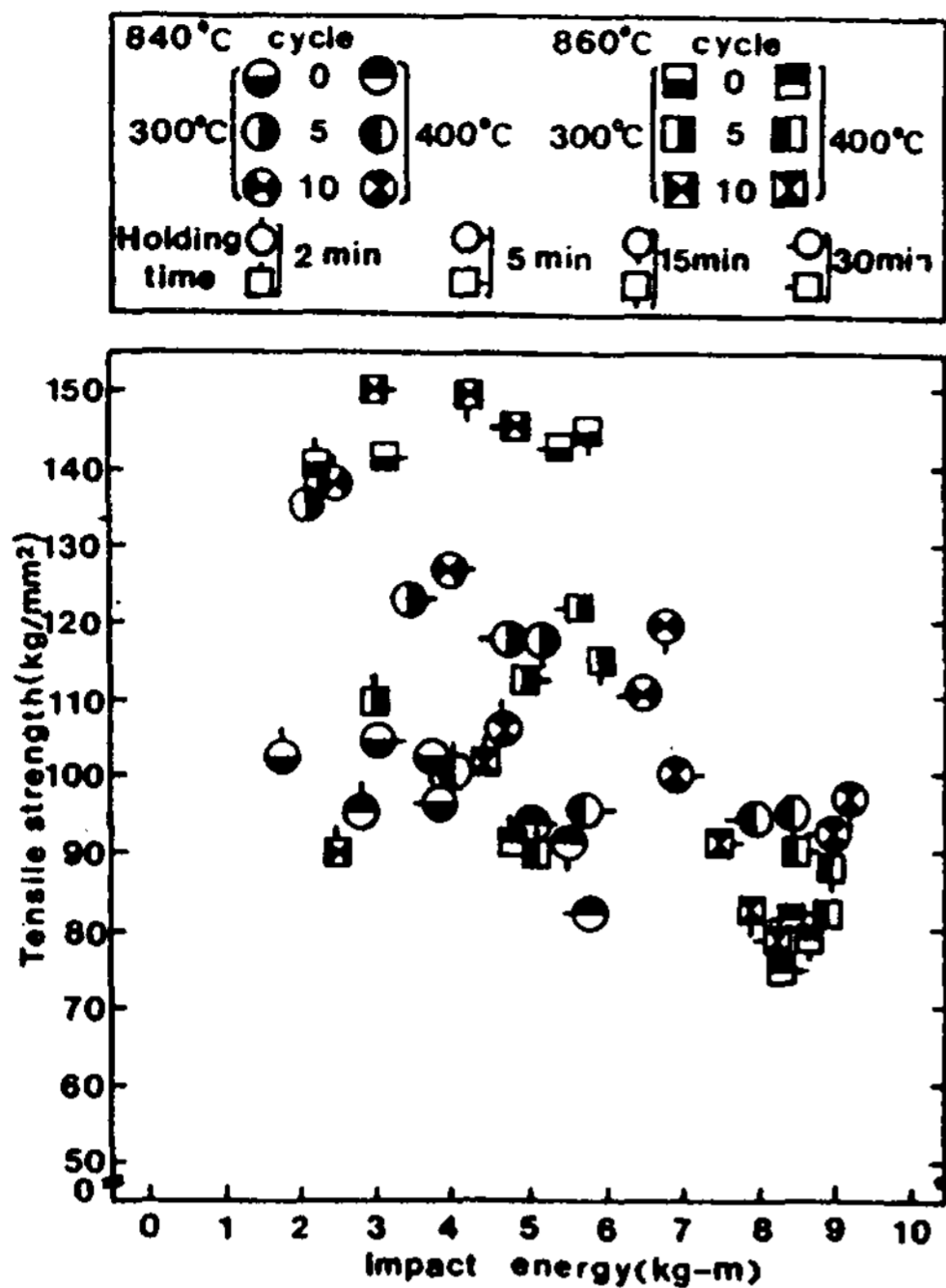


Fig. 11 Relationship between tensile strength and impact energy.

Fig. 9은 충격시험에서 얻은 변형율과 인장시험에서 얻은 연신율을 상호 비교한 그림으로써 변형율과 연신율은 거의 정(正)의 상관 관계를 갖고 있어 충격시험에서 얻어진 변형율로써 연신율을 평가할 수 있다는 것을 알 수 있다.

충격에너지는 계장화된 샤르피 충격시험기의 하중-변위 곡선으로부터 충격흡수에너지를 산출하여 그 결과를 Fig. 10에 나타냈다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 어떤 조건에서도 항온변태 시간이 증가하면 증가할수록 충격에너지는 상승하고 있는데, 이는 항온변태 시간이 증가하면 베이나이트 변태량이 증가하고 마르텐사이트 양이 감소하기 때문이다.

베이나이트변태는 탄소의 확산에 의존되므로 탄소의 확산이 활성화 되려면 어느 일정시간이 필요하게 되고 일단 탄소가 활성화 되면 상당히 빠른 속도로 베이나이트 양이 증가하게 되어 그 결과 충격치는 상당히 큰 폭으로 증가한다.

반면에 15분 이상의 항온변태 유지시간에서는 탄소의 확산속도가 느려져 충격치의 상승은 완만해진다.

또한 오스테나이트화 온도가 높으면 충격에너지

는 증가하는데, 이러한 이유는 오스테나이트화 온도가 증가로 인하여, 흑연주위에 우선적으로 베이나이트 변태가 촉진되어 구상흑연주철의 파괴기점으로 작용하는 흑연과 기지계면 조직과의 결합강도를 크게하여 주는 요인과 오스테나이트 분율의 증가로 인하여 베이나이트 분율이 증가하기 때문이다.

Fig. 11은 인장강도와 충격에너지 관계를 나타낸 그림으로써 좋은 인장강도와 좋은 인성이 서로 조합되는 조건은 항온유지시간이 15분과 30분이었으며 최적의 조합은 10회 주기열처리 후 840°C-300°C-15분의 조건으로 이 때 각 상의 부피분율은 페라이트 50%, 마르텐사이트 13%, 베이나이트 37%의 3상 혼합조직이었다.

4. 결 론

3상(페라이트-베이나이트-마르텐사이트) 혼합 구상흑연주철의 강인화에 미치는 특수열처리인 주기열처리의 영향에 관하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 구상흑연주철의 주기열처리시, 주기수가 증가함에 따라 퍼얼라이트량은 증가되었고, 형상은 미세화 되었다.
2. 주기열처리의 주기수가 증가함에 따라 3상이 기지조직에 도상(島狀)으로 미세하게 분포되었으며, 특히 마르텐사이트의 형상은 구상화 되었다.
3. 항온변태 유지시간이 증가함에 따라 베이나이트 분율은 증가하고 반대로 마르텐사이트 분율은 저하되었고, 특히 15분까지는 베이나이트 변태 반응이 급격히 이루어졌고 그 후는 서서히 변태되었다.
4. 본 실험에서 주기열처리를 실시함으로써 가장 좋은 연신율은 860°C-5cycle, 400°C 템퍼링 온도에서 15분 유지한 시편으로 이 때 연신율은 16.7%, 인장강도는 88.4kg/mm²이었고, 최고 인장강도는 860°C-5cycle, 300°C에서 5분 유지한 시편으로 그때의 인장강도는 149kg/mm², 연신율은 1.5%이었다.
5. 10회 주기열처리 후, 840°C-300°C 15분의 오스테나이트화 조건에서 비교적 높은 충격에너지와 인장강도를 얻을 수 있었으며 그 때 3상의 부피분율은 페라이트(50%)-마르텐사이트(13%)-베이나이트(37%)이었다.

후 기

본 연구는 1988년도 한국과학재단 연구비지원에 의하여 수행한 연구의 일부로써 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. N. Rouns, K. B. Rundman : AFS Trans, A3(1983) 25
2. J. E. Rehder : AFS Trans, 27(1949) 549
3. J. E. Rehder : AFS Trans, (1965) 473
4. J. E. Bevan, W. G. sholz : AFS Trans, 70(1977) 271
5. N. K. Datta : Ph. D Thesis Georgia Institute of Technology(1974)
6. N. S. Chiou : "Dual Matrix Phase DCI," M. S. Thesis, university of Kansasc
7. G. J. Cox : Journal, 137(1974) 714
8. M. Johnson : AFS Trans, 85(1977) 117
9. C. W. Marshall, R. F. Heheman, A. R. Troiano : Trans, ASM55(1966) 135
10. D. P. Edwards : JISI, 207(1968) 1.494
11. 尹義傳, 李英活 : JuJo, 2(1982) 2.12
12. Yoshisande ueda, Noboru wado : Imono, 50 (1978) 5.305
13. Yoshisande ueda, Noboru wado : Imono, 51 (1979) 8.480
14. 金錫元 : JuJo. 5(1982) 12. 66.73
15. 上田倅完, 和出昇 : Iron and steel, 64(1977) 9, 1. 572
16. R. C. Voigt, L. M. Eldoky : AFS Trans, (1986), 94
17. I. Minkoff. The Physical Metallurgy of Cast Iron(1983) 35
18. American Society for Metals : Metals Handbook 2(1964) p. 66
19. Eric A. Brandes Smithhells Metals Reference Book, Sixth edition
20. F. S. Lepera : Metallurge, 12(1979), 263
21. E. Under wood : Quantative stereology, (1970) Addison-Wesle. 1, 23
22. J. E. Hillard, J. W. Chan : Trans, AIME, wwq(1961) 4, 344
23. 田中雄一, 井川克地 : 鑄物, 47(1975) 12, 847
24. 田中, 井川 : 鑄物, 47(1975) 12, 947
25. D. A. Harris and R. J. Maithland, Iron and steel, p. 325-8(1970) 9-49
26. 金錫元 : 주조 제 6 권 4호(1986) p. 290~297
27. C. Rawelski, V. Gopina than K. E. Hagedorn : Hagedorn : Arch. Eisen Huttenwes. Vol. 51, No. 10(1980) 435