

技術資料

퍼얼라이트 可鍛鑄鐵

全德戴

Pearlitic Malleable Iron

D.J. Chon

1. 序 論

Pearlitic Malleable Iron이 工業用素材로서 最近 그 需要가 增加一路에 있는 것은 鑄造後 quenching 및 tempering 工程에서 多様な 物性值를 調節할 수 있는 것 외 뛰어난 耐摩耗性과 反復應力이 數없이 作用하는 動的要素가 必要로 하는 耐衝擊性이 卓越한 點이다. 여기에 손쉬운 鑄造性 및 機械加工性이 Cost 面에 有利하기 때문이다.

2. Pearlitic Malleable Iron의 物性

어떤 engineering 材料가 有用하게 利用되려면 그 物性이 使用目的에 알맞아야 하고 詳細한 製造工程과 物性を 調節하는 技法에도 精通해야 한다.

Pearlitic Malleable iron은 降伏強度가 45,000-90,000 psi(31.6-63.3 kgf/cm²) 범위이며 基地조직을 쉽게 조절할 수 있는 매우 융통성 있는 材料이다. 다시 말해서 matrix 조절을 폭넓게 함으로써 用途에 알맞은 機械的性質을 얻을 수 있다.

一般的으로 合金은 凝固時點에서 결정지어지는 組成을 가지게 되지만 特定應用을 위하여 그 組成을 變化시키기는 어렵다. 그러나 Pearlitic Malleable Iron의 경우는 matrix의 炭素含量을 鑄造後 熱處理 과정에서 어느정도 黑鉛 nodule 化 시키든가 또는 어느정도 matrix 內에 混在시키든가 조절할 수 있다. matrix조직이 기계적성질을 左右하므로 열처리 公程에서 要求되는 物性 即 “合金의 선택”을 할 수 있다. 다시 말해서 matrix 內의 炭소含量을 medium carbon steel과 같이 조절하고 열처리 公程에서 鋼과 같은 基地로 하여 요구되는 物性を 얻게 한다. Pearlitic Malleable iron의 強

度基準을 자유롭게 조절함으로써 어떤 制限된 기계적 성질의 任意分類는 필요치 않으며 얼마든지 광범위하게 조절가능하므로 必要로 하는 物性基準에 따라 應用하는 것이 좋다.

2-1 引張強度

Pearlitic Malleable Iron의 引張強度는 열처리 公程에서 使用目的에 따라 광범위하게 調節可能하므로 다음과 같은 chart를 利用하여 引張強度를 設定하였다.

첫째로 鑄造品의 最小強度值와 相關되는 最小 brinell 硬度를 선정한다. 즉 그림 1은 Pearlitic Malleable Iron의 air, liquid quenching에 따른 brinell 硬度值로부터 최소 降伏強度 및 引張強度值를 얻는다.

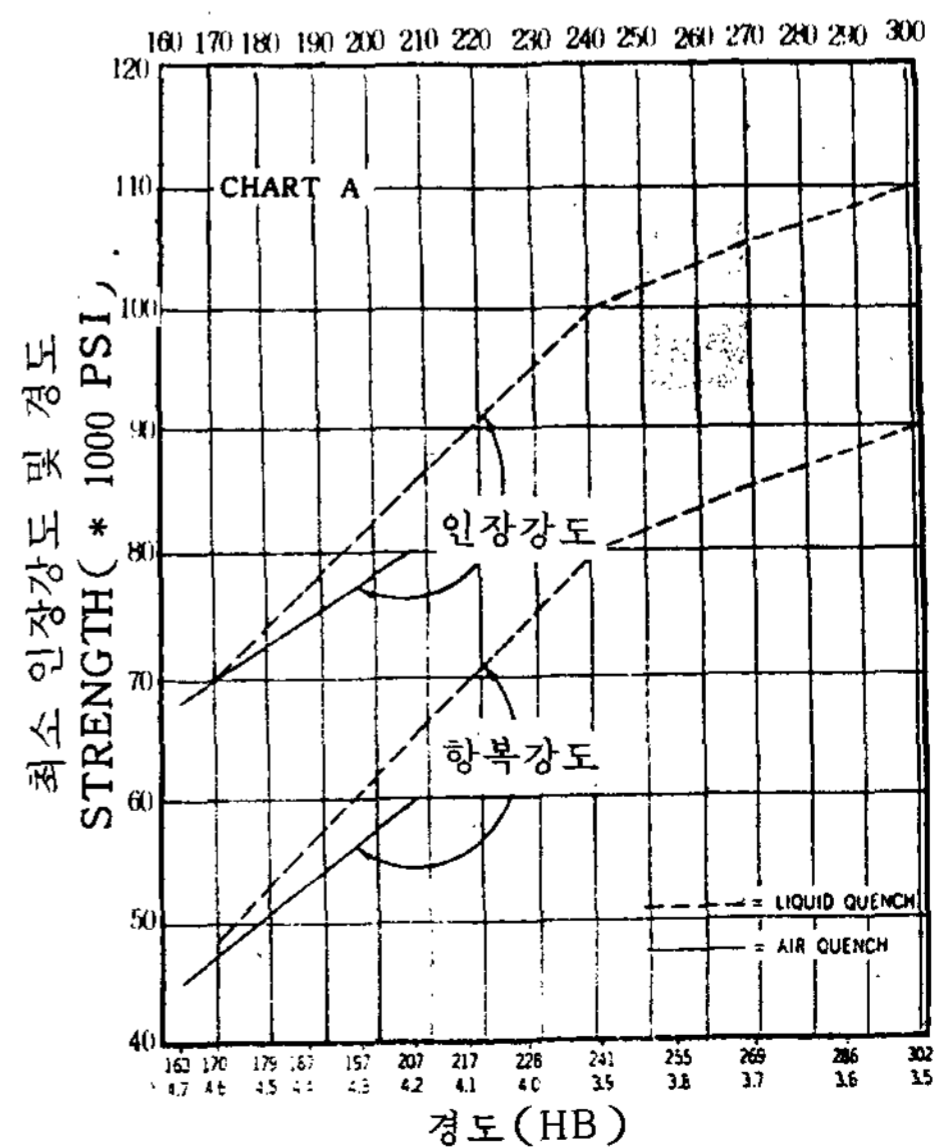


그림 1 퍼얼라이트 가단주철의 경도와 최소 인장강도 및 항복강도의 관계

둘째로 경도범위를 얻는 것인데 그림 2에서는 선정된 최소 brinell 硬度値와 교차되는 경도범위를 얻는다.

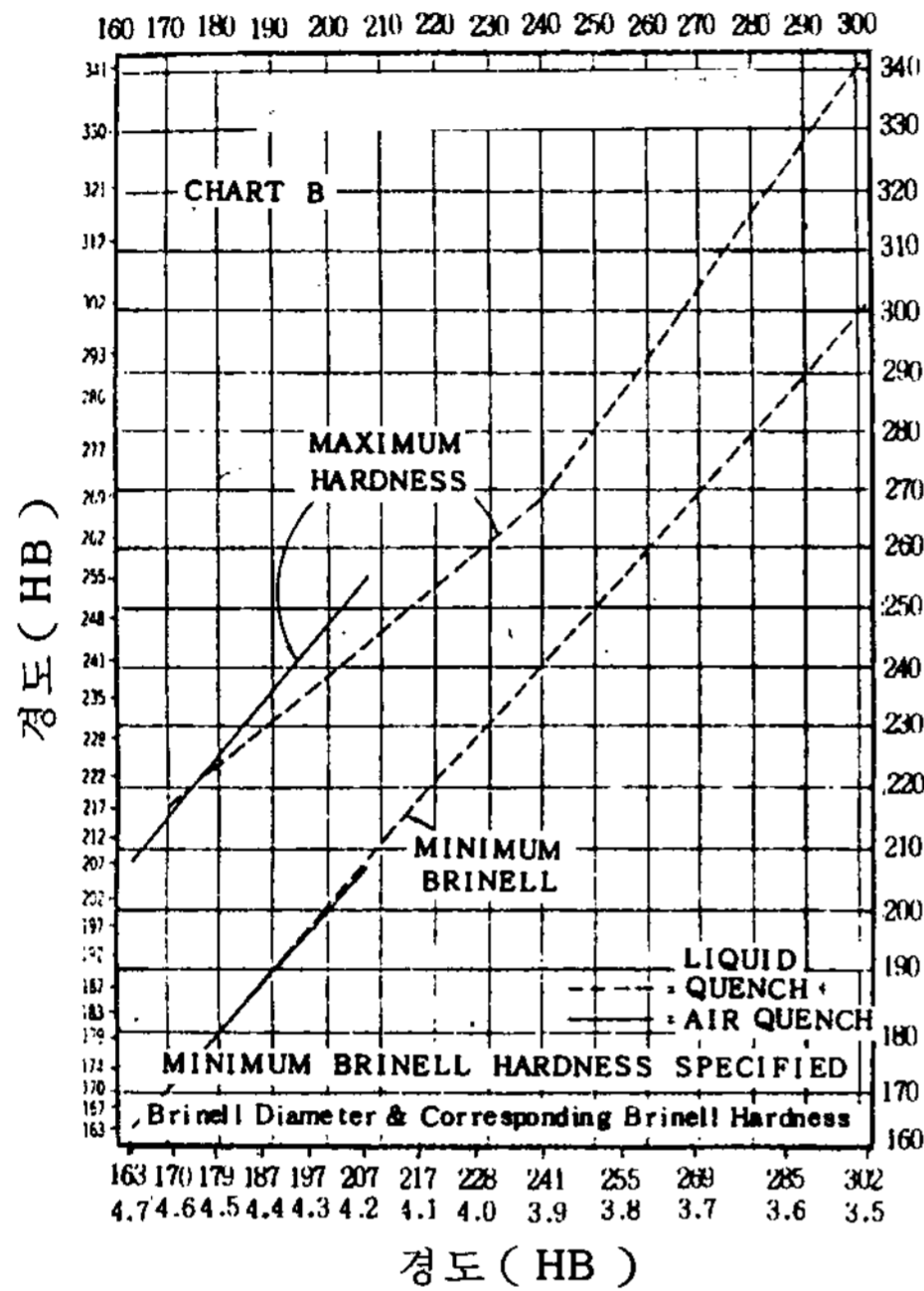


그림 2. 선정된 퍼얼라이트 가단주철의 최소 경도와 경도범위의 관계

셋째로 그림 3에서는 얻어진 brinell 硬度値로부터 延伸率期待値를 얻는다.

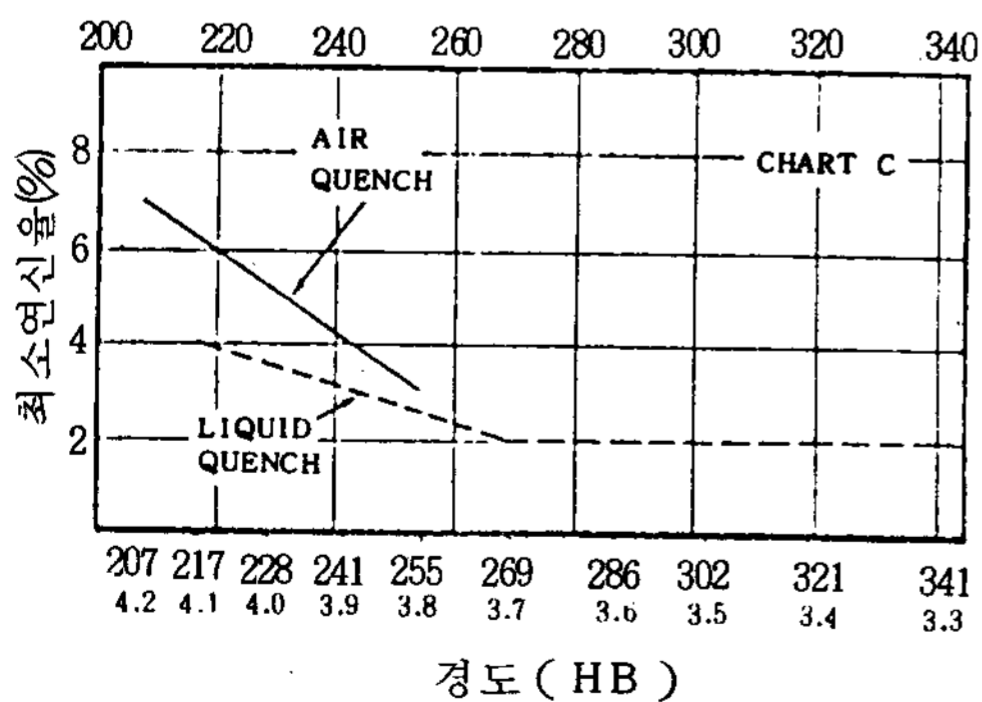


그림 3. 경도와 최소연신율과의 관계

2-2 疲勞強度

實際로 피로성능에 관한 資料는 매우 중요하다. 例를

들어 動的要素는 反復應力이 수백만회 씩 作動하는 경우도 있다. 대표적인 Pearlitic Malleable Iron 피로강도는 그림 4와 같다. 10^7 Cycle, 33,000 psi 반복응력 作用時 피로限界値에 도달한다. 실제로 어떠한 要素단간에 그 모양과 표면상태에 따라 應力을 增加시키는 部位가 있기 마련인데 應力集中係數 Kf 값은 표 1과 같다.

Pearlitic Malleable Iron은 鍛造品과 비슷하나 切欠疲勞限界値는 오히려 높다.

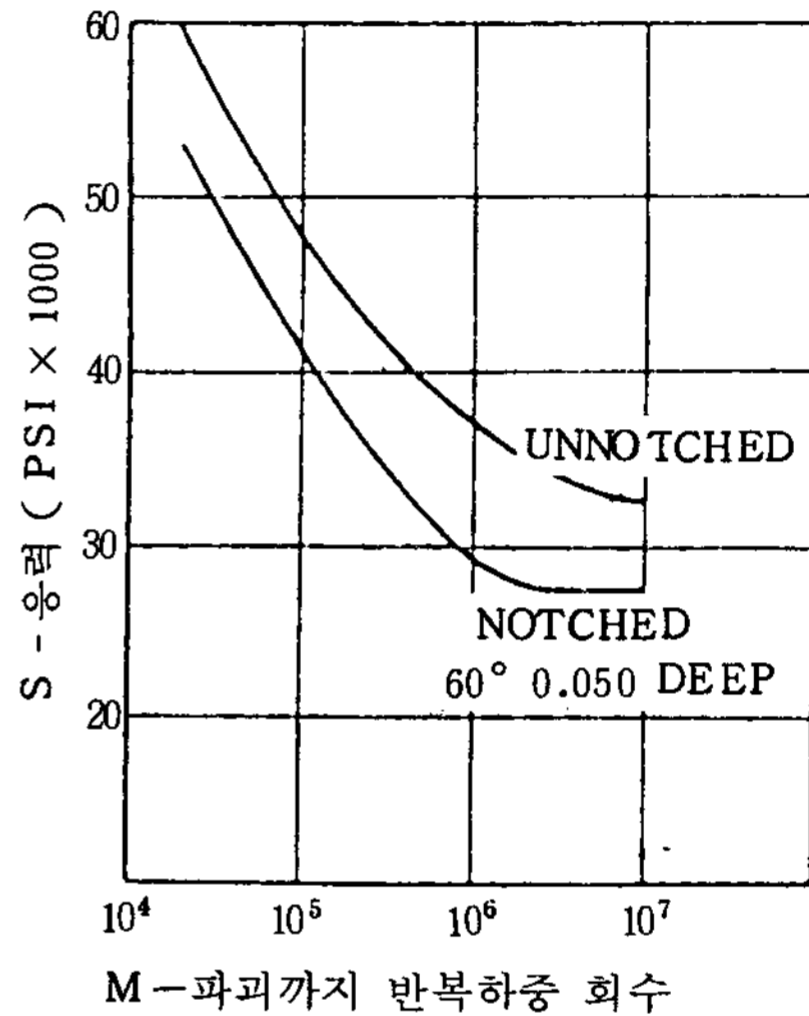


그림 4. 퍼얼라이트 가단주철의 피로파괴 곡선

2-3 燒入性

여러 合金鐵을 quenching시킬때 試料의 끝에서부터 中心으로 向하는 거리에 따르는 硬度를 나타내는 Jominy graph(그림 5)을 참고로 한다. Pearlitic Malleable Iron은 低炭素鋼 (SAE 8640-H, 1050)등과 비슷한 燒入性を 가지고 있다. Pearlitic Malleable Iron의 局部 또는 表面硬化는 기계가공 後 손쉽게 할 수 있다.

그림 6은 Pearlitic Malleable Iron 部品에 관한 代表的인 表面硬化勾配를 나타내는데 高周波硬化 및 flame 硬化를 비교할 수 있다.

2-4. 耐摩耗性

Pearlitic Malleable Iron의 우수한 내마모성 要因은 ① 硬度調節이 쉽고, ② 아무런 害가 없는 微細한 마모 부스러기가 생기고, ③ 機構上 合嵌性(embedability)이 좋고, ④ 윤활유의 留保性이 뛰어난 點들이다.

표 1 각종 재료의 노치피로 성능

재료명	피로한도	노치 피로한도	Kf	노치의 종류
연철	25.0	20.0	1.25	Kommers notch
주철	10.0	10.0	1.0	60° notch
주강	38.2	22.0	1.7	Kommers notch
SAE 1045	67.0	27.0	2.5	Yee notch 60°
SAE 1045	61.0	26.0	2.3	Yee notch 60°
SAE 5140	78.0	42.0	1.9	Yee notch 60°
245.T4	29.5	12.5	2.4	Yee notch 60°
퍼얼라이트가단주철	32.5	27.0	1.2	Yee notch 60°

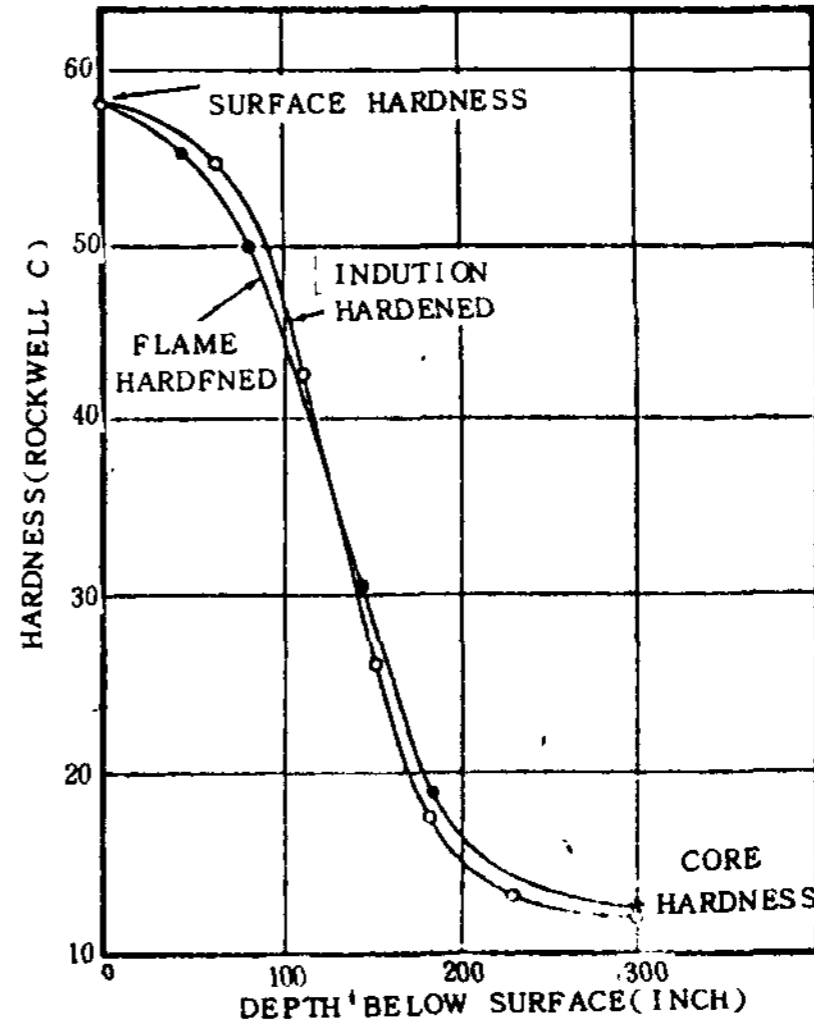
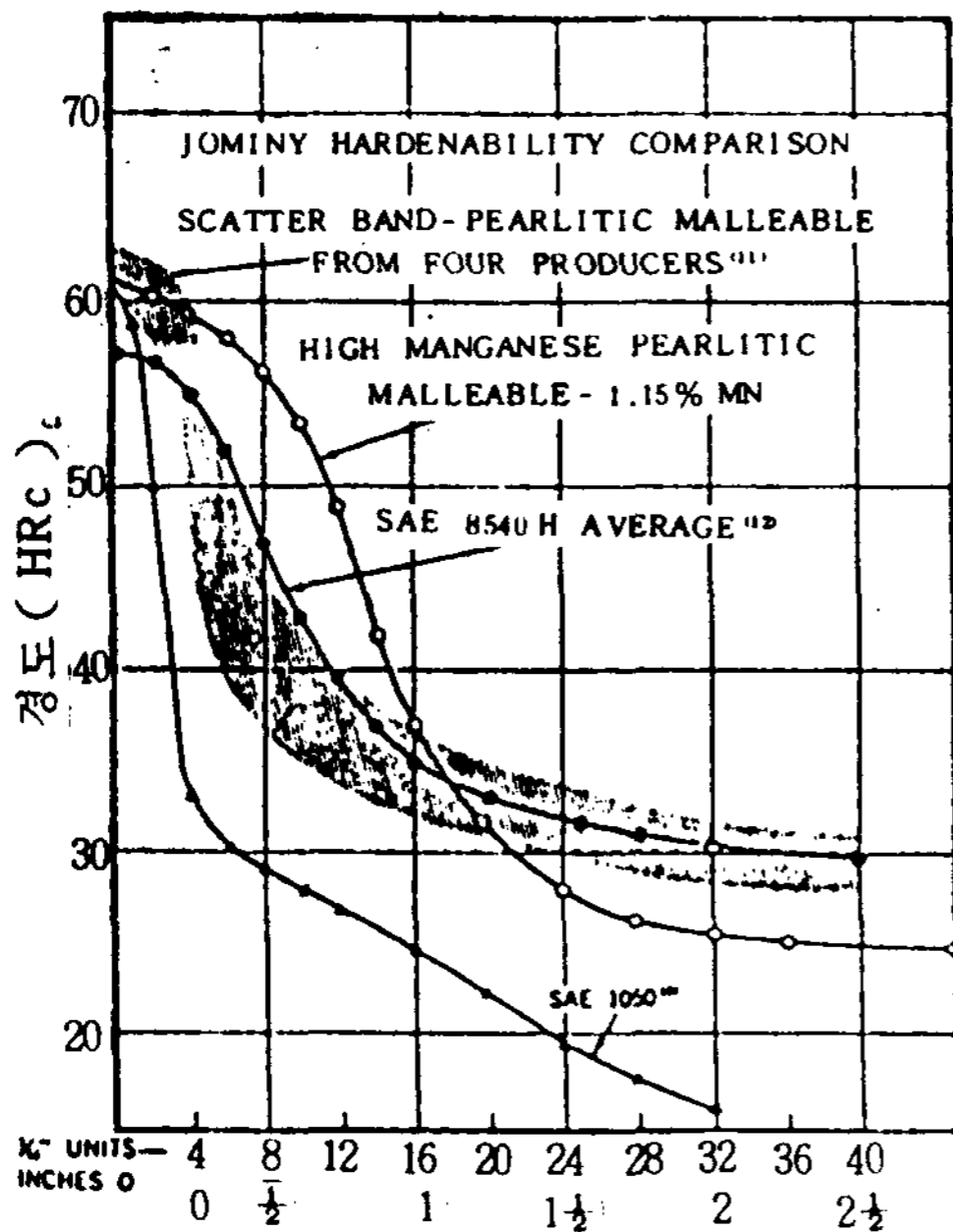


그림 6. 퍼얼라이트가 단주철의 경화깊이와 경도와의 관계



소입끝으로 부터거리

그림 5. 각종 재료의 경화깊이와 경도의 관계

Pearlitic Malleable Iron의 matrix는 表面硬度가 大體적으로 60 Rockwell "c"로 조절해서 사용한다. 이때 carbon-matrix로 부터 생기는 마모부스러기 粒子는 micron 單位의 微粒子인데 이것은 temper carbon nodule 로써 數 많은 粒子끼리 맞닿아 생기는 空隙部位가 윤활유 留保作用 및 貯藏作用을 하게 되는 "micro 윤활유"役割을 한다.

표 2 자동차용 크랭크샤프트 마모시험 결과

Miles Travelled, & Transmission Type	Crankshaft 재료	Main Journal Wear(In.)		Rod Journal Wear(In.)	
		Min.	Max.	Min.	Max.
50,000-Conventional	퍼얼라이트가단주철 단조품 SAE 1046	.0000	.0003	.0000	.0005
		.0003	.0006	.0004	.0006
50,000 Automatic	퍼얼라이트가단주철 단조품 SAE 1046	.0000	.0005	.0000	.0004
		.0002	.0005	.0001	.0002
100,000 Automatic	퍼얼라이트가단주철 단조품 SAE 1046	.0000	.0000	.0000	.0002
		.0001	.0004	.0001	.0003

표 2는 자동차 crank shaft의 마모시험 결과인데 鍛造品(SAE 1046)보다 월등히 우수함을 알 수 있다.

2-5 衝擊強度

Pearlitic Malleable Iron의 低溫下 특히 NDT(無延性遷移溫度)의 충격강도는 여러 合金鐵中에서도 特異한 舉動을 한다.

그림 7와 같이 100°C와 -62.3°C에서의 impact loss 値는 약 2ft·lb 정도이나 低炭素鋼 鍛造品의 경우는 10ft·lb이다. 즉 Pearlitic Malleable Iron은 低溫下에서도 impact의 變化가 적으므로 自動車部品에 應

用할 때는 極寒狀態下에서 우수한 物性を 발휘한다.

표 3. 각종 철강재료의 기계가공성 비교

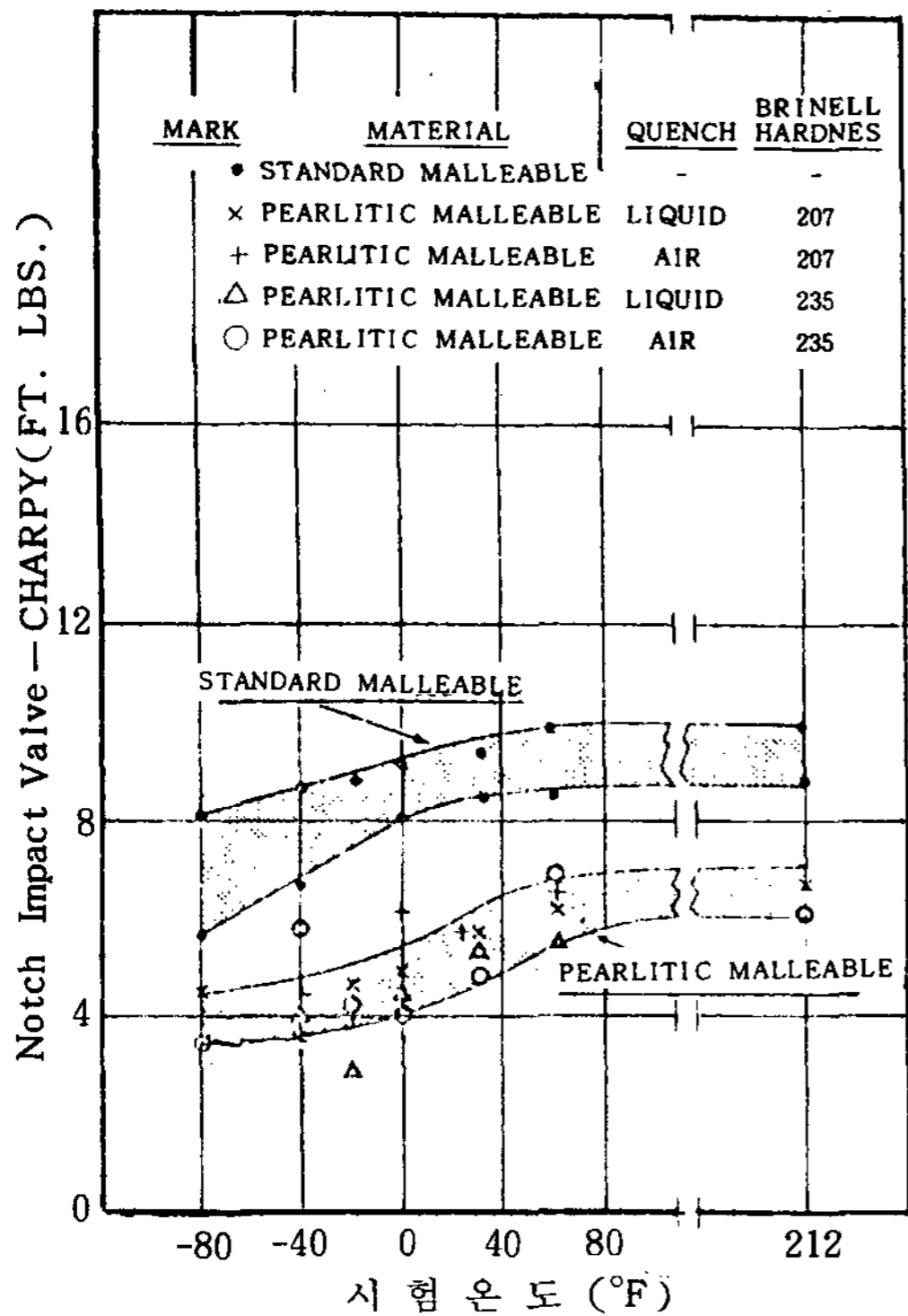


그림 7. 溫度와 NOTCH IMPACT 値의 관계

2-6 加工性

Pearlitic Malleable Iron의 우수한 가공성은 內在하고 있는 temper carbon nodule의 運轉작용 및 chip breaker 역할과 切削硬化로 自由切削(free cutting)에 매우 有利하다.

표 3에서 pearlitic malleable Iron의 경도HB241 가 높은데도 80%의 加工率을 볼 수 있다. 그림 8은 旋削時 工具壽命을 나타낸 것이고 그림 9은 milling時 공수구멍을 나타낸 것이다.

3. Pearlitic Malleable Iron의 製造方法

Pearlitic Malleable Iron은 白銑의 ledeburite의 分解를 완전히 시키고(제1단 黑鉛化熱處理), 제2단 黑鉛化(pearlite 中の Fe₃C의 분해)를 완전히 하지 않고 粒狀 또는 lamella 狀 pearlite로 殘存시켜 強靱性, 耐摩耗性 등을 부여한 것이다.

보통 lamella pearlite 基地를 가진 것은 강도, 내

SAE Grade	경도 (HB)	Machinability Rating (%)
C1109	137-166	85
C1115	143-179	85
C1117	143-179	85
C1118	143-179	80
C1120	143-179	80
C1132	187-229	75
C1137	187-229	70
C1022	159-192	70
C1016	137-174	70
B1111	179-229	95
B1112	179-229	100
B1113	179-229	135
A4023	156-207	70
A4027	166-212	70
Malleable : Standard	109-146	120
Pearlitic(low hardness)	179-201	90
Pearlitic(intermediate hardness)	201-241	80
Cast Iron, soft	160-193	80
Cast Steel(35% C)	170-212	70
Type 416 Stainless Steel	163-207	70

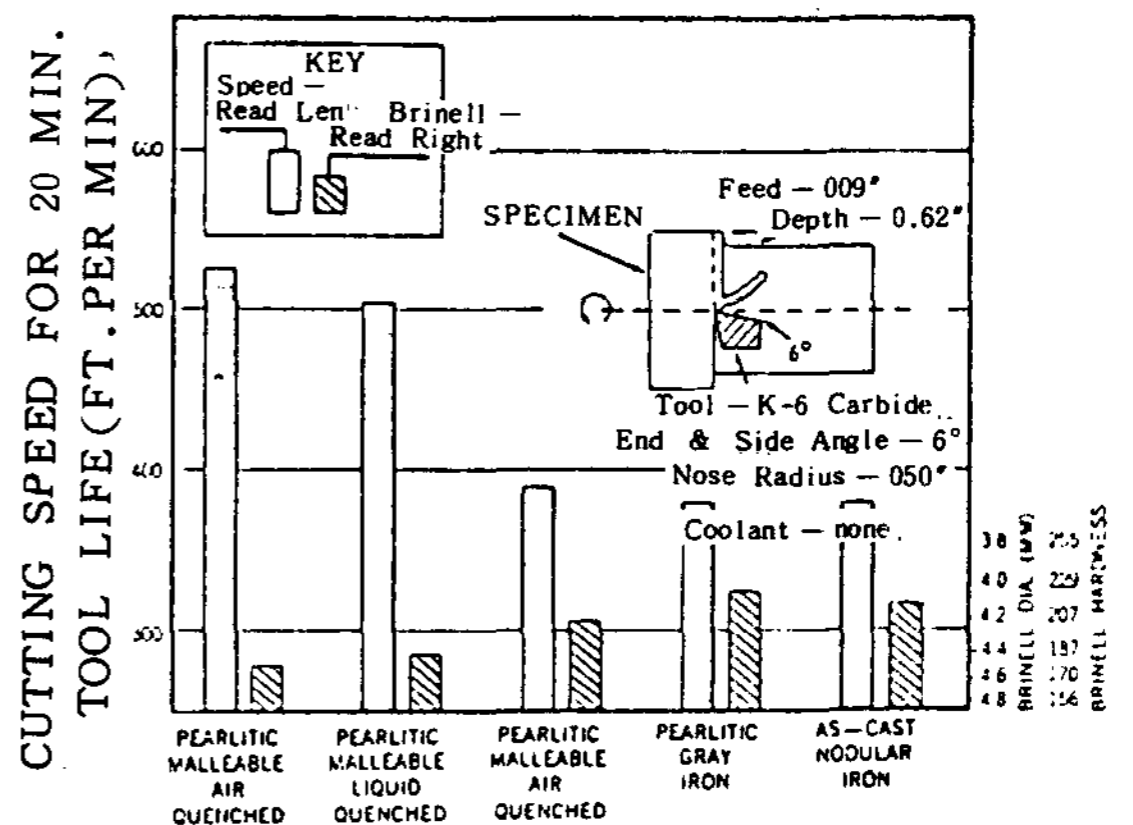


그림 8 각종 재료의 공구수명

마모성은 대단히 우수하지만 반면에 충격치, 연신율, 기계가공성 등의 點에서 떨어지게 됨으로 이것을 短時間 tempering시켜 球狀 pearlite 基地를 가진 pearlitic Malleable Iron이 現在 가장 많이 製造되고 있으며 Pearlitic Malleable Iron는 대략 아래와 같은 열처리 공

밀링가공조건

Carbide Grade : K-6, 44-A, HA, etc.
 Tool Angles : Axial rake 6°+
 Radial rake 6°+
 End Cutting Edge Angle :
 2° primary, 2° secondary
 Clearance angle : 5°
 Feed : 0.0075 In./tooth
 Depth of Cut : 0.100"
 Cutting Speed : 800-825 ft./min.
 Brinell Hardness : ... Liquid-quenched : 241
 Air-quenched : 229

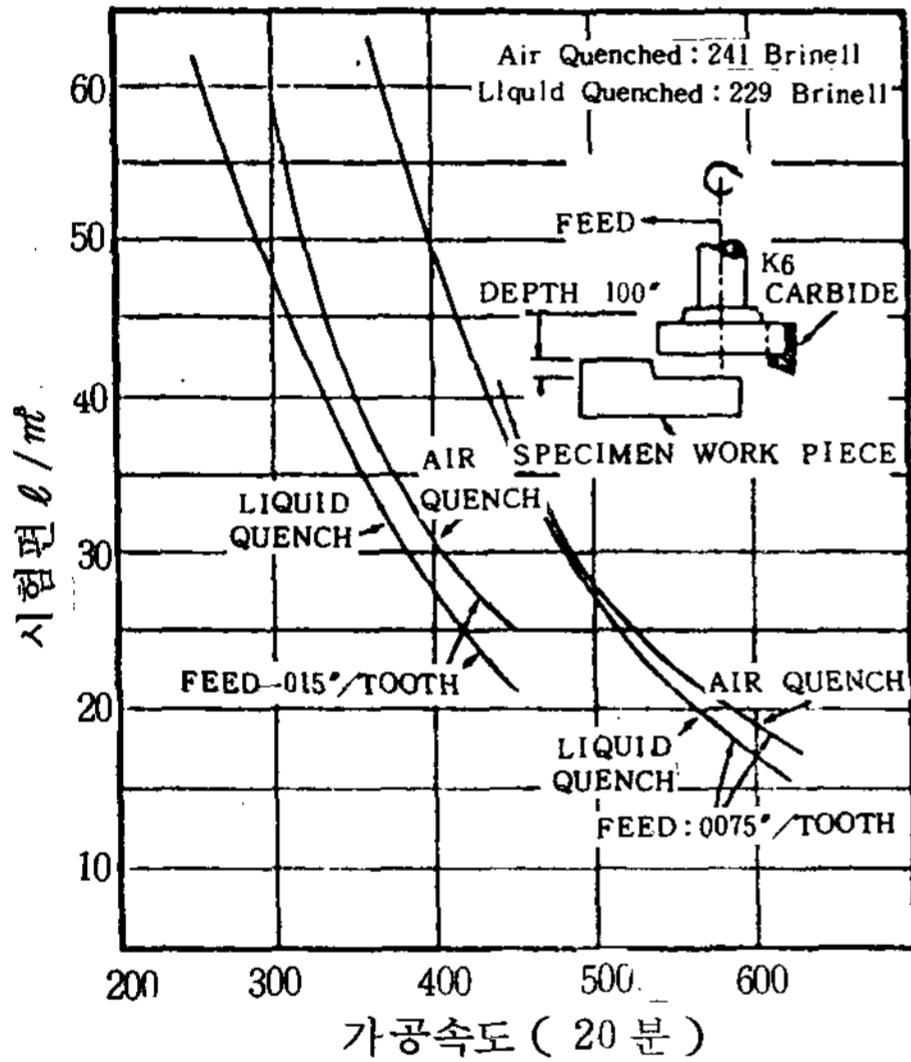


그림 9. 퍼얼라이트 가단주철의 밀링시공구수명시험

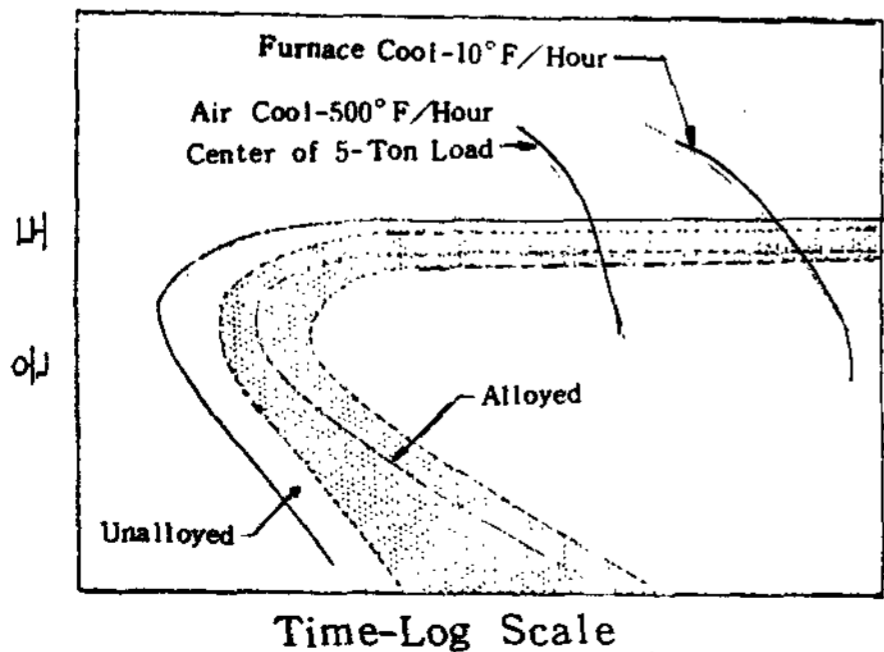


그림 10. 퍼얼라이트 가단주철의 T-T-T곡선

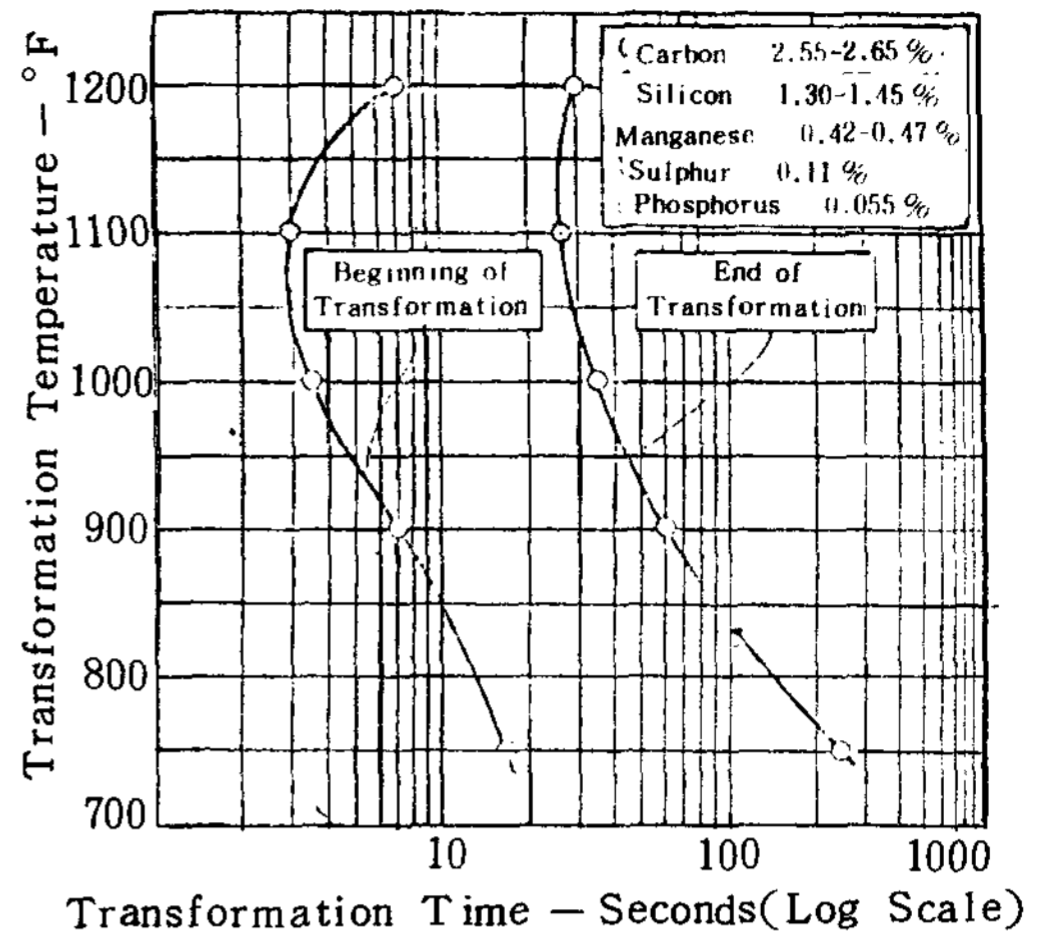


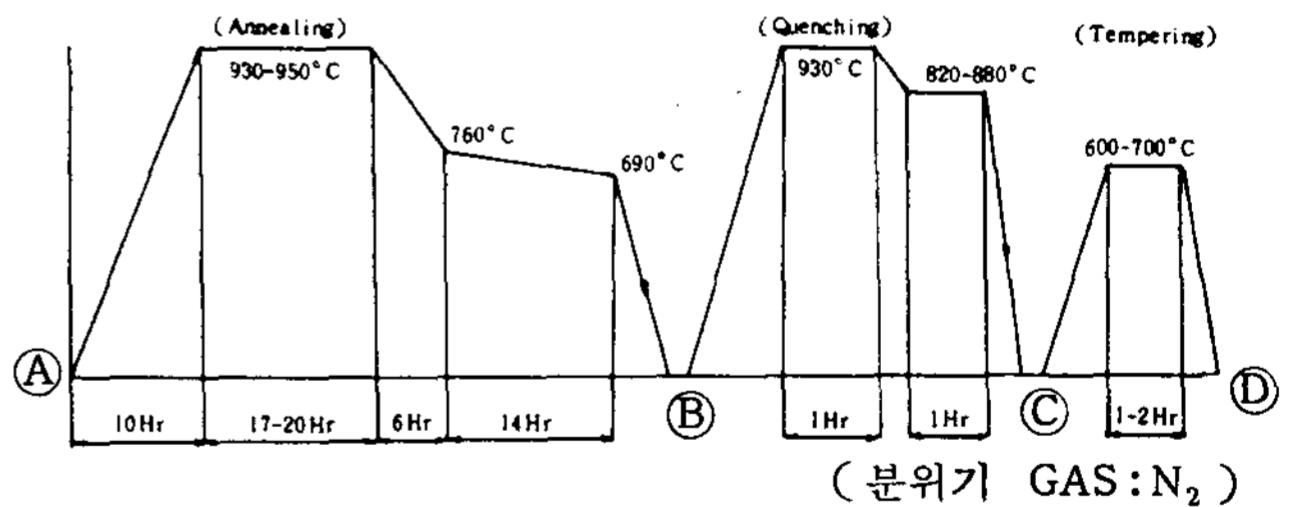
그림 11. 퍼얼라이트 가단주철의 항온 변태곡선 (TTT Curve)

정을 밝는다.

그리고 그림 10, 11는 quenching時 온도, 시간에 대한 변태(TTT圖)인데 냉각속도에 따른 pearlite化 개시점(P_s)과 완료점(P_f)을 알수 있다.

3-1. 黑心可鍛鑄鐵을 일단 A_1 點 이상 재가열하여 austenite化 시킨 後 oil quenching 하는 方法.

a) 熱處理 cycle.



b) 組成 및 物性

C	Si	Mn	P	S	Cr
2.40-2.70	0.80-1.40	0.40-0.80	> 0.10	> 0.12	> 0.04
引張強度 : < 55 kgf/mm ²		延伸率 : < 3%		Brinell 硬度 : 197-220	

c) Matrix (熱處理 cycle 中の 各點 사진 1의 A, B, C, D 조직) (사진 1)

3-2. 제 1 단 黑鉛化 後(제 2 단 黑鉛化 생략) A_1 點 이상에서 oil quenching 또는 air cooling 하는 方法

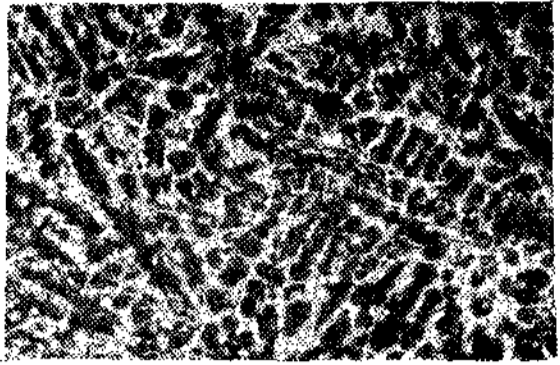
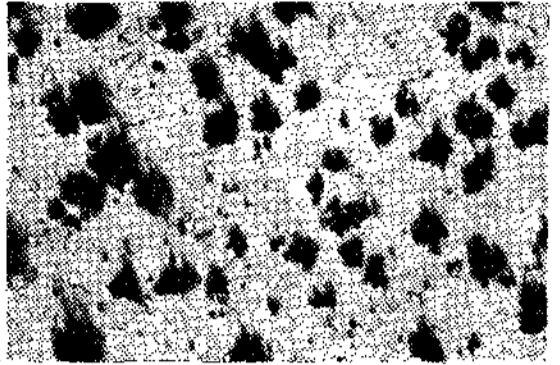
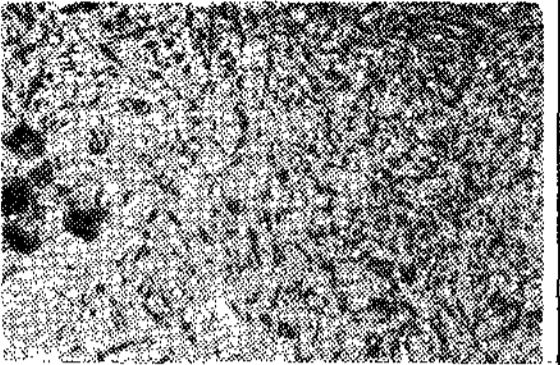
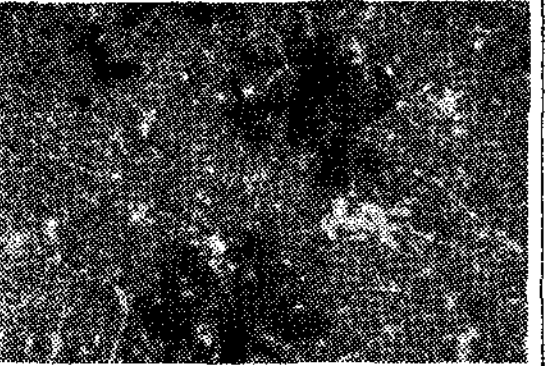
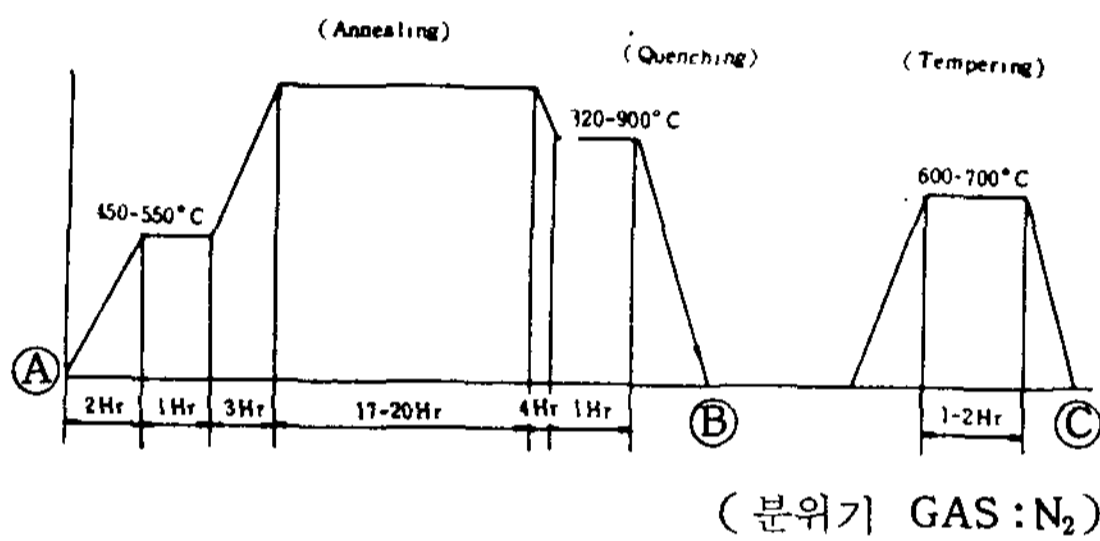
			
A × 100	B × 100	C × 400	D × 400
<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 흰부분 : Ledeburite • 검은부분 : Pearlite 	<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 흰부분 : Ferrite 	<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 基地 : Martensite 	<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 基地 : Pearlite

사진 1. 현미경조직사진

a) 熱處理 cycle



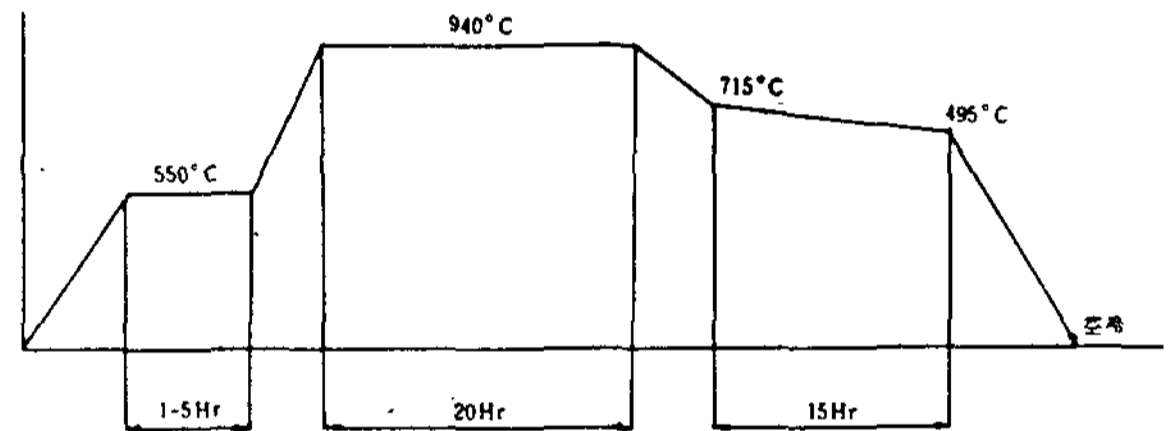
b) 組成 및 物性

C	Si	Mn	P	S	Cr
2.40-2.70	0.8-1.40	0.40-0.80	>0.10	>0.12	>0.04
引張強度 : < 55 kg f / mm ²		延伸率 : < 3%		Brinell 硬度 : 200-220	

c) Matrix (熱處理 cycle 中の 各點 사진 2 의 A, B, C 의 조직) (사진 2)

3-3. 炭化物 안정제로서 合金元素를 첨가하고 제 2 단 黑鉛化를 行하는 方法

a) 熱處理 cycle



b) 組成 및 物性

C	Si	Mn	P	S	Cr
2.48	1.10	0.60-1.58	0.054	0.110	0.047

其他 組成은 一定하게 하고 Mn 含量만 變化시킬 때 物性值의 거동은 다음과 같았다.

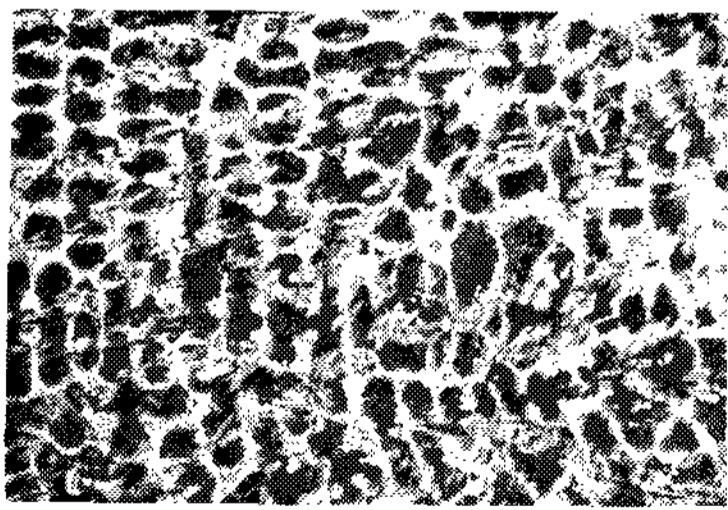
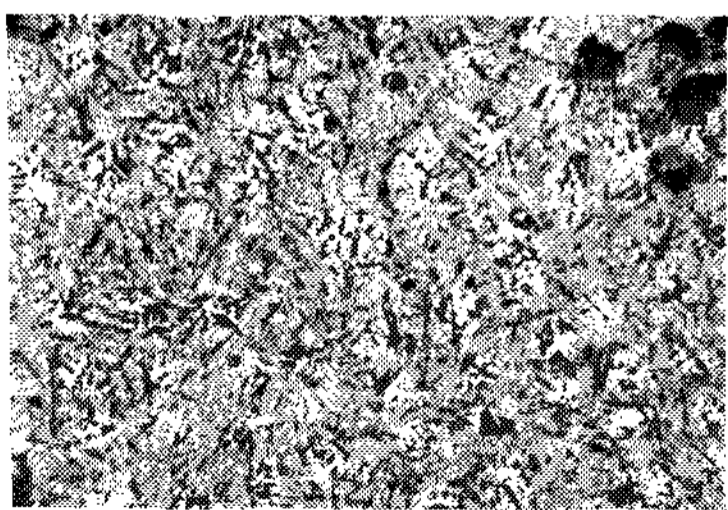
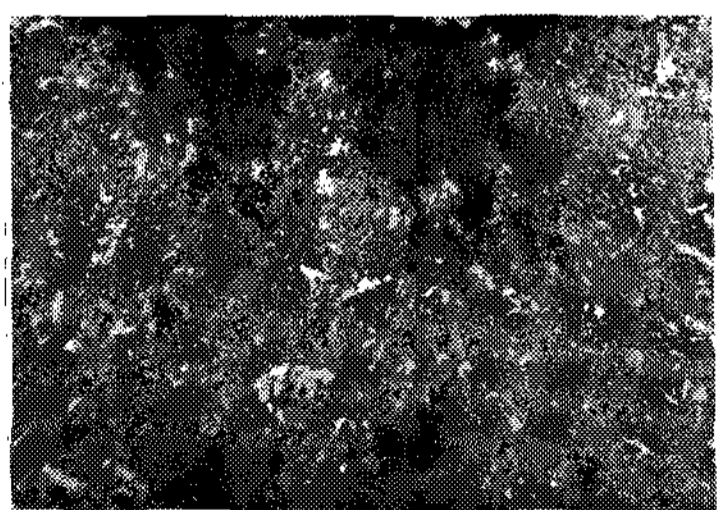
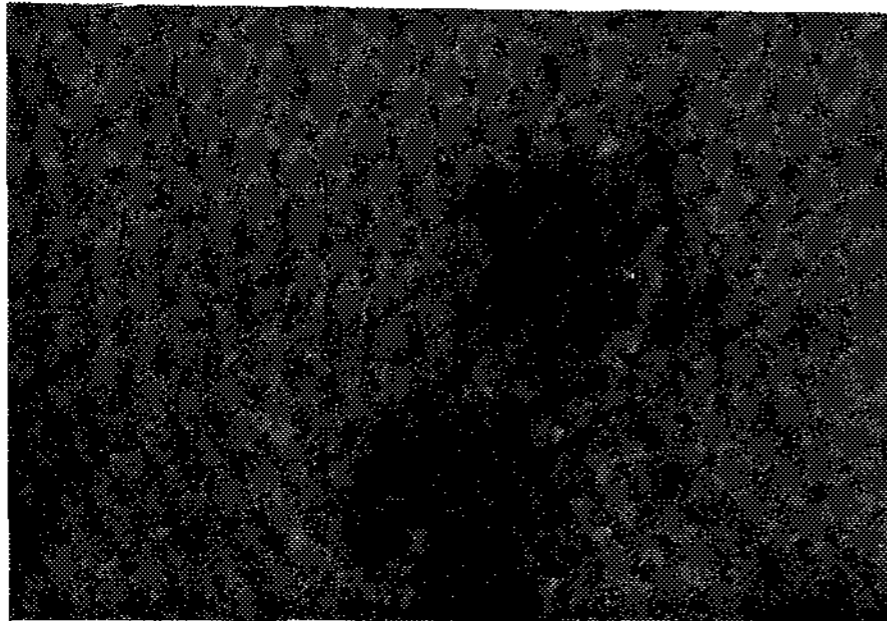
		
A	B	C
<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 흰부분 : Ledeburite • 검은부분 : Pearlite 	<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 基地 : Martensite 	<ul style="list-style-type: none"> • Etchant : 3% Nital • 基地 : Pearlite

사진 2. 현미경조직사진

Mn (%)	0.60	0.85	1.02	1.20	1.44	1.58
Brinell 硬度	137	179	187	207	212	217
引張強度 (kg/mm ²)	40.9	53.1	56.4	56.1	-	-
延伸率 (%)	5.6	5.4	4.8	4.6	-	-

c) Matrix



× 400

• Etchant : 3% Nital • 基地 : Pearlitic

사진 3. 현미경 조직사진

4. 製造工程上の問題點

4-1. 우선 當社の 製造방법은 3-1과 3-2의 方法으로 製造되고 있으며 3-1의 方法이 3-2의 方法보다는 經濟的인 것으로 判단되었다. 그러나 3-2의 方法은 3-1의 方法보다 工程管理, 品質保證 面에서 유리하나 熱處理爐의 小型化로 生産性은 3-1의 方法이 보다 유리하다. 앞으로 品質보증, 原價절감을 기할 수 있는 3-2 方法의 연속식 大型 열처리爐의 設置 계획을 세우고 있다.

Pearlitic Malleable Iron 製造상 物性에 미치는 主要工程管理은 제 1단 黑鉛化, 黑鉛 nodule의 管理, crack 발생의 要因인 pearlite rim의 발생방지 등인데 이것들에 관하여 詳論코자 한다.

4-2. 제 1 단 黑鉛化

自銑을 A₁ 변태온도 이상으로 加熱하여 相當時間 유지하며 白銑 中の cementite가 분해하여 黑鉛(temper carbon)을 形成 한다. 黑鉛化 因子는 아래에서 간략히 기술한다.

a) 化學成分에 의한 영향

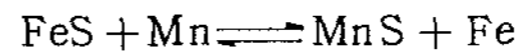
① C과 Si

Pearlitic Malleable Iron에서 C와 Si은 매우 重要한 成分이며 양자는 매우 밀접한 관계가 있다. C, Si 含量이 함께 높으면 凝固時 黑鉛化가 助長되고 mottle

발생 확률이 높다. 그러나 Si이 너무나 낮게되면 白銑化는 쉽지만 열처리시 黑鉛化 저해 要因이 된다. Si 含量이 높으면 燒鈍시간은 급격히 짧아진다. 통상 C은 2.4-3.0%로 하며 Si은 0.9-1.4%가 요구된다. 따라서 CE 値는 3.5-4.0 정도의 범위에서 정해진다.

② Mn과 S

Mn과 S는 단독으로는 黑鉛化阻害作用을 하며 양자는 매우 밀접한 관계가 있다. 그러나 S를 Mn과 反應式은 아래와 같다.



③ 그 외 원소의 영향

a) 黑鉛化 阻害劑

弱 : S存在下에 있는 Ce, La, Se, 微量의 Te

中 : Mo, W, Mn, Bi

强 : 0.1% 以上の B, V, S, Cr, Sn, Zn, As

b) 黑鉛化 促進劑

弱 : Sb, Co, Cu, P, V, Zr

中 : 0.1% 以下の B, Ni, Ca

强 : Al, Si, Ti, 적정량의 B.

a) 熔解溫도의 영향

용해온도를 높이는 일은 燒鈍時 黑鉛化를 촉진한다. 1540℃에 주입하여 燒鈍한 것과 주입온도를 변화하였을 때의 燒鈍時間의 비교는 다음과 같다.

가 열 온도(℃)	1600	1650	1705	1760
燒鈍시간의 감소율(%)	12	27	43	48

c) 脫酸處理의 영향

白銑 中の 微量 O₂는 炭化物의 安定化에 영향이 크지만 이것은 Al, Ti, V, B, Mg 혹은 H₂ 등의 脫酸劑로 용해시 탈산하면 黑鉛化 時間은 단축된다.

d) 주입온도의 영향

주입온도는 비교적 高溫일 때 보다는 低溫일 때가 제 1단, 제 2단 黑鉛化 時間이 길어지고 小物, 薄物 등은 高溫, 低溫 똑같이 黑鉛化가 빠르다.

e) 鑄物 두께의 영향

鑄物의 두께가 커짐에 따라 冷却速度가 느리게 되어 cementite가 크게 되고 따라서 黑鉛化 時間은 길어진다. 같은 두께라도 鑄物의 형상, 鑄造방안, 복잡성 중자의 유무 등에 의해 冷却速度에 현저한 차이가 있다는 것을 명심해야 한다.

f) 鑄型의 영향

鑄入 후의 冷却速度를 빠르게 하는 것은 cementite를 미세하게 하여 鑄入을 한 것 같은 效果도 나타낼 수

있기에 黑鉛化 時間을 현저히 단축해 준다.

g) 燒鈍溫度에 의한 영향

제 1 단 黑鉛化의 유지온도가 높을수록 黑鉛化 時間은 단축된다. 燒鈍保持溫度에 대한 黑鉛化 時間은 아래와 같다.

燒鈍保持溫度(℃)	1050	1000	900	860	720
黑鉛化 時間	15分	6시간	24시간	50시간	73日

그러나 실제로는 耐火物의 소모등의 제한을 받으므로 적당한 燒鈍溫度가 必要하다.

h) 可熱速度에 의한 영향

제 1 단 黑鉛化 소둔온도에서 가열속도의 영향은 가열속도가 느릴 때는 黑鉛 Nodule 수가 증가하고 제 2 단 黑鉛化 時間이 단축되며 승온과정에서 예비소둔을 行할시 (400-550℃) 서서히 가열하는 것과 同一한 효과를 가진다.

i) 燒鈍雰圍氣의 영향

燒鈍爐 內的 분위기가 中性, 酸化性 또는 加炭性 인가에 따라서 燒鈍時間, 製品의 狀態가 달라진다.

4-3. 黑鉛Nodule의 管理

黑鉛 nodule의 管理는 黑鉛의 입도가 40-80 μ일 때 耐摩耗性이 가장 좋다고 알려져 있다. 黑鉛 nodule에 영향을 미치는 因子에 대하여 기술한다.

a) 化學成分에 의한 영향

S가 MnS의 형태로 나타나면 흑연 nodule의 構造는 작은 편상흑연이 無秩序하게 배열한 형태로 되나 S가 유리 FeS로 존재할 경우 黑鉛構造는 球狀이 된다.

① 黑鉛 nodule을 증가시키는 元素

强 : Al, B, Co, Cu, Si, Zn

中 : Ca, P, 0.12%이하의 Na, Ti, Zr

弱 : Bi, Ni

② 黑鉛 nodule을 감소시키는 元素

H₁, Mn₁, N₂, 0.2%이하의 S, 0.2% 이상의 V, Mg

b) 주입온도에 의한 영향

주입온도가 높을수록 흑연 nodule 수는 증가한다.

c) 冷却條件에 의한 영향

흑연 nodule의 크기는 두께가 두꺼운 편이 크며 黑鉛 상호간의 거리가 커진다.

d) 燒鈍時 승온에 의한 영향

제 1 단 黑鉛化 온도는 加熱時 서서히 가열하는 것이

黑鉛 nodule 수를 증가시킨다. 제 1 단 黑鉛化 保持溫度에 의 승온무렵 A₁點 이하의 적당한 온도로 일정시간 유지하는 것은 加熱速度를 적게한 것과 같은 효과를 가진다.

4-4. Pearlite rim 발생에 영향을 미치는 조건을 熔湯의 條件, 鑄造條件, 燒鈍條件의 3가지로 나누어 기술한다.

a) 熔湯의 條件

① 白銑의 흑연화에 쉬운 元素의 증가에 의해서는 pearlite rim의 발생은 어렵게 되며 흑연화 방해 원소가 첨가되면 rim의 두께가 두껍게 되는 경향이 있다.

② 熔湯에서 밀스케일 첨가와 용탕의 酸化는 rim 발생을 촉진하고 脫酸에 사용되는 Al을 용탕에 첨가하면 rim을 감소시킬 수 있다.

③ 化學成分에 의하여 흑연 nodule 수가 증가하지만 nodule 수가 증가하면 흑연화되기가 쉽고 따라서 rim도 적다.

b) 鑄造條件

鑄物砂 中에 石炭粉, 코오크스粉, 유황粉을 첨가하면 rim은 두꺼워지고 한편 水分이 매우 많을 때와 冷金을 사용했을 때는 rim이 감소하는 것을 알 수 있다. 塗型에 의해 rim을 감소시키는 것을 알았으나, 주조조건에 의한 영향은 그 白銑의 소둔조건에 비해 현저하게 적음을 알 수 있다.

c) 燒鈍의 條件

① 燒鈍時 進行의 종류에 따라 여러가지 형태의 rim이 발생하고 환원 분위기를 만드는 것이 rim의 발생을 방지하는데 도움이 된다.

② 제 1 단 흑연화 소둔온도가 높을수록 또 그 유지시간이 길수록 rim의 발생이 많아진다.

③ 제 2 단 소둔시간이 길수록 pearlite rim을 감소시키는 경향이 있고 불활성 분위기가 되면 rim 부위의 pearlite의 흑연화가 양호하다.

④ 예비소둔시간은 rim 발생 방지에 효과가 있으나 그 온도가 너무 높거나 또는 유지시간이 10時間 이상이 되면 역으로 rim 발생을 촉진시킬 수 있다.

⑤ rim의 발생은 제 1 단 소둔 초기의 脫炭이 가장 크게 영향을 주어 그 발생을 촉진하는 것으로 인정된다. 결국 Pearlitic Malleable Iron의 발생은 탈탄과 흑연화의 양자에 상호관계가 더욱 같고 이것이 적당히 균형이 되는 것이 필요하며 주조시 그리고 소둔시 탈탄을 방지하고 될 수 있는대로 흑연화가 쉬운 방향으로 成分, 용량처리, 주조조건 및 소둔조건을 갖추는 것이 rim 발생의 방지에 있어 중요하다.