

論 文

高磷, 高硅素 球狀黑鉛鑄鐵의 機械的 性質에 關한 研究

金 夏 榮*

A Study on the Mechanical Properties of High-P, High-Si Ductile Cast Iron

Ha-Young Kim*

Abstract

In this study the mechanical properties of ferritic ductile cast iron in as-cast are discussed by metallographic considering the effect of phosphorus content(about 0 - 0.8wt. %).

In ferritic S.G. cast iron containing about 4.2wt. % Si, 0.5wt. % Ni, 0.02wt. %B, these samples are investigated for castability, microstructure, machinability, wear resistance, mechanical and thermal properties.

The main results are summarized as follows.

- 1) The chill depth increased greatly with P addition up to about 0.6wt. % but the tensile strength and the elongation are decreased smoothly.
- 2) The size of S.G. and the amount of steadite increase with increasing P content. This means the tendency of increasing the number of S.G.
- 3) The maximum value of wear by mechanical fracture was appeared at the abrasion speed of 1.14m/sec and the plastic flow layers are stretched longly on th wear surface with decreasing P content.
- 4) Although the coefficient of thermal expansion increased with P addition, the cast iron growth was slowing down extremely at 0.6wt. % P or more.

1. 緒 論

鑄鐵은 鋼과 黑鉛의 複合的인 性質을 갖는 材料로서 合金元素의 적절한 添加로 부터 黑鉛의 形狀, 크기, 量 및 그 分布狀態, 또한 matrix의 特性이나 化合物의 分布에 따라 機械的 性質 및 生産性의 向上을 가져 올 수 있으며, 값싼 元素를 利用하여 간편한 方法으로 좋은 結果를 얻을 수 있다는 점에서 工業的으로 매우 有用하다. 球狀黑鉛鑄鐵을 對象으로 한 研究들은 最近에 와서 鑄放狀態에서 페라이트(ferrite)基地를 갖는 DCI의 製造, 加工性, 元素의 영향, 延性 및 耐久性 그리고 에너지 절약의 문제등에 높은 관심을 보여왔다.^{1)~4)}

球狀黑鉛鑄鐵用 高純度 鑄物用銑으로 제조되는 구상흑연주철은 球狀化能이나 靱性에 관계되는 鑄放 페라이트化가 아주 뛰어나며⁵⁾, 부족한 耐力은 Ni이나 Mo등을 添加, 補完함으로서 高級, 高耐久性 鑄造品인 roller, 선박용 엔진, 고압용기, 鐵道用 brake shoe⁷⁾, lift chain等에 널리 利用되어 왔다.

本 實驗은 高純度用銑(POSCO產, D.C grade)의 特徵을 살려 이에 미량의 Ni(약 0.5wt. %)과 B(약 0.02wt. %)을 넣어 ferrite 基地強化와 함께 耐熱·耐磨減 特性을 부여하고⁸⁾ 炭素와 硅素를 各各3.8 및 4.2wt. % 부근으로 하여 페라이트化와 함께 절삭성 의 향상⁴⁾을 꾀하였다. 高純度用銑의 純粹效果는 널리 알려진 바와 같이 페라이트化 를 억제하는 Mn의 含量을 적게하고, 粒界에 편석하는 不純元素를 제거하여 미량 合金元素의 效果的인 利用과 잔류 Mg

대전공업대학 (Dept. of Metallurgical Eng. Taejon National Univ. of Technology)

* 본논문은 1987. 11. 7 추계학술 발표시에 발표된 내용임.

의 影響을 적게 하는데⁹⁾ 있으므로, 본 研究에서는 저렴한 경비와 손쉬운 방법으로 鑄放基地를 強化시키면서 磷의 含量을 0.05, 0.2, 0.4, 0.6 및 0.8wt. %로 5단계 변화를 시켰을 때 각 시료들의 鑄造性(유동성 및 칠 깊이), 절삭성, 내마멸성 및 열적, 기계적 성질등을 조직학적인 관점에서 비교, 고찰해 봄으로써 鑄放狀態에서 ferrite基地를 갖는 高磷, 高硅素 球狀黑鉛鑄鐵의 實用性 與否와 그 基礎資料를 提示 하고자 하였다.

2. 實驗方法

2.1 試料의 製造

球狀化能이 좋은 구상흑연주철용선을 원료 지급으로하여 steel scrap, Fe-75%Si, Fe-15%B, 金屬Ni, 가탄제를 50KVA 고주파 유도로에 熔解시켰을 때 目標組成이 3.8%C, 4.0%Si, 0.3%Mn, 0.5Ni, 0.02%B 및 0.02%S 부근이 되도록 하고 이것에 P의 含量을 0, 0.2, 0.4, 0.6 및 0.8wt.%의 5단계로 변화시켰으며, 약 1500℃ 부근에서 탈황처리를 하고 plunger法에 의해 球狀化處理를 해 주었다. 구상화제는 A社 製品(Fe-48%Si-4.5%Mg)을 使用하여 잔류 Mg量이 0.04wt.%가 되도록 하였으며, 처리 직후 Fe-75%Si (0.6wt.%)으로 後接種을 하여 충분히 교반시킨 다음, 용탕을 Y-type Co₂ mould, 강제 칠주형, 선회형 유동성 시험 주형 및 열적시험용 주형에 각각 주입하여 본 연구의 시료로 사용하였다. 이와같이 주조된 시료의 화학성분은 Table 1과 같다.

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

Comp. No.	C	Si	Mn	S	Mg	Ni	B	P
1	3.82	4.24	0.23	0.03	0.039	0.50	0.02	0.05
2	3.77	4.30	0.25	0.03	0.041	0.52	0.019	0.21
3	3.8	4.18	0.22	0.02	0.037	0.49	0.02	0.39
4	3.80	4.22	0.24	0.02	0.038	0.51	0.02	0.58
5	3.78	4.25	0.23	0.03	0.040	0.51	0.019	0.81

2.2 鑄造性 試驗

시료의 주조성을 알아보기 위하여 유동성 시험과

칠깊이를 조사 하였으며 磷의 含量에 따라 각 용탕을 구상화처리후 일정온도(1380~1400℃)에서 강제칠 mould 및 선회형 유동성시험 mould에 주입하였다. chill깊이는 연마된 각 시료들을 5%-nital 용액에 macro-etching한 다음 금속현미경으로 부터 저배율하에서 그 값들을 比較하였으며, 유동성은 선회되어 응고된 길이들을 比較하여 나타내 보았다.

2.3 機械切削性 試驗

本 實驗에 使用된 試驗裝置를 Fig.1에 나타냈다. Y-block에 주조된 試料를 $\phi 15 \times 150$ mm로 가공한 다음 선반에 고정시키고 스트레인 게이지를 이용한 工具動力計로 부터 主分力(main force, tangential force), 移送分力(feed force, axial force), 背分力(thrust force, normal force)을 測定하였다. 切削工具動力計는 Tokyo Testing CO.의 model TSM-TH1104를 사용하였으며 절삭속도 (V)32.499m/min, 이송속도 (feed) 0.1mm/rev, 절삭깊이(d) 0.5mm, chart speed 50cm/min 로서 加工 바이트(bite)는 대한중석 KT 200을 이용하였다.

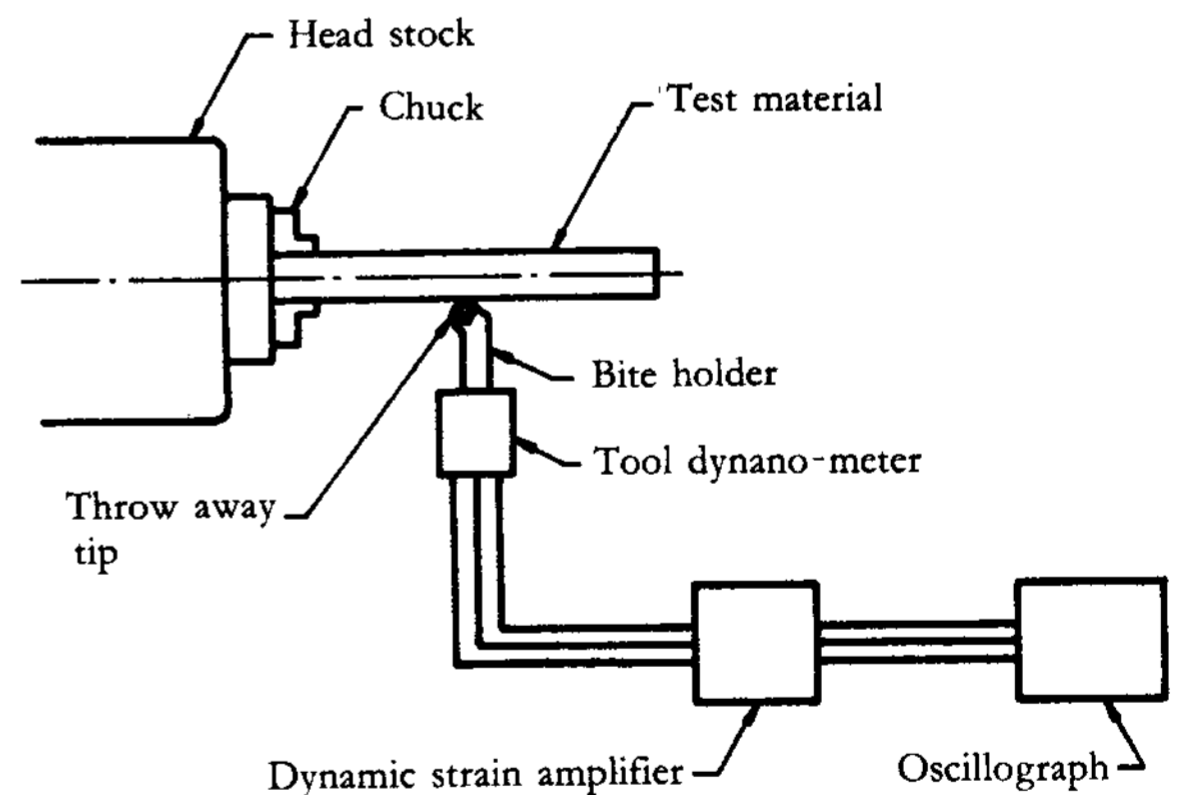


Fig. 1 Apparatus of tool dynamometer

2.4 磨滅試驗

磨滅試驗에 使用된 장치는 Ogoshi, model OAT-U형 (고속도 만능 마모시험기)으로 Fig.2는 시험의 장치도를 나타낸 것이다. 준비한 시료를 固定試料로, 相對材料로는 S45C를 사용하여, 각각 表面거칠기를 Rmax. 1 μ m이하로 하고 아세톤으로 탈지, 세척

한 다음 건식조건으로 시험하였다. Fig.2에서 固定試料의 마멸량은 W부분 (빗금친 부분)의 體積이 되며, 마찰거리 100m, 최종하중 6.3 kg의 試驗條件으로 마찰속도를 0~4.4 m/sec 까지 변화 시키면서 각각의 속도에서 마멸특성을 조사하였다. 마찰면의 硬化層과 塑性流動層은 ISI supper IIIA, SEM 으로 倍率 350×하에서 관찰하였다.

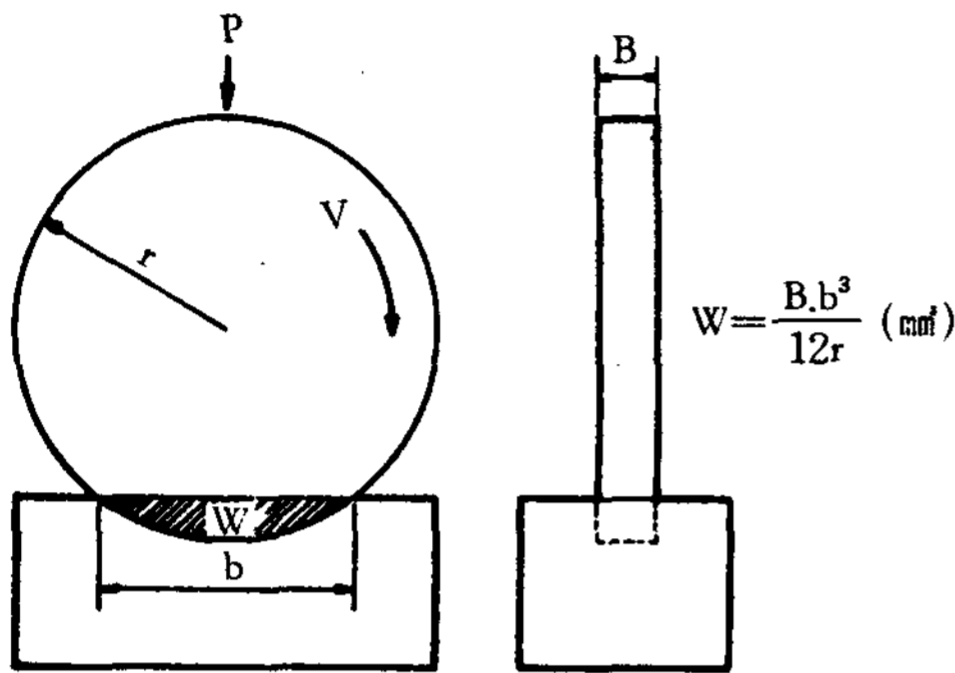


Fig. 2 Apparatus for wear testing with revolving disc

2.5 熱的試驗 (열전도도 및 열팽창시험)

2.5.1 熱傳導度試驗

열전도도는 정상상태 측정법의 일종인 Tokyo Meter CO., HVS-40-300SDS의 접촉열저항식 측정장치를 이용하여 Fig. 3과 같은 2개의(t₁=4, t₂=2) 시편으로부터 150℃ 및 250℃에서의 값들을 구하였다.

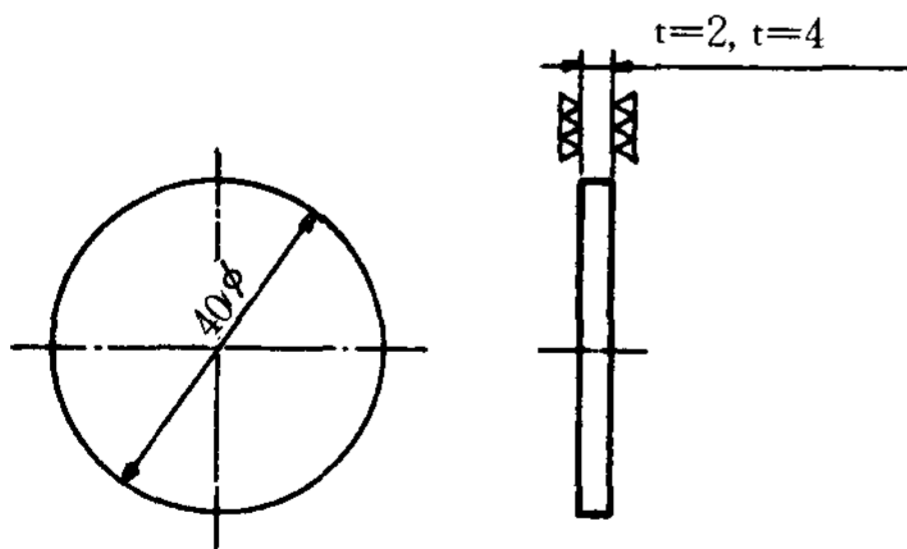


Fig. 3 Specimen for thermal conductivity test

2.5.2 熱膨脹試驗

Y-block에서 採取한 試料를 φ5×15mm로 加工한 다음 석영가열관內에서 10℃/min의 가열속도로 20~600, 20~760 및 20~870℃의 온도 구간으로 각각

가열하여 그 結果로 부터 成長開始溫度, Acl 變態溫度, 熱膨脹係數등을 조사하였으며, 또한 주철의 成長을 알아보기 위하여 600~900℃구간에서 가열, 냉각을 3회 반복 실시하여 산화성 분위기에서의 P의 영향을 조사하였고 사용한 시험장치는 SINKU-RIKO, ULVAC TA-1500 이었다.

2.6 硬度 및 強度試驗

鑄鐵에서의 硬度는 各相이 갖는 固有硬度의 조합인 平均硬度가 重要하므로 이들의 平均硬度값을 얻기 위한 브리넬값 (10/3000)을 얻었고 各相에 對한 micro-vickers 경도로 부터 ferrite 및 스테다이트(steadite)量에 따르는 變化를 조사하였다.

引張強度의 測定은 Shimadzu CO.의 25T- UTM으로 인장속도 0.5mm/min을 이용으며 각 시료의 破斷面 조직사진(SEM)을 비교하여 基地의 silico-ferrite 및 界面에서 의 破斷양상을 관찰해 보았다.

3. 實驗結果 및 考察

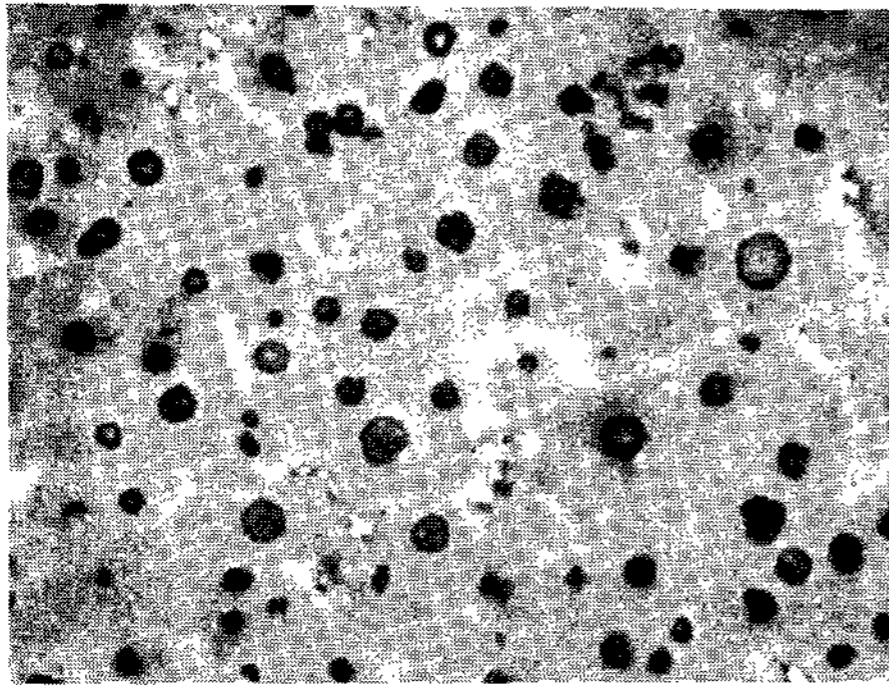
3.1 顯微鏡組織 觀察

鑄放狀態에서 ferrite基地를 갖는 球狀黑鉛鑄鐵에서 P의 含量을 變化시킨 試料別 顯微鏡組織은 Photo. 1과 같다. 약 0%P에서 0.8%P까지 5단계 변화로부터 P(wt.%)의 증가에 따라 구상흑연의 크기와 steadite의 量은 증가하였으며 구상흑연의 수는 감소하는 경향을 보였다. Fig. 4는 Photo.1을 定量的으로 圖示한 것이고, 구상흑연의 수는 100배의 현미경 조직사진으로부터 1 in²內에 있는 수로서 나타내었으며, 그 크기는 한 시야내에 있는 흑연중 크기가 큰 순서로 20개의 흑연을 선정하여 그 직경을 평균값으로 나타낸 것으로서 steadite의 量은 Heyn의 점 측정법¹⁰⁾에 의한 面積比로서 구하였다.

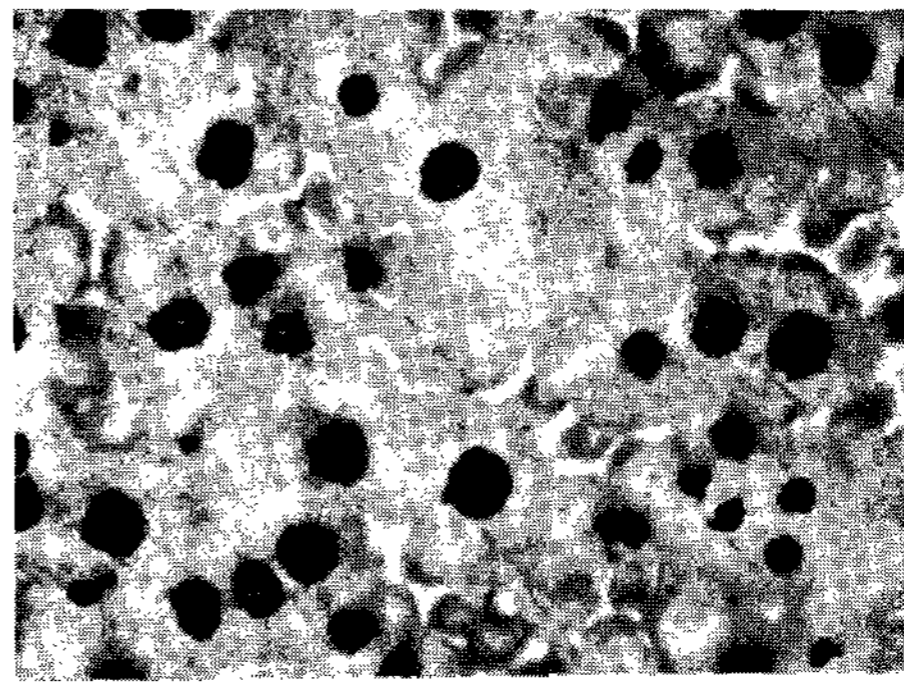
이와같은 결과는 구상흑연주철의 응고과정에 대한 最近의 研究에서^{11~12)}다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 용탕이 냉각되면서 용체중에서 구상흑연이 직접 정출되며 곧 오스테나이트 셸(austenite shell)에 의해 둘러 쌓이게되고 공정응고가 진행됨에 따라 共晶 셸(cell)은 성장하면서 불순물이 석출될 것이다. ¹³⁾또한 불순물은 粒界부위에서 농축되어 이 부분의 용점을 저하시킴으로서 액상의 통로를 만들어 ¹⁴⁾탄소의 확산경로로 작용하게 될 것이며, 본 시

료의경우 과공정조성의 구상흑연주철이 갖는 높은 MDE(Mushy Degree of Eutectic Solidification)¹⁵⁻¹⁶⁾로 인하여 공정응고시간이 길어지고 특히 P함량이 증가함에 따라 그 경로는 탄소의 확산을 충분히 하여 흑연의 성장을 도우는 것으로 思料된다. P화합물의 입계정출로 부터 Fe-Fe₃C-Fe₃P의 三元共晶인steadite 量도 차츰 증가 되었으며, 이것은 P함량의 10部 程度에 이르는 steadite를 生成한다는 說¹⁶⁾과 잘 일치하는 것으로 나타났다. P는 순수한 ferrite중에 1.7%까

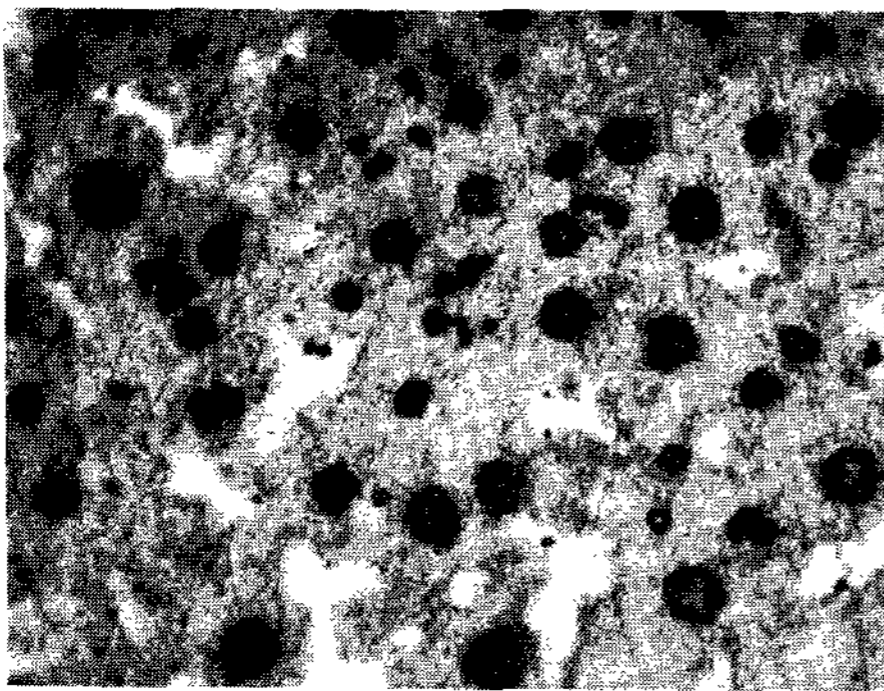
지 固容되나 Si의 含量을 많이 갖는 silico-ferrite基地 에서는 P의 고용도가 적게되며 P의 입계편석으로 인하여 steadite의 냉각속도가 늦어지는 경우 Fe₃C의 析出이 어려우므로 Fe-Fe₃P만의 二元共晶으로 되기 쉬우나 B첨가의 경우 일단 얻어진 Fe₃C는 B을 용해하며 Fe₃(CB)로 되던가¹⁷⁾ Fe₃C에 비해 훨씬 높은 Fe-Fe₂B 共晶温度(1174℃)를 갖는 正方晶이 얻어 지므로⁸⁾ 그것들이 입계에 넓은 初晶面을 갖는것으로 알려지고 있다. Fe₃(CB)및 Fe₂B의 확인은 피크



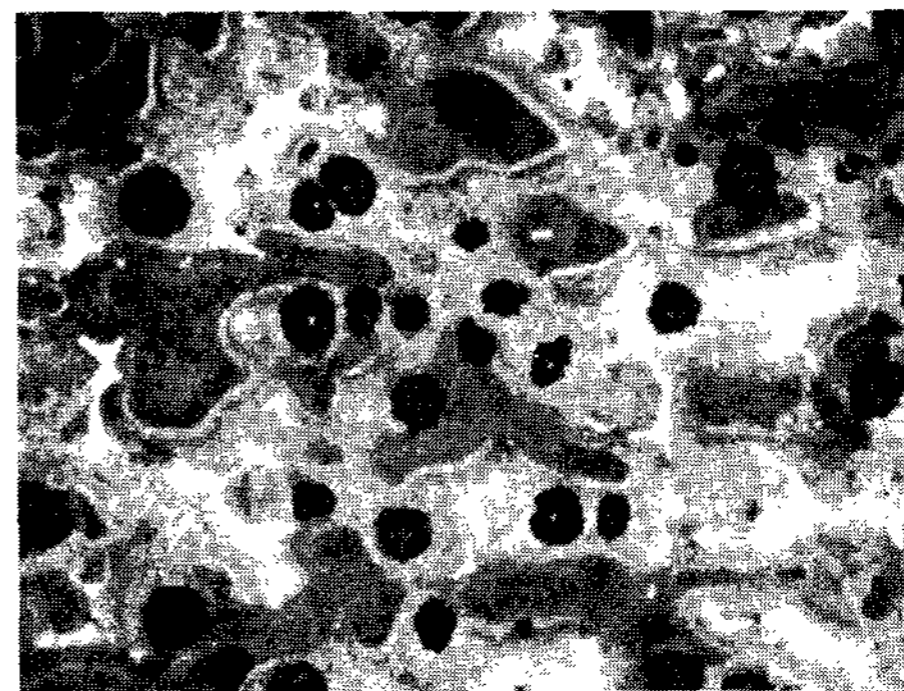
(a)



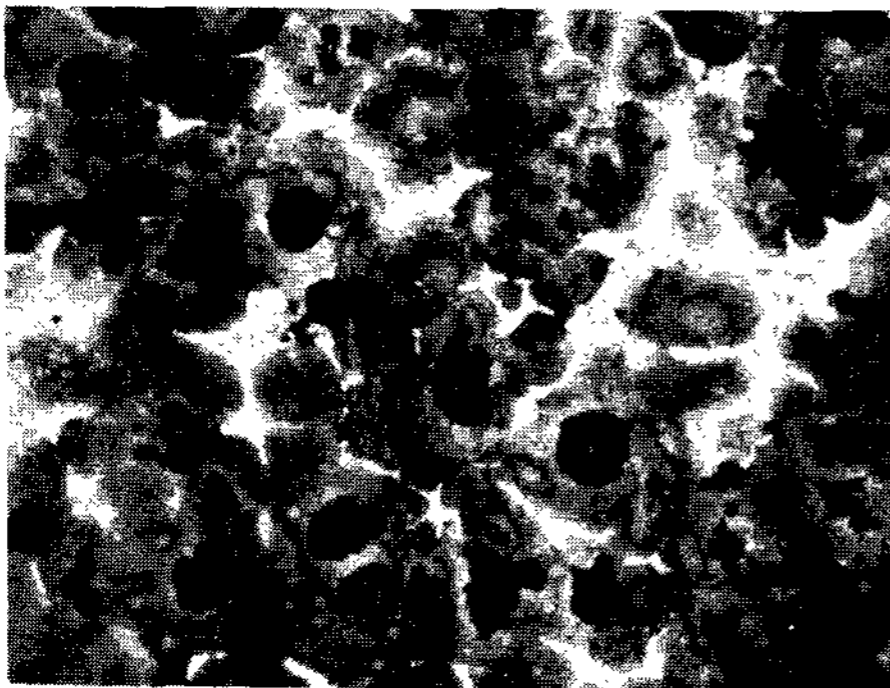
(b)



(c)



(d)



(e)

Photo. 1. Microstructure of D. C. I according to P content (X100, Klemm 1 color enchant) etchant)

(a) 0.05% P (b) 0.21% P

(c) 0.39% P (d) 0.58% P

(e) 0.81% P

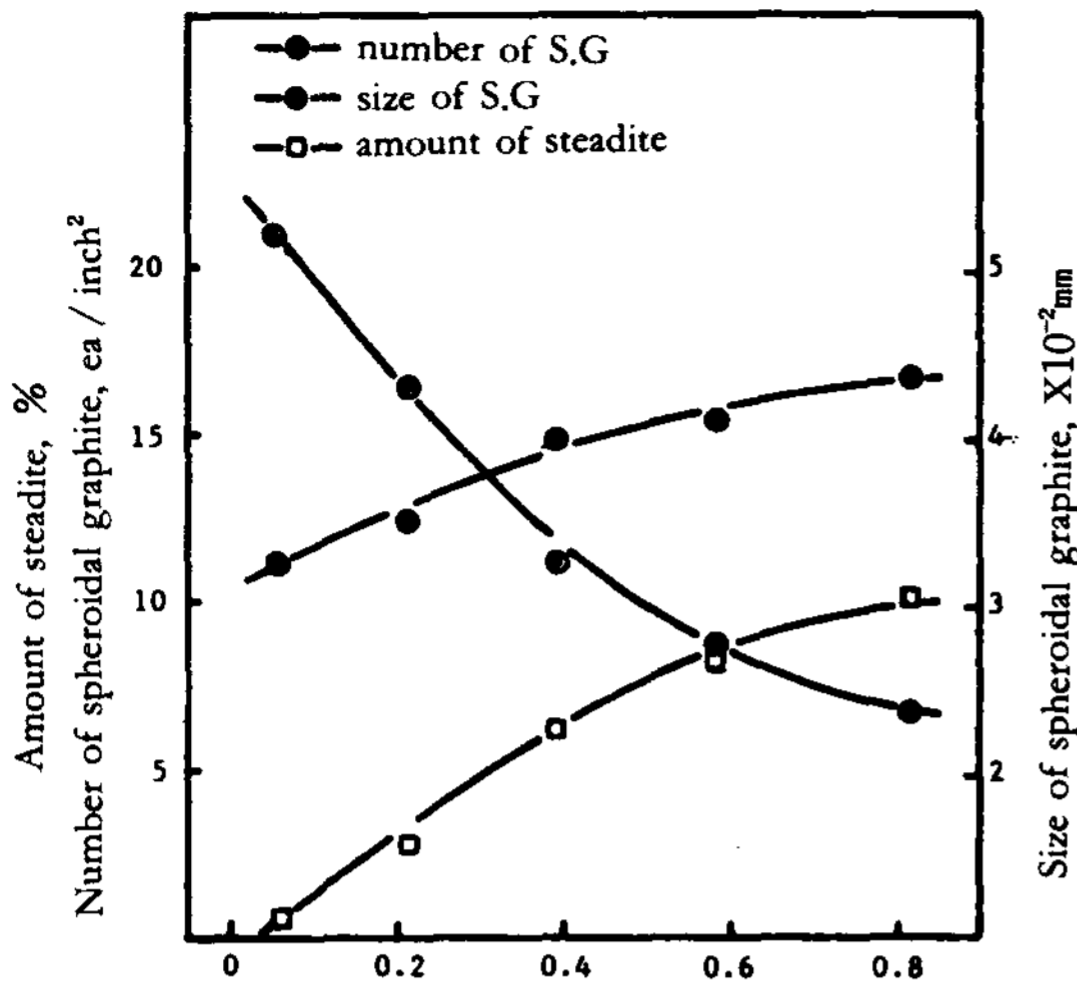


Fig. 4 Effect of P content on the size and number of spheroidal graphite, amount of steadite

린산나트륨용액 (Alkaline Sodium Picrate)⁸⁾으로 부터 홍자색으로 확인 될 수 있었다.

Photo.1은 Klemm 1 color 부식액(과포화 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 수용액 + $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$)¹⁷⁾을 이용하여 약 4~5분간 부식 시킨 조직사진으로 ferrite 기지에서의 Si 농도(구상흑연 주위는 Si의 농도가 높으므로 강한 청색을 가지며 입계쪽으로 갈수록 연한 청색으로 그 농도가 낮아짐), ferrite 中 P 편석 (Yellow~white), 공정 인화물 및 cementite (부식되지 않음)의 확인이 가능하였으며 본 논문에는 흑백으로 게재되었다.

3.2 鑄造性

선회형 유동성 시험과 강제·칠시험에서 얻어진 구조성의 결과를 Fig.5에 나타내었다. 0.4%P까지의 유동성 증가는 Fe-Fe₃C-Fe₃P의 三元共晶 응고가 980℃ 부근에서 일어남에 따라 저융점 액상이 완전한 응고층을 형성하는 시기가 늦어지므로서 나타나는 현상이며, 이는 이미 응고된 기지조직의 결정사이에서 채워져 응고되는 steadite의 불가사리 모양에 관련이 있다. chill깊이에서는 응고속도와 ferrite安定化에 관련되는 P함량의 범위가 0.2%P를 전후하여 급격히 변하는 것은 낮은 함량에서 대부분의 P가 ferrite 중에 고용되면서 구상흑연의 주위에 농축되고, 고 Si의 과냉상태가 그 주위로 충분한 액상의 이동이 있기전에 끝나므로¹⁴⁾ 강제표면으로 부터의 chill깊

이는 C의 확산을 늦게하여 탄화물층의 생성이 얇게 얻어지고, 상대적으로 다량의 P를 갖는 경우에는 저융점의 액상통로를 많이 갖게 되므로 냉금철판의 급냉 표피부와 급냉효과를 적게 갖는 中心部쪽으로의 온도변화가 커짐에 따라 백선화현상이 더욱 심해 질것이고, 과공정조성에 있어서 C 및 Si에 의한 높은 MDE 값(>30)¹⁶⁾을 다소 낮게 할 것으로 사료된다. P함량에 따른 MDE값의 변화 및 응고현상에 대한 검토는 다음 기회에 다루기로 하겠다.

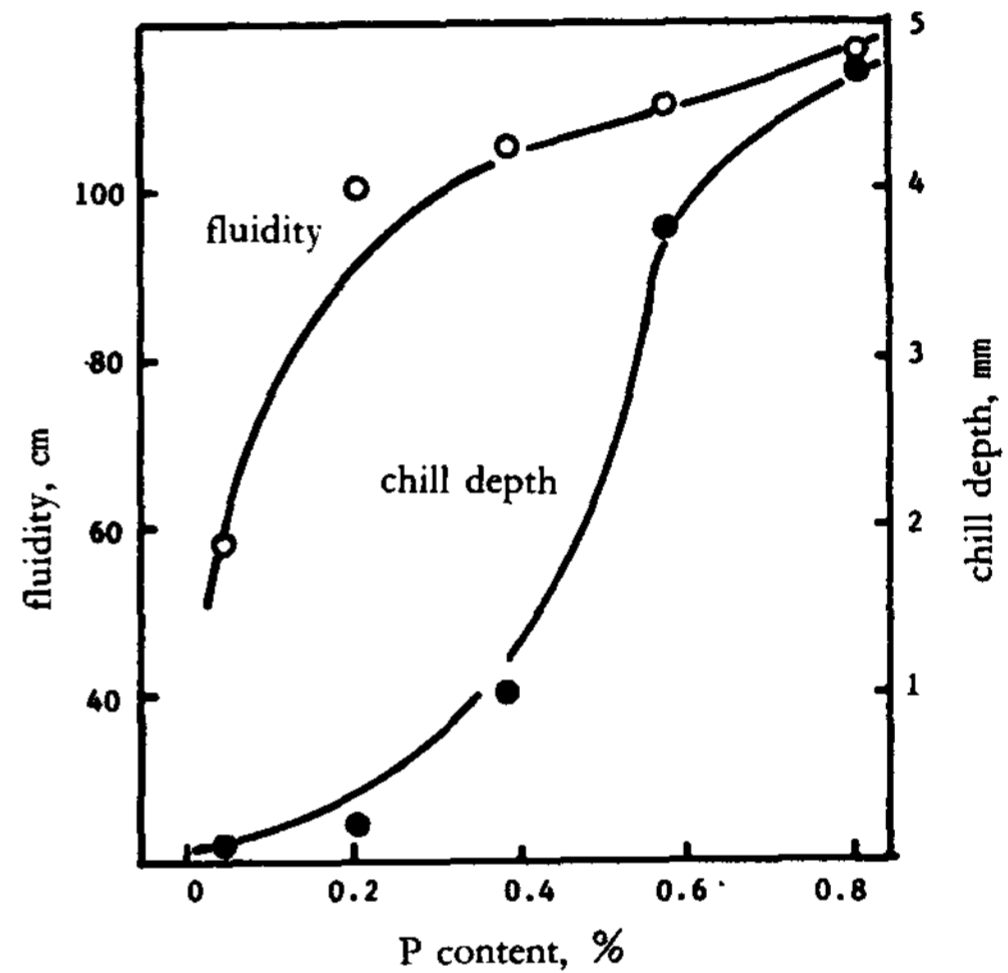


Fig. 5 Variation of fluidity, chill depth according to P content

3.3 機械切削性

구상흑연주철은 절삭성이 우수한 재료로 알려져 있으나 切削工程의 自動化에 따라 鑄造材의 절삭성에 대한 중요성이 더욱 요구되고 있다. 절삭성에 미치는 주요인은 낮은강도와 경도를 갖는 흑연이 절삭시 발생하는 chip의 파괴를 돕고 刃先으로 부터 쉽게 분리되는 作用과 더불어 공구에 chip의 소착을 방지하는 역할을 들수 있지만, 한편 구상흑연주철에 있어서 難削材의 2가지 큰 類型¹⁹⁾은 材質이 硬한것(全體 또는 部分的으로)과 硬度와는 무관한 軟質材料의 경우인데 後者의 경우는 切削에 수반되는 표면부의 組織이 유동되는 현상을 갖는다고²⁰⁾ 알려져 있으며, 이것은 材料의 韌性이 切削성을 약화시키는 것이므로 취성원소의 添加로부터 인성을 저하 시켰을때 공구수명 및 切削性이 向上 된다고 알려져 왔다.

본 實驗에서는 P의 添加로 부터 이러한 效果를 얻기 위함이었으며 그결과 0~0.6%P 범위에서는 주분력, 배분력, 이송분력이 각각 큰 변화를 보이지 않고 비교적 좋은 절삭성(절삭저항)을 나타내었으나 0.6%P를 지나면서 Fig.6 에서와 같이 급격한 저항성의 증가를 보이고 있다.(Photo.2)(Fig.6) 이들의 정성적인 분석을 위하여 Photo.2에 chip 形態를 비교해 보았다. 0.6%P 까지의 切削性 유지는 인성에 의해 難削을 가질 수 있는 ferrite기지의 시료가 P의 적절한 첨가에 의해 切削性을 多少 증가 시키는 것으로 생각되며 그 이상의 함량에서 절삭저항성이 급등하는 현상은 Photo.1의 현미경조직에서 알 수 있듯이 shell 계면에 넓게 분포되어 있는 steadite 및 steadite에 인접하여 혹은 steadite內에 생성된 pearlite, Fe₃(CB) 그리고 Fe₂B의 B화합물들이 갖는 複合的인 硬度증가의 原因으로 생각된다. steadite, pearlite, B 화합물들의 硬度比較와 分析은 機械的性質(3.5)에서 다시 다루기로 하겠다.

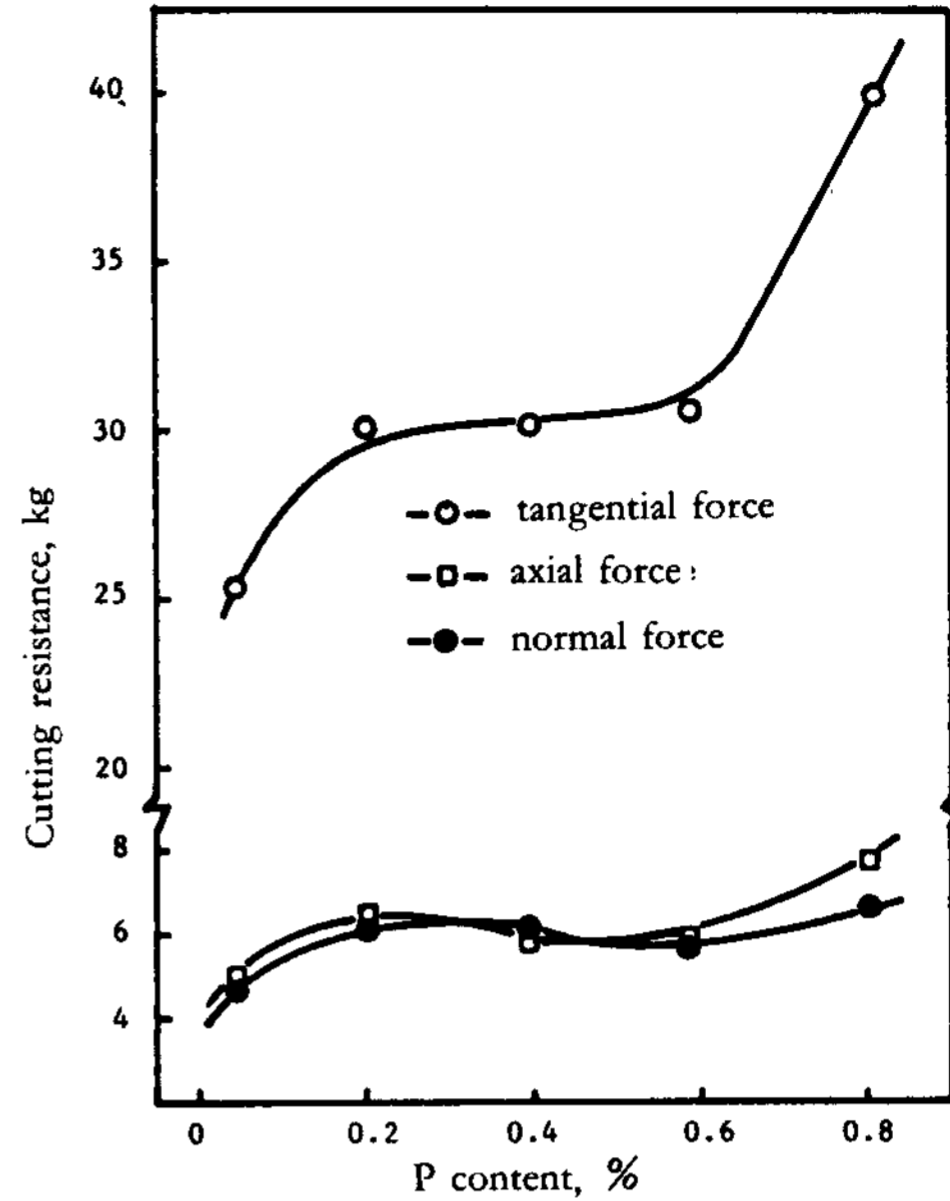


Fig. 6 Relation between cutting resistance and P content in D.C.I

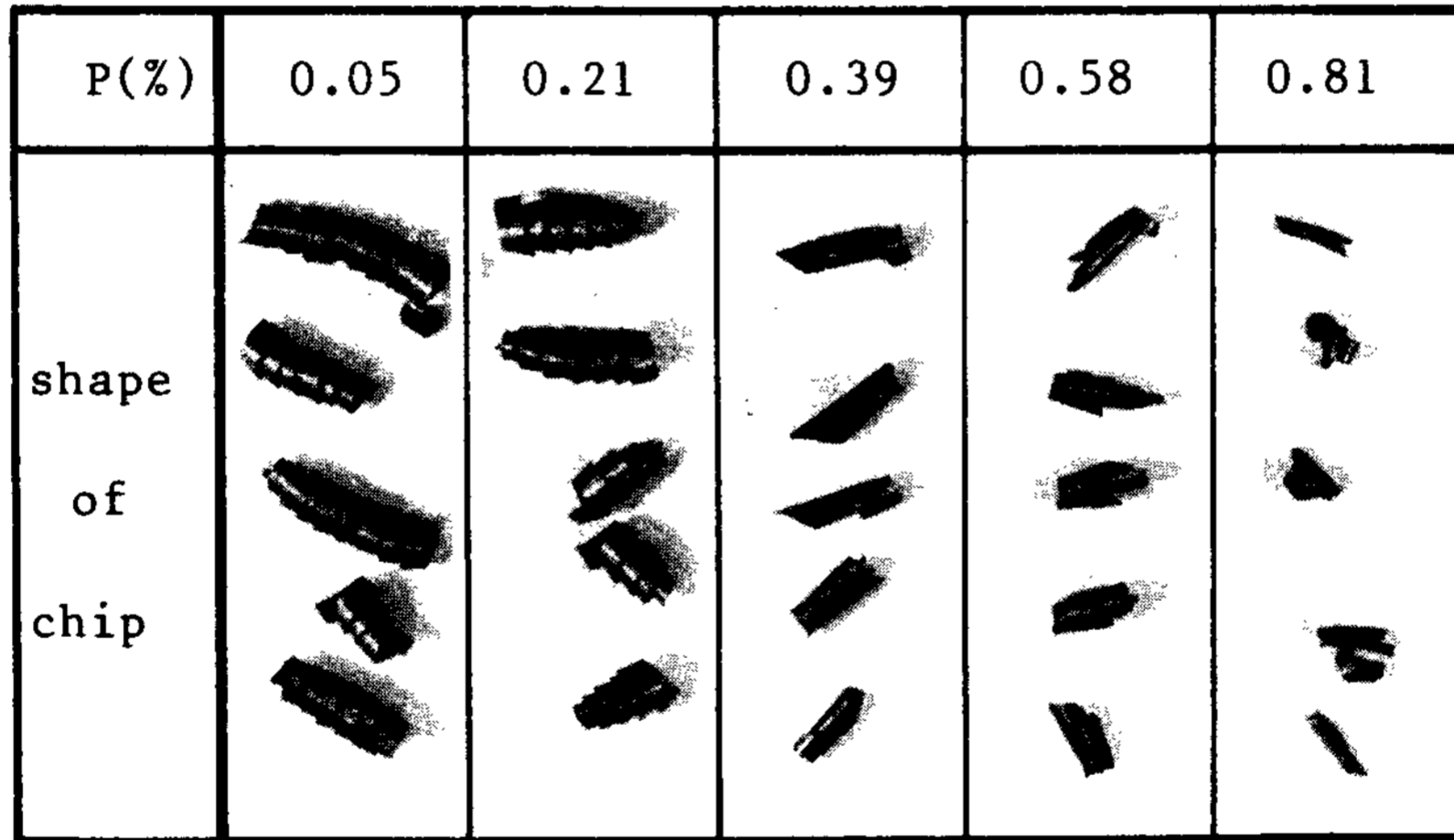


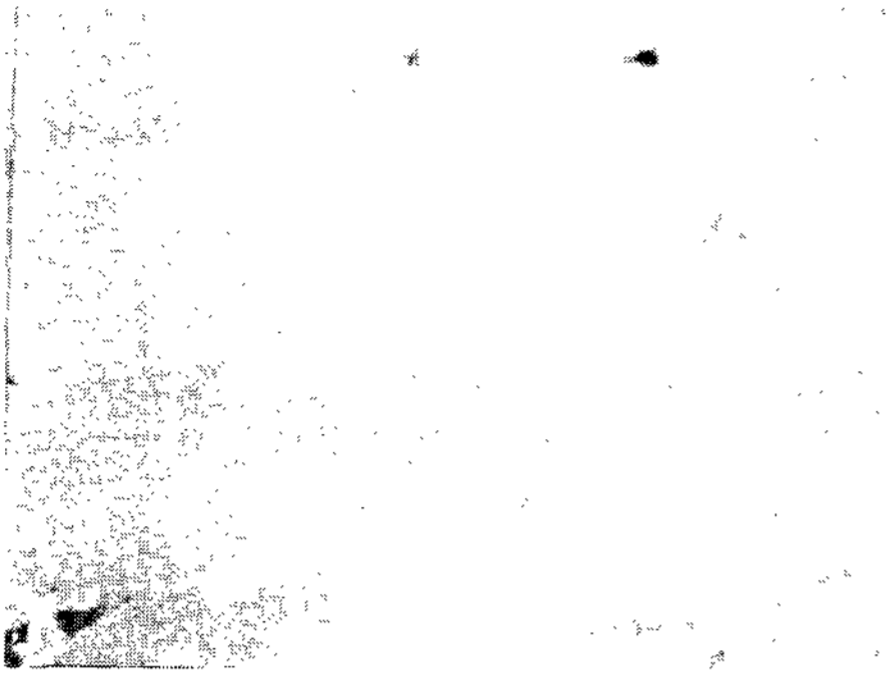
Photo. 2. Comparison shape of lathe cutting chip according to P content (Cutting speed; 690RPM, feed; 0.10mm, cutting depth; 1.5mm, bite tip; KT 200)

3.4 磨減特性

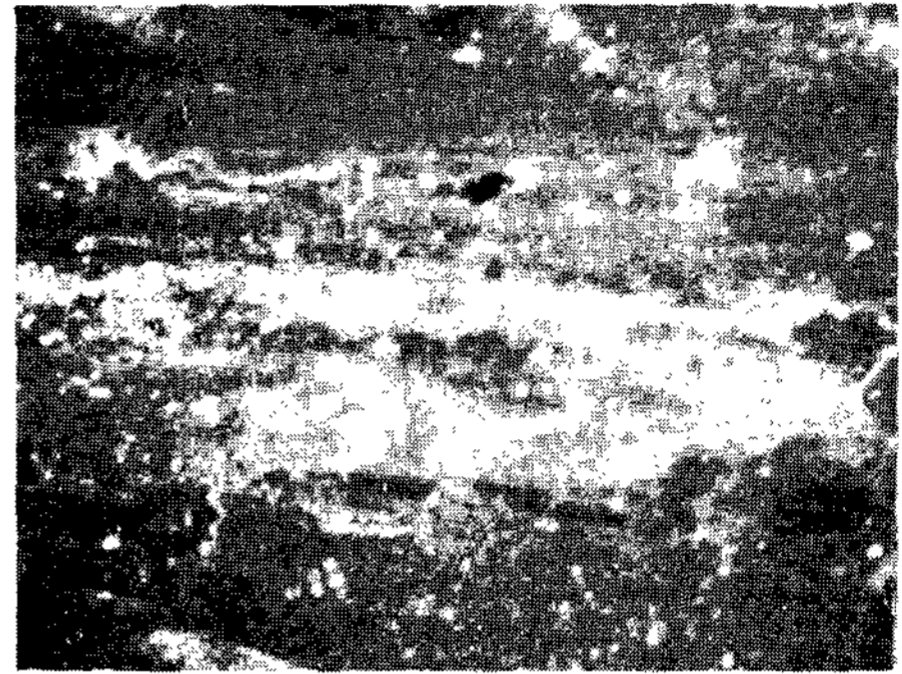
마찰거리와 最終荷重을 일정하게 한 條件에서 走行速度를 0~4.4m/sec 까지 변화 시켰을때의 磨減量 變化를 Fig.7에 나타냈다.

結果에서 알수 있듯이 ~0.6m/sec 까지의 구간이 一次酸化磨減, 1.1~1.4m/sec 구간이 機械的破壞磨

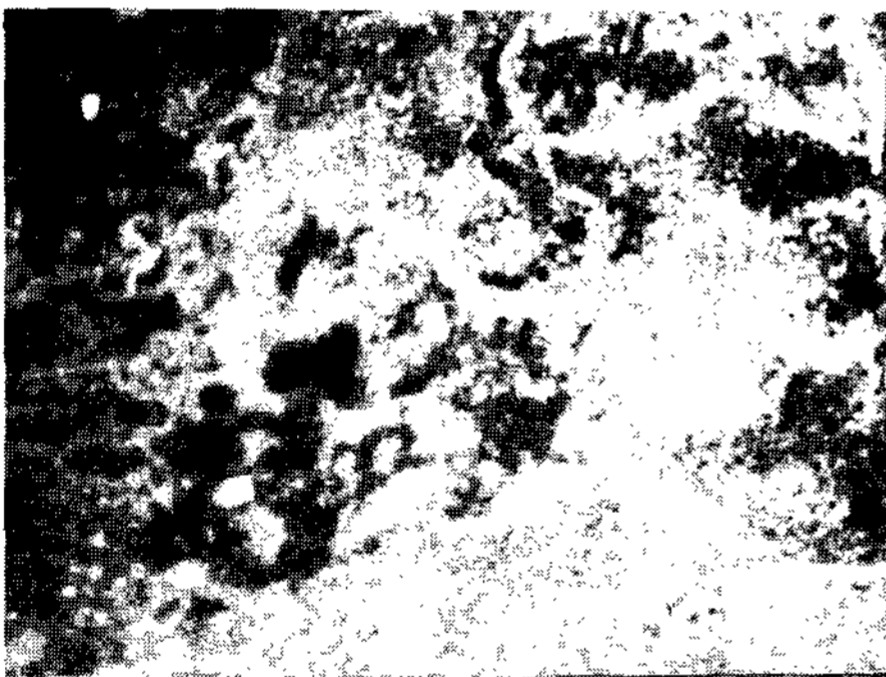
減, 1.4m/sec 이상에서 二次酸化磨減이 主로 支配的인 速度구간으로 볼수 있다. Photo.3,4 및 5 는 각각 앞에서 3구간에 대한 磨減面의 SEM조직 사진이고 각 구간에서 P함량이 증가함에 따라 마멸량이 감소하면서 Fe₂O₃의 산화층이 1차구간에서 얻어졌고, 機械的 파괴마멸 구간에서는 주행속도가 증가한 것 때문에 온도가 상승되고 Fe₂O₃층의 파괴가 일어나면서 소성유동층이 P함량이 높을 수록 짧게 나타



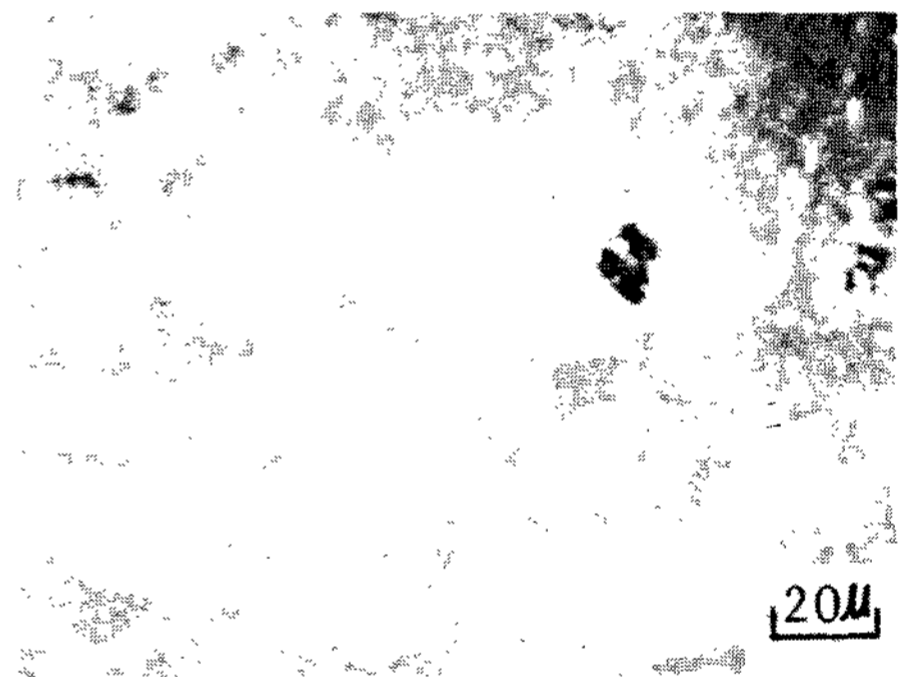
(1)



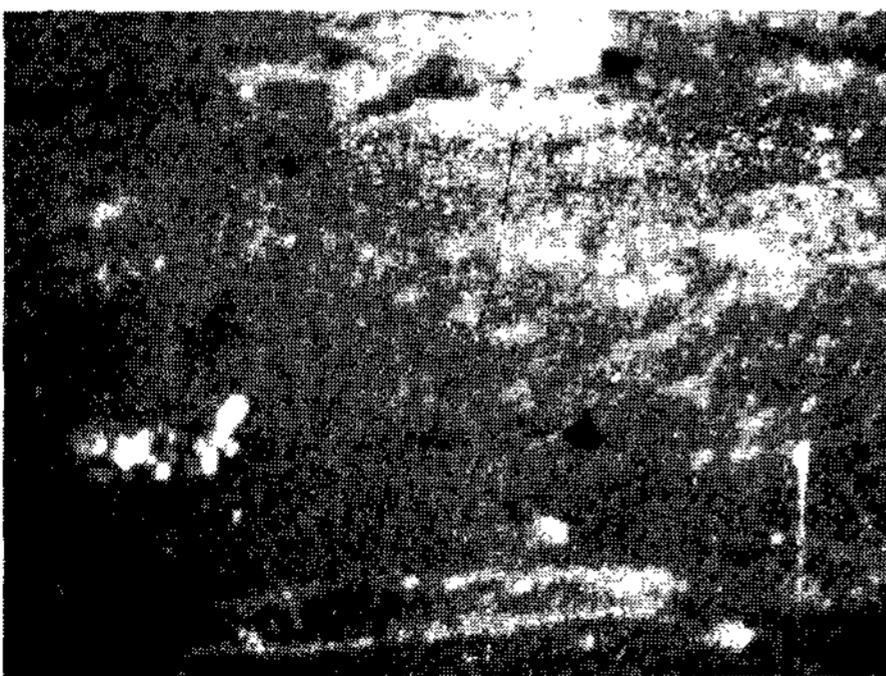
(2)



(3)

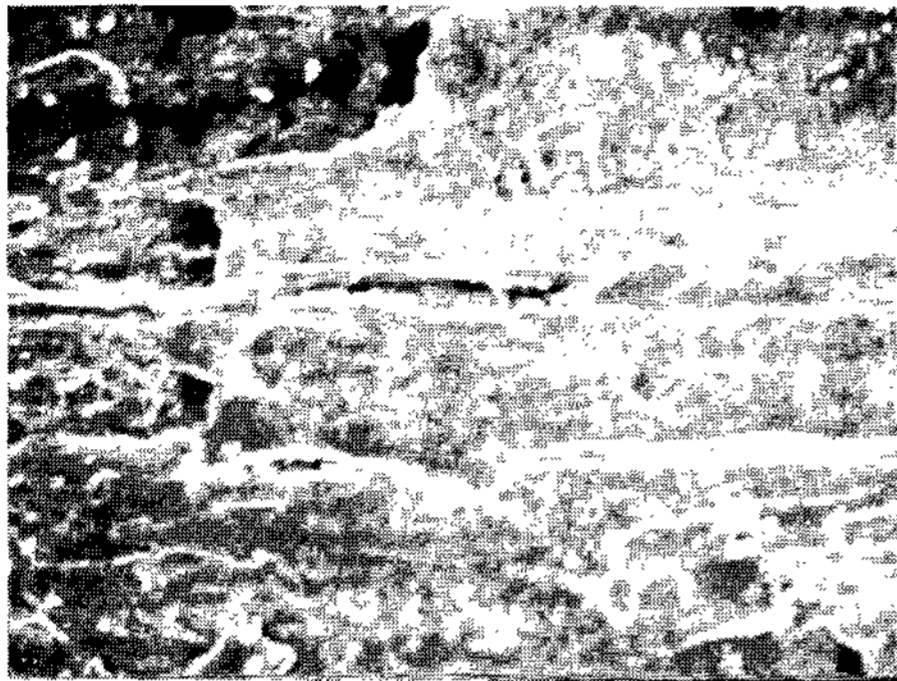


(4)



(5)

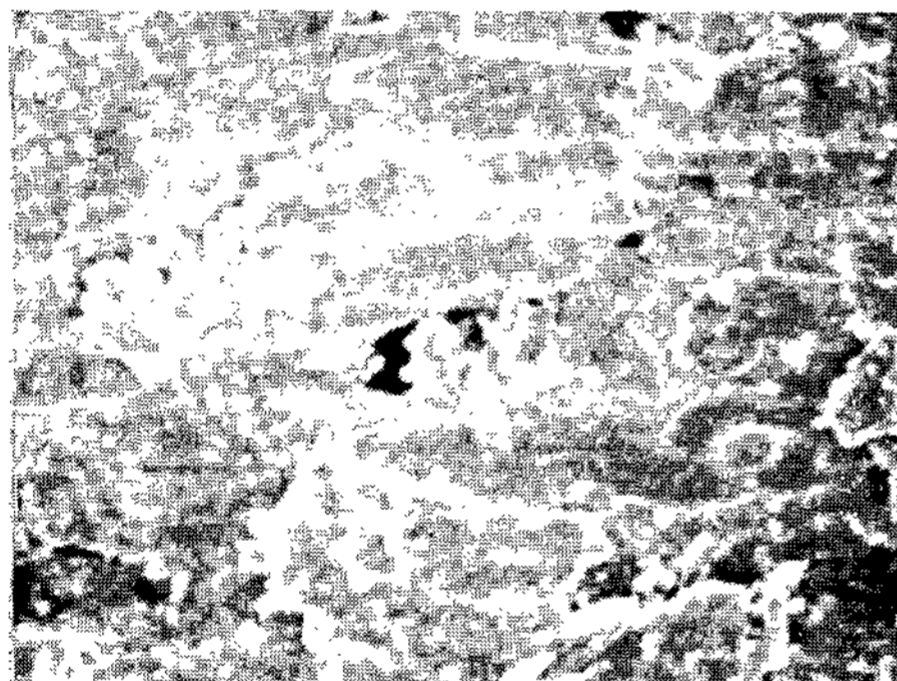
Photo. 3. SEM micrographs of wear surface at 0.62m/sec sliding speed in D. C. I (X350)
(1) 0.05% P (2) 0.21% P
(3) 0.39% P (4) 0.58% P
(5) 0.81% P



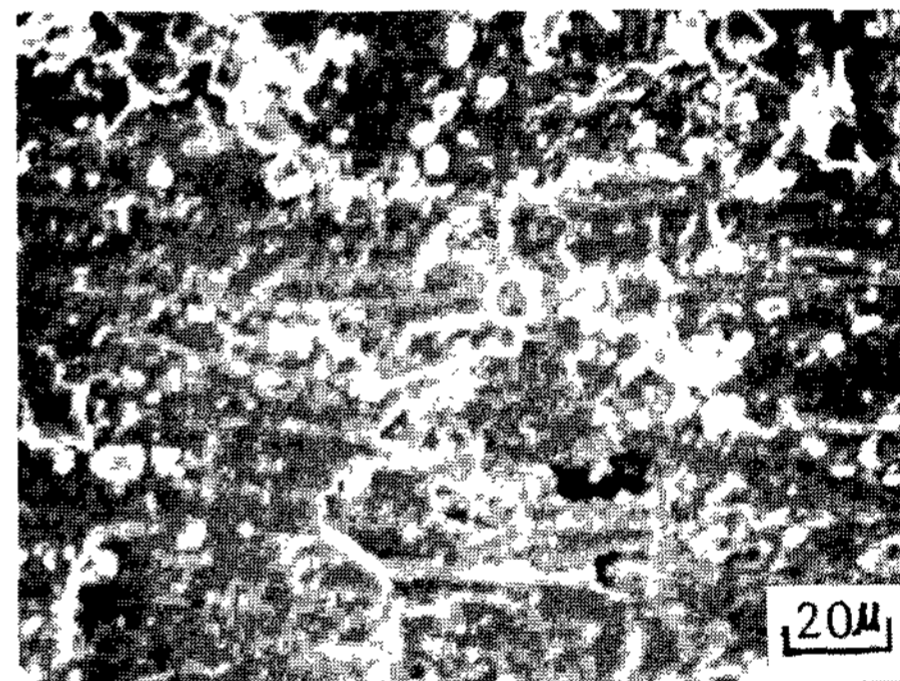
(1)



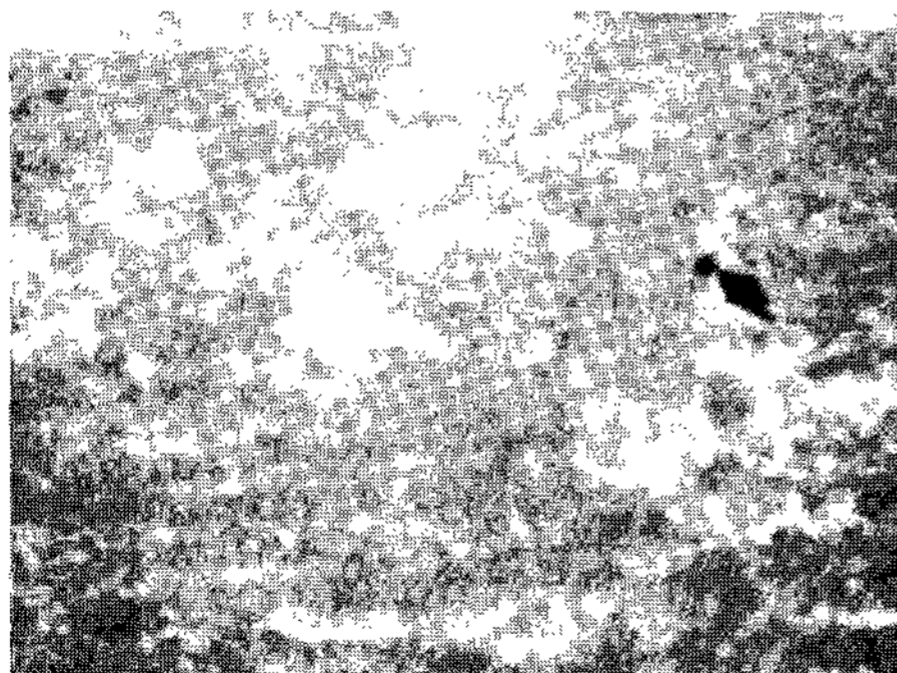
(2)



(3)

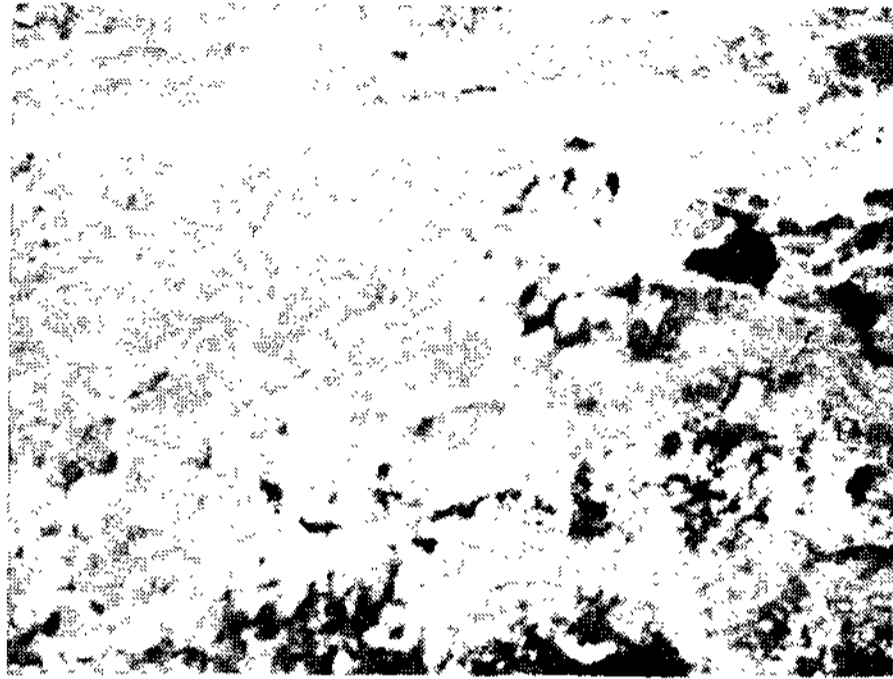


(4)

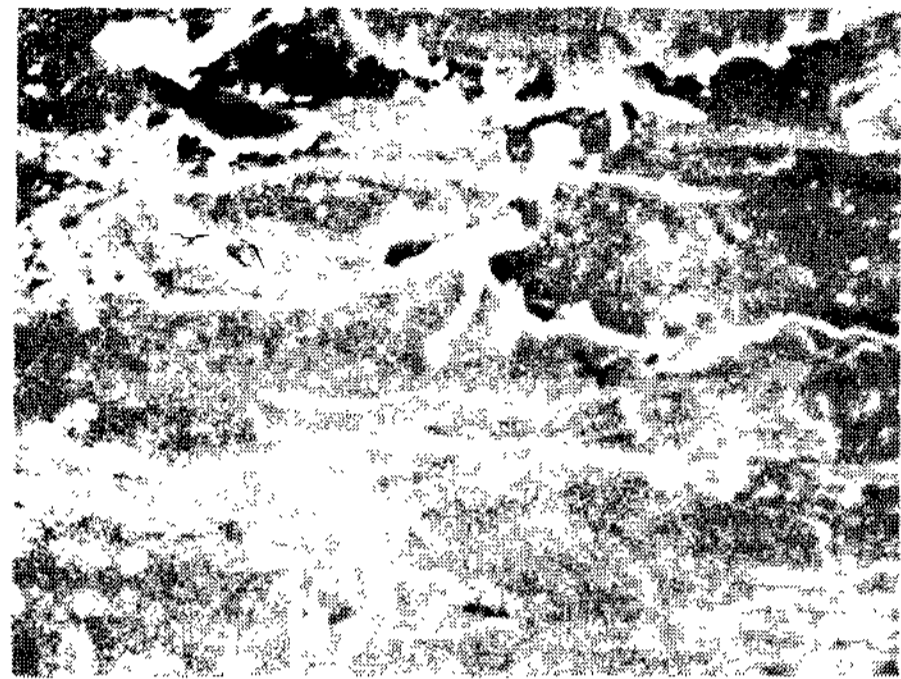


(5)

Photo. 4. SEM micrographs of wear surface at 1.14m/sec sliding speed in D. C. I (X 350)
(1) 0.05% P (2) 0.21% P
(3) 0.39% P (4) 0.58% P
(5) 0.81% P



(1)



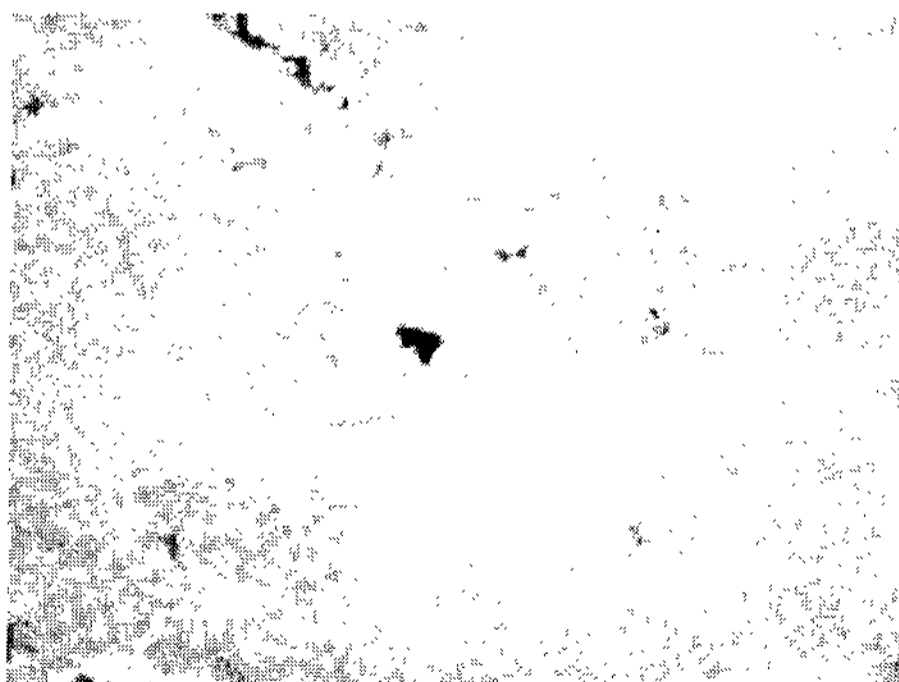
(2)



(3)



(4)



(5)

Photo. 5. SEM micrographs of wear surface at 3.50m/sec sliding speed in D. C. I (X350)
(1) 0.05% P (2) 0.21% P
(3) 0.39% P (4) 0.58% P
(5) 0.81% P

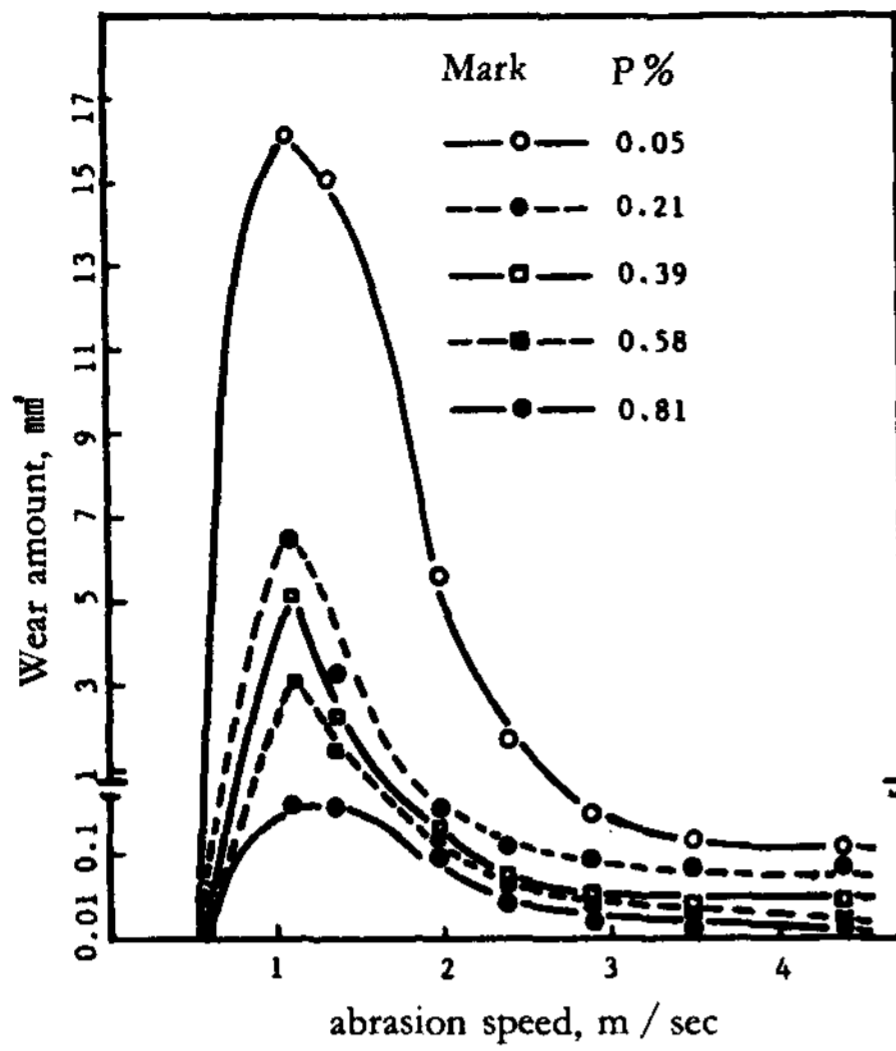


Fig. 7 Relation between wear amount and abrasion speed (sliding distance ; 100 m, final load ; 6.3kg)

난다는 것을 확인 할 수 있다. 2차 산화마멸구간이 관여 하는 속도구간에서는 Photo.5에서 볼수 있듯이 마찰면의 온도가 500°C 이상으로 상승되므로 마찰 표면의 생성물인 Fe₃O₄ 및 FeO 등의 出現으로 소성유동층의 감소와 더불어 마멸경화층이 증가하며, 특히 P 함량이 0.8%인 시료의 경우 소성유동층이 거의 나타나지 않는것으로 보여진다. 이러한 마멸경화층의 생성은 보통주철 및 기타 철강재료보다 마멸성향이 좋은 구상흑연에서 보다 발생되기 쉽고, 그 硬化層의 生成因子는 소입효과, 加工硬化, 酸化物에 의한 非晶質層의 生成등으로 고찰되었지만 鋼에 비해 相變化가 많은 鑄鐵의 경우 또다른 資料에서 마찰열에 의한 국부적인 용융층의 급냉응고說²¹⁾이 소개되었으며 그 생성량 및 경도등을 지배하는 것은 주로 마찰면 온도에 있다고 알려져 있다²²⁾ 또한 山田²³⁾이 연구한 결과에 의하면 ferrite의 量을 달리 함에 따라 경화층의 생성량은 ferrite의 量에 거의 반비례하며, 기지조직과는 뚜렷한 경계를 가지면서 그 표면에 수직된 미소균열을 발생시키는 Hv800~900의 백색층으로, 그 量에는 무관하며 표면적하에 소성유동층을 갖는다고 알려져 있다.

3.5 機械的 性質

磷의 含量에 따른 인장강도, 경도 및 연신율은 鑄放狀態의 試料와 熱處理(소둔) 試料를 비교해 봄으

로써 高Si에서의 silico-ferrite 및 高P에서의 인의 편석에 따르는 파단거동이 주방상태에서 취성의 거동을 가질것을 예상하였고 그 結果는 Fig.8과 같이 얻어졌다.

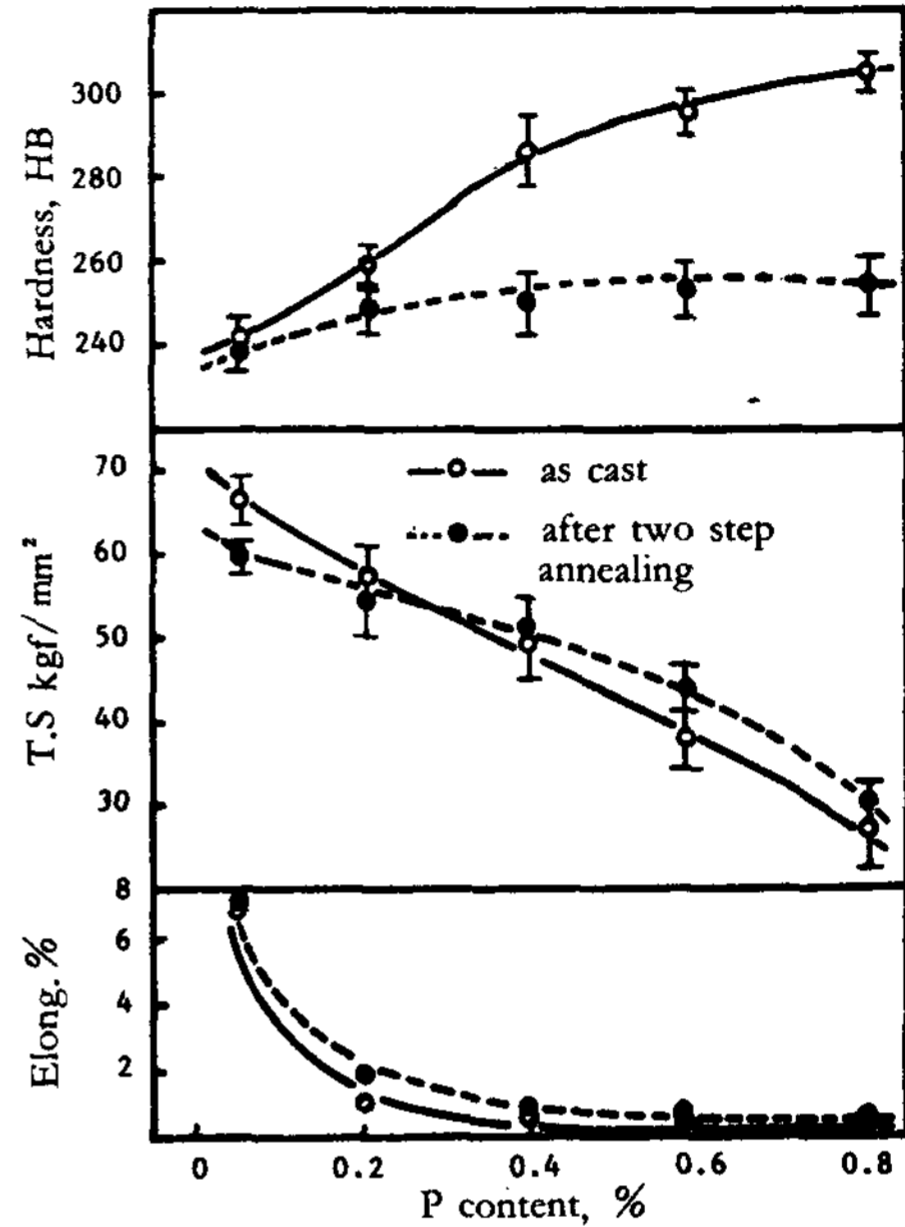


Fig. 8 Variation of elongation, tensile strenght, hardness according to P content

주방상태 및 열처리재 (제1,2단 흑연구상화 소둔)에서는 P의 증가와 함께 steadite의 증가에 따르는 경도변화를 보였으나, 인의 함량이 클수록 경도의 차이를 크게 갖는것은 steadite의 주위에 생성된 일부 pearlite가 분해되어 열처리재의 완만한 경도증가를 나타낸것으로 보이며, steadite (B화합물 포함) 또는 二元共晶化合物, pearlite 및 ferrite 부의 硬度比較는 steadite의 면적이 넓어지고 ferrite의 量이 적어지는 高P쪽으로 갈수록 미소경도계의 압흔 자욱이 작게나타나는 것으로 확인되었다.(Photo.6).

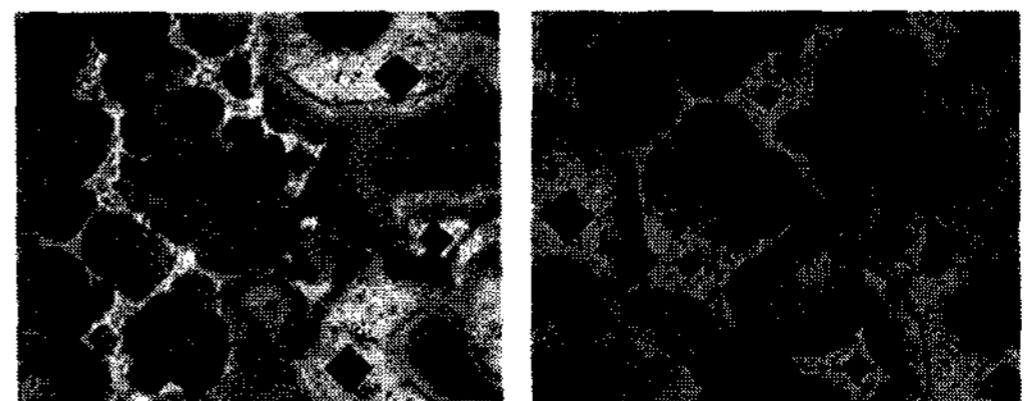


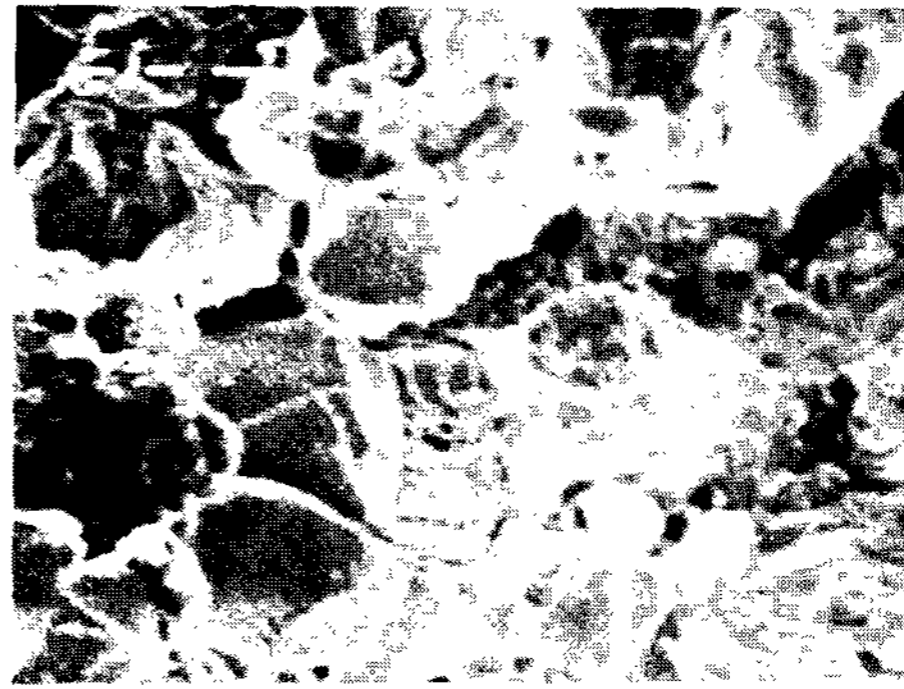
Photo. 6. Relation between the indentations of micro-Vickers and amount of steadite(X150, applied load ; 100g, time in load ; 15sec.)

인장강도의 분포는鑄放狀態의 경우와 열처리재의 경우를 Photo.7와 Photo.8에서 SEM으로 檢討해 보았다. Fig.8의 값으로 나타나는 이유는 흑연과 기지조직사이에 cavity가 발생되고 이들의 合體인 void를 많이 갖는 저 P시료에서는 matrix의 파단양상이 dimple 및 slip tear region 이 혼합된 연성파단의 양상을 보이거나 입내파단의 river pattern이 나타나지만 0.2%P 이상의 시료에서는 그 형태가 상반되어 나타

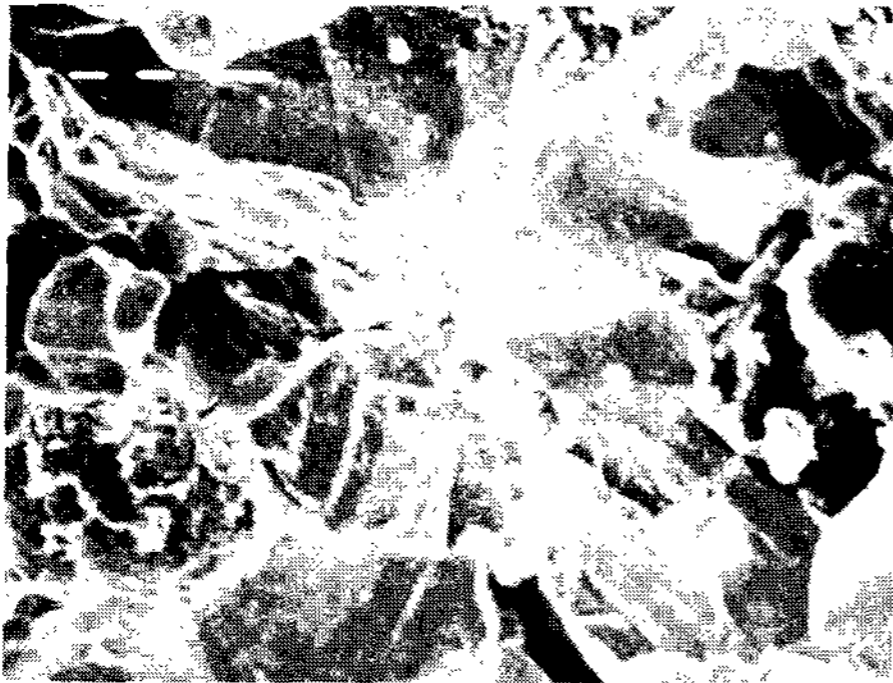
나며, 이것은 steadite 경계가 흑연보다 우선적으로 micro crack의 기점이 되어 구상흑연과 matrix 사이의 cavity 발생이 거의 없는 높은 P함량 시료쪽으로 갈수록 구상흑연 주위의 ferrite 部는 좁아져 미소균열의 전파가 공정cell의 계면으로 연결된다고 생각되며, 0.8%P 의 경우 전형적인 입계파괴의 양상을 보이고 있다.



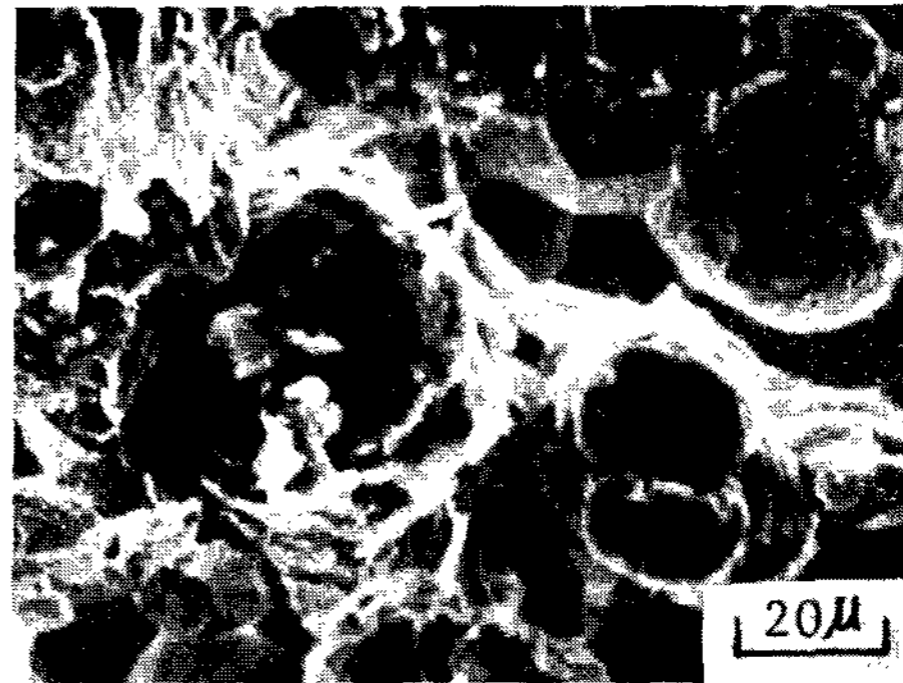
(1)



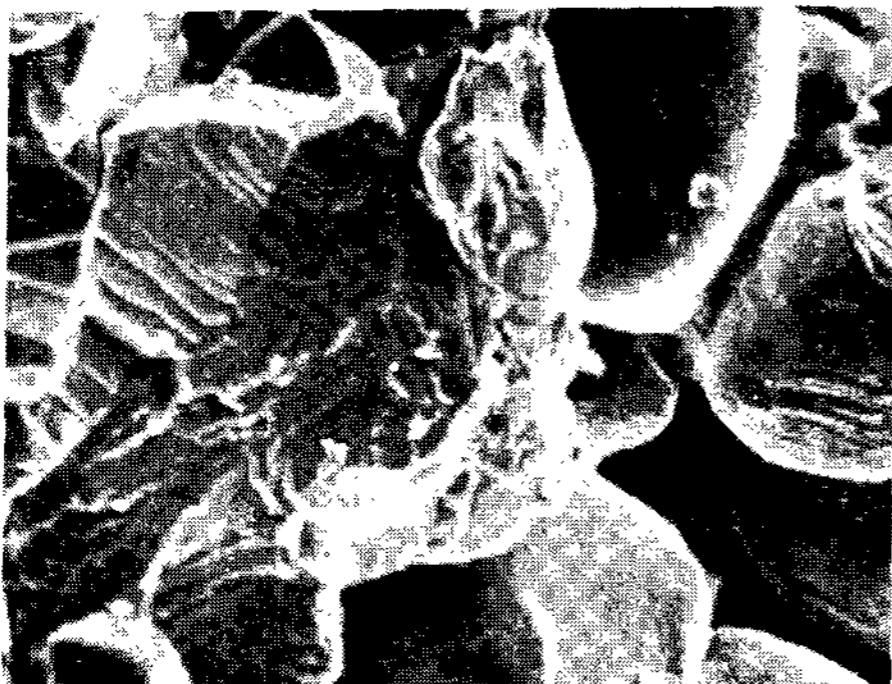
(2)



(3)

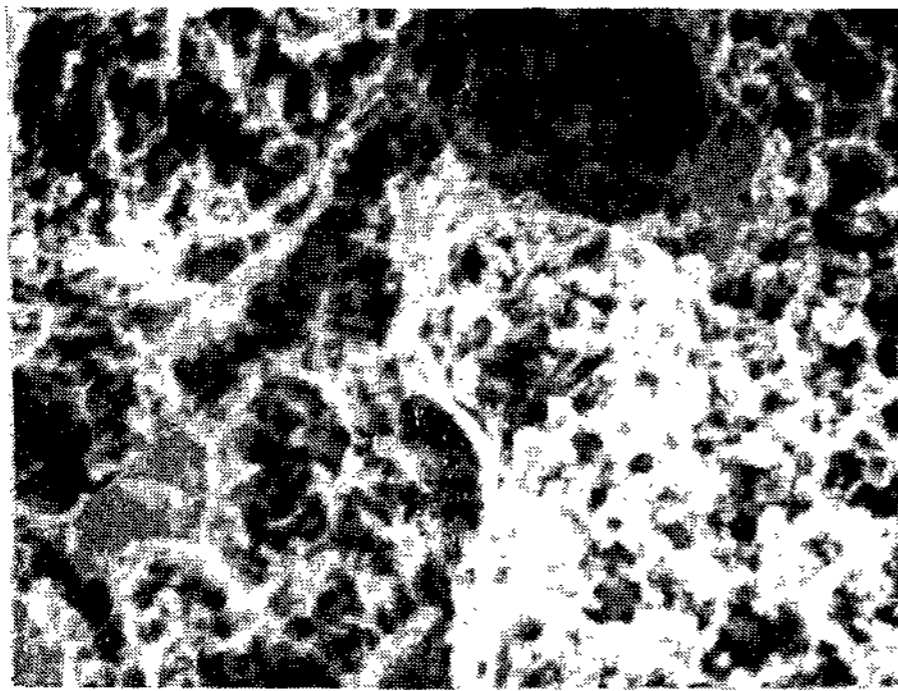


(4)

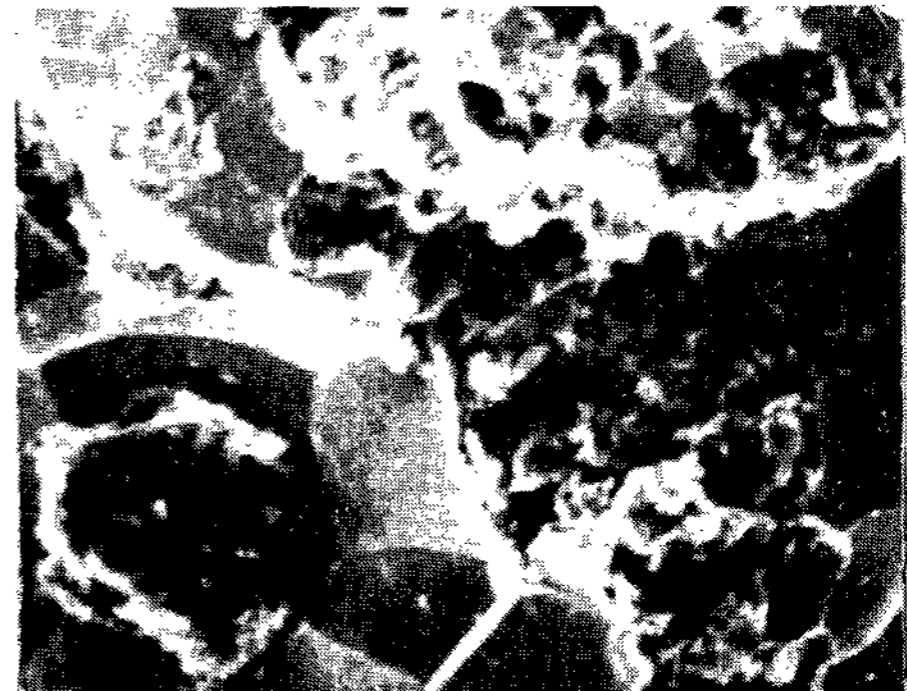


(5)

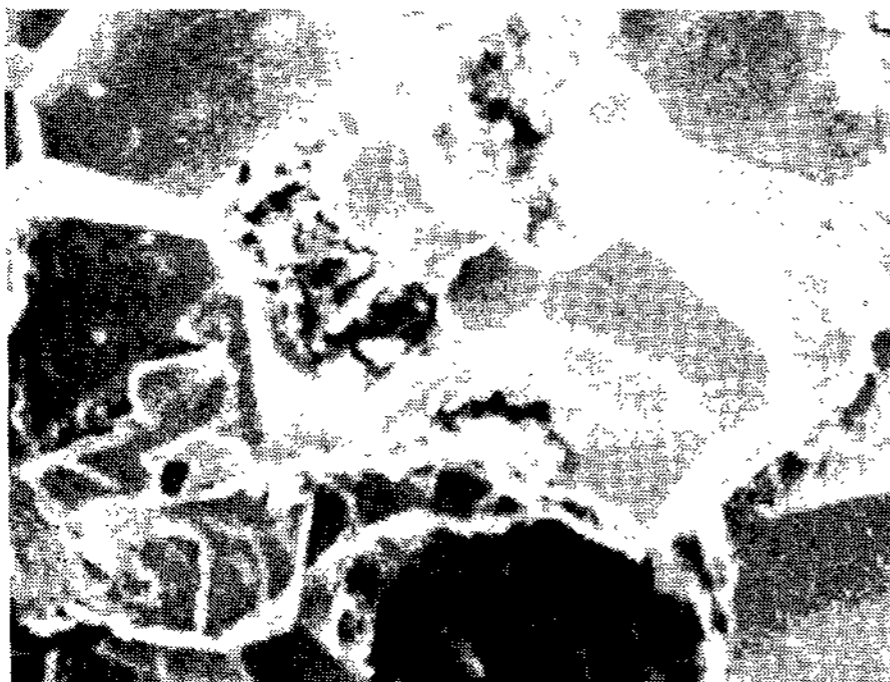
Photo.7. SEM fractographs of tensile fracture surface according to P content (X500)
 (1) 0.05% P (2) 0.21% P
 (3) 0.39% P (4) 0.58% P
 (5) 0.81% P



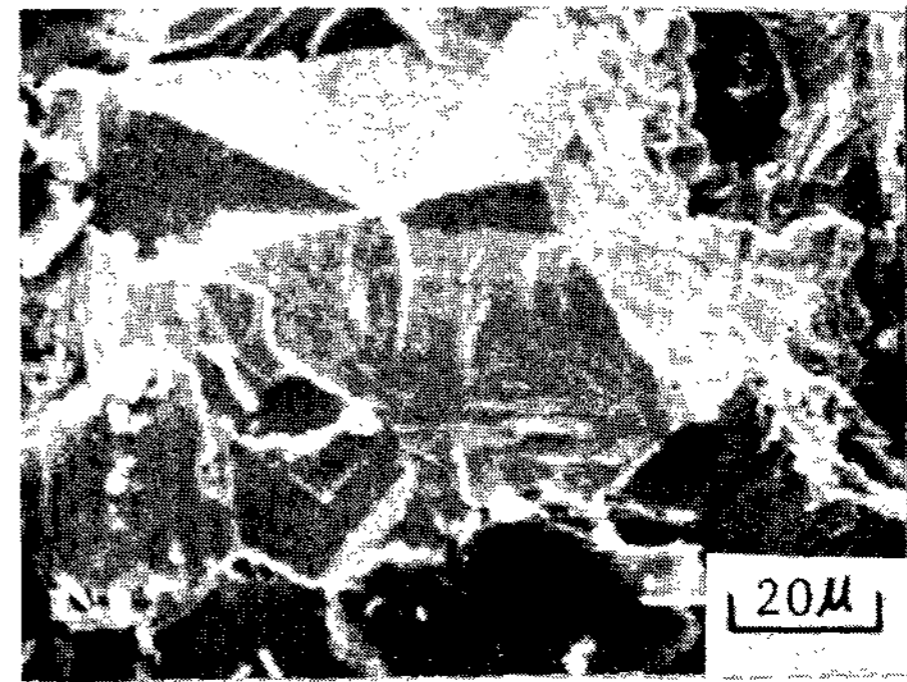
(1)



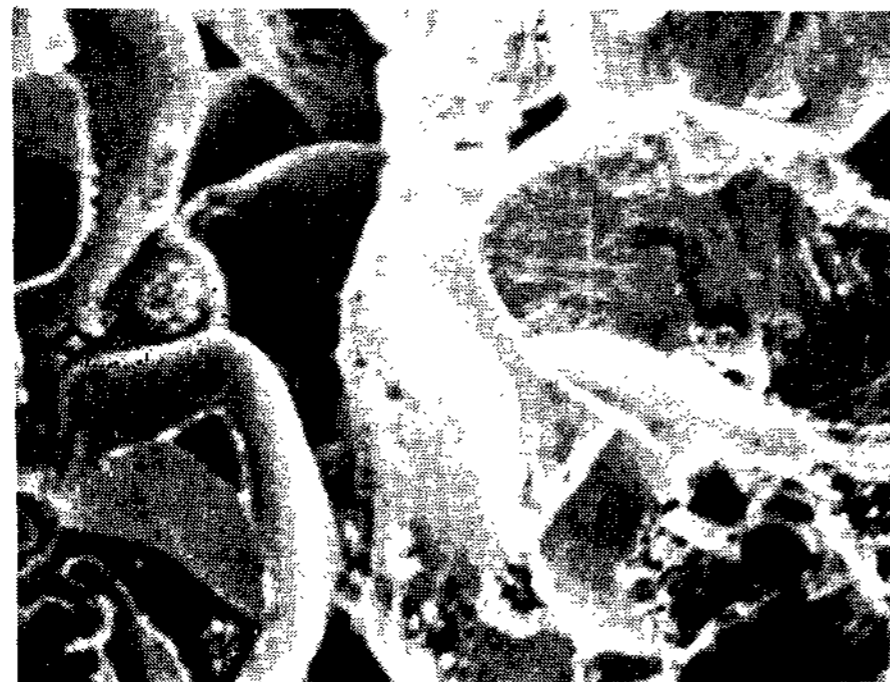
(2)



(3)



(4)



(5)

Photo. 8. SEM fractographs of tensile fracture surface according to P content after two step annealing (X 500)
(1) 0.05% P (2) 0.21% P
(3) 0.39% P (4) 0.58% P
(5) 0.81% P

3.6 熱的 特性

3.6.1 熱傳導度

熱傳導率의 測定은 정상법, 준정상법 및 비정상법으로 區分되는데 本實驗은 Cu- 표준시편 (Cu-cylinder) 을 이용한 정상적인 방법으로 측정에 충분한 시간을 필요로 한다.

測定原理는 Fourier의 式²⁴⁾으로 부터 $dQ/d\theta = -\lambda A \cdot dt / dL \dots \dots \dots (1)$

- 여기에서 Q : 열량(cal)
- θ : 시간(sec)
- λ : 열전도율(cal / cm. sec. °C)
- A : 면적(cm²)
- t : 온도(°C)
- L : 거리(cm)

式(1)을 利用하여 본 시험의 결과식을 유도하면 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{L_b / \lambda'_b \cdot L_a / \lambda'_a} \dots\dots\dots(2)$$

여기에서, L_a, L_b : 측정하고자 하는 시편(a,b)의 두께(cm)

$\lambda'_a \lambda'_b$: 측정시편과 표준시편 (Cu-cylinder)의 간격 및 측정시편의 전도도를 포함하는 열전도도(접촉열저항 고려)

λ : 측정시편의 열전도율

측정시편의 두께는 각각 $L_a=2\text{mm}$, $L_b=4\text{mm}$ 로 하여 표준시린더(시편)인 Cu($L_R 30\text{mm}$, $\lambda_R=0.8889 \text{ cal/cm}\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}$)사이에 밀착시켜 시린더의 일단에서 가열한 후 150°C , 250°C 의 열전도율을 식(2)로 부터 구하여 Fig.9에 나타내었다.

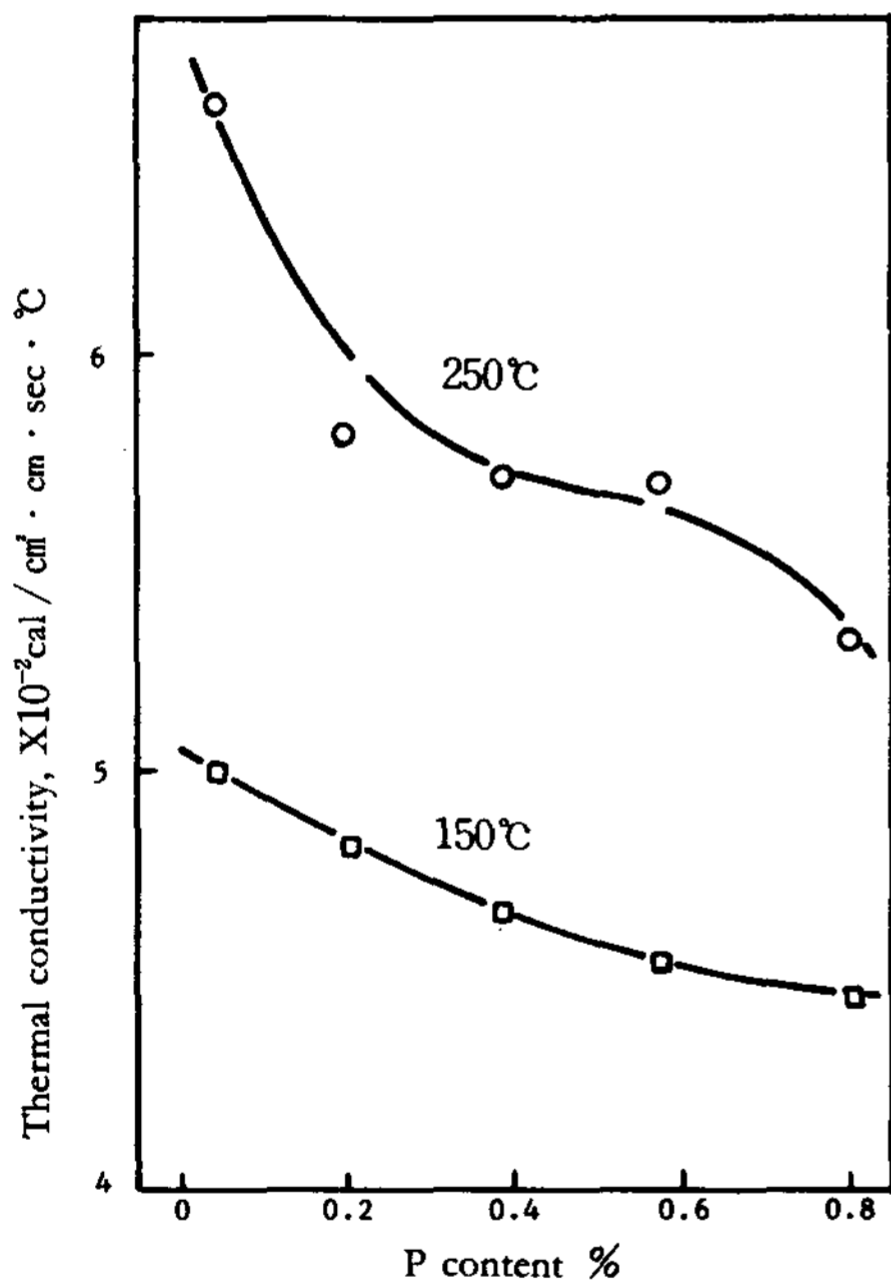


Fig. 9. Relation between thermal conductivity and P content in D.C.I

150°C 및 250°C 의 측정온도는 權²⁵⁾ 등의 研究에서 알 수 있듯이, 편상과 C/V주철은 온도 증가와 함께 열확산율이 감소하지만 구상흑연의 경우 흑연의 체적에 대한 표면적의 比率, 흑연의 불연속성, 온도 증가에 따르는 흑연의 비열 증가등으로 흑연 物性의 영향을 적게 받아 溫度依存性이 작으므로 열확산율이 최대를 갖는 200°C 를 前後하여 측정하였으며,

그 결과 150°C 에서 보다 250°C 에서의 열전도율이 크며 동일온도에서 P함량이 증가함에 따라 열전도율이 감소하는 경향을 갖는것은 比較面積의 증가 및 흑연의 불연속성, steadite의 낮은 열전도도등의 작용으로 생각된다.

3.6.2 熱膨脹係數 및 成長

열팽창 계수의 측정은 상온~ 600°C , $\sim 760^\circ\text{C}$ 및 $\sim 870^\circ\text{C}$ 의 3가지 온도범위로 하였으며 그 결과를 Fig. 10과 같이 얻었다. P함량이 증가 될수록, 시험온도가 높을수록 열팽창계수는 증가되었는데 그 이유는 P증가와 더불어 pearlite의 증가가 있는것과 높은 온도에서 입계의 저융점 화합물들이 거동함에 따르는 것으로 생각된다.(Fig.10)

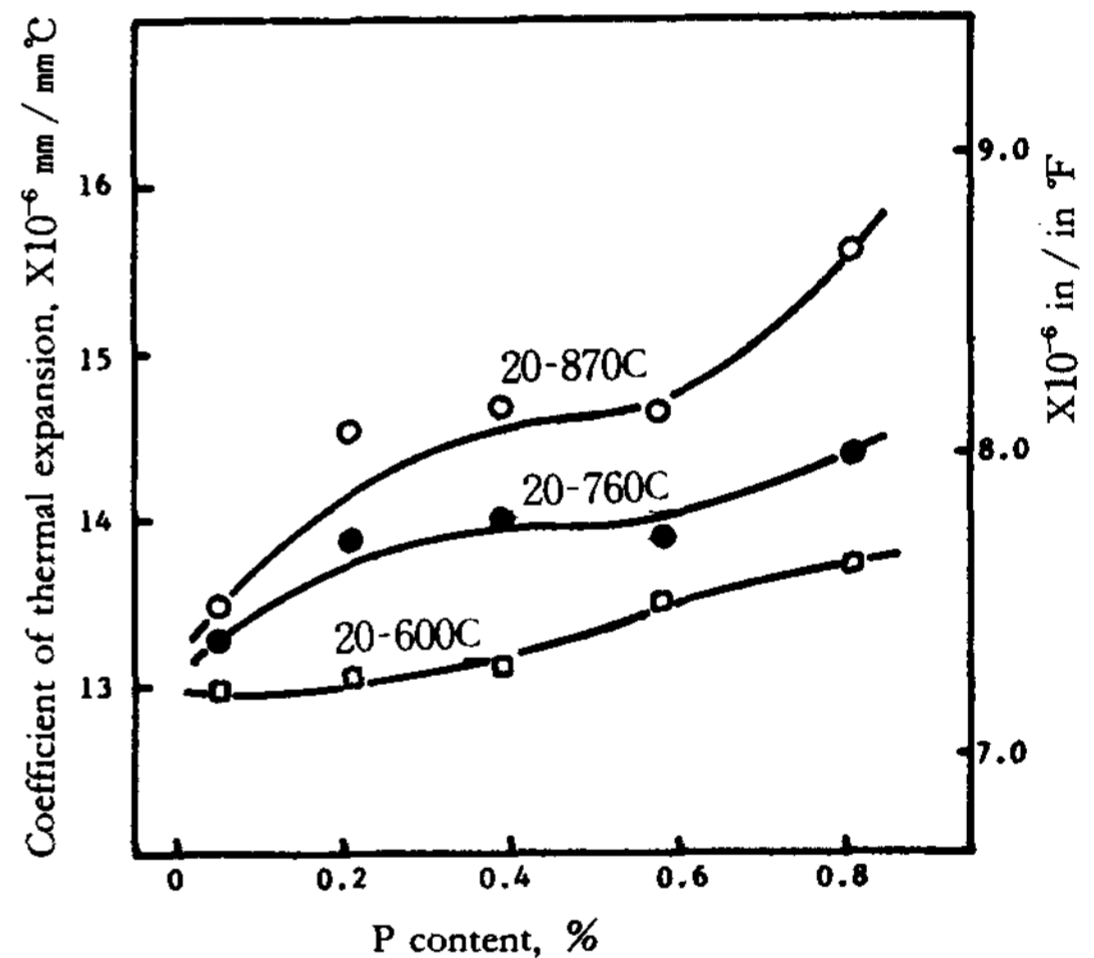


Fig. 10 Relation between the coefficient of thermal expansion and the P content in D.C.I

同一 試料에서 $600\sim 900^\circ\text{C}$ 를 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 加熱 冷却을 3회 반복 하였을 경우 Fig.11의 결과를 얻었으며, P함량의 증가에 따라 鑄鐵의 成長이 鈍化되는 경향을 보이는 것은 酸化性 분위기에서의 실험이므로 pearlite 중의 cementite의 분해는 물론 ferrite 및 Si의 산화가 고온의 酸化性 가스의 영향으로 내부산화와 同時에 成長을 촉진시킨다고 생각되며, P가 낮은 쪽에서 산화성 가스의 통로로 작용하는 cavity의 크기가 크게 나타나므로 (Photo.7 및 8) 그 영향이 심하고, 높은 P함량에서는 증가된 steadite 및 산화물과는 반대로 적은 면적의 silico-ferrite가 그 팽창량을 감소시킴과 同時에 void의 형성이 거의

없으므로 해서 산화성통로의 협소함이 큰 要因으로 作用한다고 보여진다. 또 Si의 含量이 높아지면 변태점이 상승되는 効果와 Fe₃C의 증가에 따르는 Fe₃(CB)의 높은 용점에도 기인하며, 흑연과 基地組織과의 열팽창계수 차이가 좁혀질 것으로도 예측할 수 있으나 산화성 분위기에서 열적인 반복현상은 거의 ferrite 및 Si의 산화에 대한 酸化性 霧圍氣의 影響이 큰 것으로 사료된다.

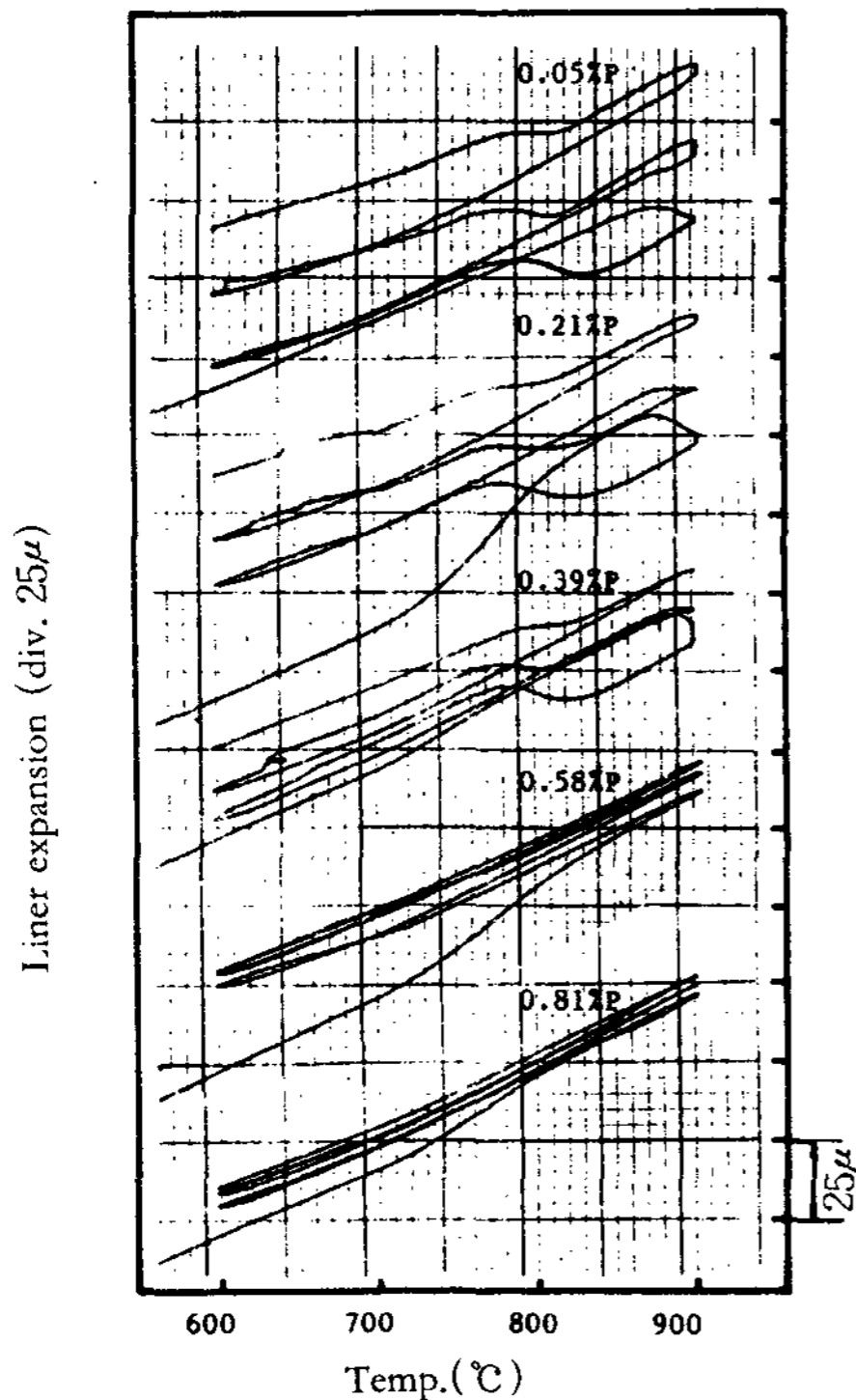


Fig. 11 Thermal analysis curve of specimens(50, 15L)

4. 結 論

鑄放狀態에서 ferrit基地를 갖는 高磷 高硅素 구상흑연주철에 관한 試驗結果는 다음과 같이 요약되었다.

1. chill 깊이는 약 0.6%P함량 이상에서 급격히 증가되었으며, 引張強度 및 延伸率은 P증가에 따라 감소하였다.

2. 인의 含量이 증가할수록 구상흑연의 크기와 steadite 量은 증가하였으나 구상흑연의 수는 감소하였다.

3. 機械的破壞磨滅의 극대점은 轉速도 1.14m/sec에서 나타났으며, steadite의 量이 8% 이상인 0.8% P

에서 부터 급격한 脆性저항성의 증가를 보였다.

4. A₁변태점 부근에서의 열팽창계수는 P의 증가와 함께 상승하였으나, 고온에서의 熱的인 반복시험에서는 0.6%P이상의 시료에서 鑄鐵의 成長이 매우 둔화되었다.

후 기

本 研究는 한국학술진흥재단의 연구비지원에 의해 수행되었으며 저자는 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) J. Sissener : 日本鑄物協會 特殊鑄鐵部 會議資料, No.17 (1963)
- 2) 大出, 佐藤, 目黒, 鈴本, 大平: 鑄物, 53 (1981) 665
- 3) H.Mayer: Giesserei, 55(1968)121
- 4) 中江, 清祐: 鑄物, 55(1983)603
- 5) 千田, 目黒, 高橋, 瀨谷: 製鐵研究, 298(1979)966
- 6) S.I.Karsay: Ductile Iron Production Practices, AFS, (1975)96
- 7) 高澤, 辻村, 由利 : 鐵道技術研究所速報, No.A-83-106(1983)42
- 8) 松田 外 : 鑄造技術鋼座 4 (特殊鑄鐵鑄物), 日刊工業新聞社, (1967)176
- 9) 日本金屬學會 鑄造分科會編: 球狀黑鉛鑄鐵의 理論と實際, 丸善(1966)130
- 10) 文仁炯外: 金屬工學實驗, 半島出版社, (1980)21
- 11) S.E.Wetterfall, H.Fredrickson and Hillet: Source Book on Ductile Iron, ASM, (1977)162
- 12) E.Seluck: The Metallurgy of Cast Iron, St Saphorin Switzerland, (1975)409
- 13) 大出, 井川: 鑄物, 55(1983)88
- 14) 羅享用 外: 韓國鑄造工學會誌, 7(1987)184
- 15) 草川, 金水泳: 鑄物, 41(1969)609
- 16) 李炳燁: 漢陽大學校 博士學位論文, (1987)12
- 17) M.E.Nicholsen: Jou. of Metals, 9(1959)1
- 18) 金政根外: 金屬결리 組織, 章旺出版社, (1986)20
- 19) 中江, 清祐: 鑄物, 54(1982)377
- 20) 荒木, 山本: 鐵の鋼, 57(1972)52
- 21) M.Kawamoto, K.OKavayashi: Wear, 17(1971)123
- 22) 川本, 岡林: 日本金屬學會誌, 37(1973)350
- 23) 山田: 鑄物, 47(1975)709
- 24) R.B.Bird et al. : Transport Phenomena, John Wiley & Sons. Inc., (1960)243
- 25) 權赫茂, 草川: 大韓金屬學會誌, 25(1987)139