

2. 炭素量一定なるときはクロム量を増すに従て A₀ 變態は次第に降下するによりクロムはセメンタイトに溶解して固溶體をつくる。

3. 低クロム高炭素鋼に現はるゝ炭化物のピクリン酸曹達による着色度が異なるは、焼鈍不充分なるためにセメンタイトにクロムの擴散均一ならざるに歸因するもので、よく焼鈍するときは一樣に着色せられる。因てこれは復炭化物の共存するのではない。

4. セメンタイトのピクリン酸曹達による着色度はクロムの溶解量を増すに従て減少し、遂に全く着色せざるに至る。著者の一人が前に提出した β-炭化物は此ピクリン酸曹達で着色せない所のクロム含量の多いセメンタイトである。

5. 種々の組成の鋼に就て腐蝕剤による炭化物の着色度を研究し、又 X 線分析に由て炭化物の結晶格子を研究し、クロム鋼には θ-相、η-相及 ε-相の 3 種の炭化物が存在することを確かめた。

6. θ-相はセメンタイトにクロムの溶解せるもの、η-相は Cr₇C₃ に鐵の溶解せるもの、又 ε-相は Cr₄C に鐵の溶解せるもので、復炭化物は存在せない。

7. 此等の研究結果より各相の存在範圍を表はす構成圖をつくり、Westgren 等の得たる構成圖を訂正した。

終りに臨み X 線分析の勞を煩はした關戸博士並に本研究に對し研究費を補助せられたる財團法人齋藤報恩會に感謝の意を表す。

鐵の機械的性質に及ぼす燐の影響に就て

(日本鐵鋼協會 第七回講演大會講演)

嘉 村 平 八

THE EFFECTS OF PHOSPHORUS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF IRON.

By Heihachi Kamura, M. S.

SYNOPSIS:— The phosphorus in the iron and steel gives most injurious effect on their properties as well as sulphur, so that it is encouraged to eliminate the phosphorus as lower as possible in their manufacture.

There are many literatures as to the effects of phosphorus on the mechanical properties of steel, but as its effects change by the amount of carbon and other impurities in it, it is impossible to specify the limit of phosphorus content which is not objectionable to the properties of steel, and also it is impossible to express the change of mechanical properties by the increase of phosphorus content.

The author made the phosphor-irons which contain the phosphorus from 0.014 to 0.91 per cent with very small amount of carbon and other impurities, and he investigated the effect of phosphorus on the mechanical and physical properties of iron.

緒 言

鐵及び鋼の中に含まるゝ燐は硫黄と共に最も有害なる不純物として忌避せられ其の含有少きもの程優良にして製鋼作業に於ては出來得る丈け其の

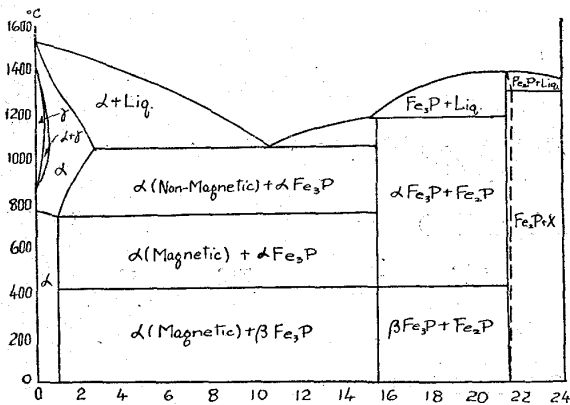
含有低下に努めて居る。鋼中に含まるゝ燐の其の機械的性質に及ぼす影響に關しては、多くの文献あるも鋼中に於ける炭素又は其他の原素の含有量に依て異なるが故に、概括的に鋼の性質に差支へ

なき磷の含有限度を一定する事は不可能である。

酸性法と鹽基性法に依て多少の差はあるが、磷の含有限度は平爐鋼では 0.06% 以下、轉爐鋼では 0.08% 以下、特殊鋼では 0.02—0.03% 以下と云ふ様に製造法又は用途に依て、色々其の限度が異なつて居るが含有の少ないもの程優良なものとして居る。

磷は鐵の中で如何なる状態で存在するかと云へば數年前英吉利の National Physical Laboratory で Houghton 氏に依て研究せられた Fe-P の状態圖¹⁾ (第1圖) に依ると鐵の中に磷が入れば炭素と同じく著しく其の熔解點を下げるが固態の鐵

第 1 圖 磷-鐵状態圖



の中で磷の含有1% 迄は α -iron の中に固溶態の状態であり、夫れ以上になれば Fe_3P と云ふ化合物が生成し、磷を固溶態として含有する α -iron と Fe_3P との共晶を作り其の熔解點は 1,050°C に低下する。

鍊鐵又は炭素の含有が極めて少ない極軟鋼では、或程度の磷の含有は却て抗張力を増し、總ての機械的性質に於て炭素と同様な影響を來し良い結果を現はす、之は磷がフェライトの中で固溶態

として存在する爲めである、然しながら鐵の中の炭素の含有が増せばフェライト中に於ける磷の熔解度を減じ、極めて少量の磷が存在しても Fe_3P なる化合物が生じ、 Fe_3P と磷を固溶態として含有する α -鐵と熔解點の低い共晶となつて、grain boundary に析出する爲め、鋼の性質に著しく悪い影響を來すのである、即ち鋼の組織に於ける結晶粒間の膠着力を弱くするのである、此の現象は鋼中の炭素の含有が高くなる程著しい。此の他磷がある爲め悪い影響を來すのは磷の含有が増せば鋼塊中の偏析を起す爲め鋼塊各部の成分が不齊になるとか粗粒結晶を生じ易いとか云ふ事になる。

磷が鋼の性質に如何なる影響を及ぼすかと云へば今迄の文献に依れば、或る範囲内では抗張力や弾性限界を増し、伸張率並に断面收縮を減ずる即ち延性は減ずるが、硬度は増加する。軟鋼の場合では磷の含有が 0.12%¹⁾ 位迄は抗張力の増加を來すが夫れ以上になれば却て抗張力は減少する、Campell²⁾ 氏は低炭素鋼に於ては磷の含有の或る範囲内に於て 0.01% の磷の増加は 0.7kg/mm² の抗張力を増すと稱して居る。又 Mc'Intosh³⁾ 氏の研究に依れば C 約 1% を含む低炭素鋼で磷の含有 0.012—0.085% の範囲内で磷が 0.01% の増加に依て 0.6—0.7kg/mm² の抗張力を増すと述べて居る、尙同氏の研究結果に依れば磷の含有増加に依て延性を損する事は決してなく耐久力の試験の結果は却て疲勞に對する抵抗を増すと稱して居る、斯くの如く靜的試験では或る限度の磷の存在は強さを増すが、磷の及ぼす最も著しい現象は衝撃抗

¹⁾ H. M. Howe:- The Metallurgy of Steel

²⁾ H. H. Campell:- The Manufacture and Properties of Iron and Steel.

³⁾ F. F. Mc'Intosh:- Mining and Metallurgy, 1926, p. 332.

¹⁾ J. L. Houghton:- J. Iron and Steel Inst., 1927 Vol. I, p. 417.

第 1 表 原 鑛 及 熔 鐵 分 析 表

鑛種	原 鑛									種類	熔 鐵				
	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	CuO		C	Si	Mn	P	S
桃沖	59.81	12.05	0.80	0.130	tr.	0.520	0.034	0.047	0.009	桃沖	0.02	0.023	0.006	0.016	0.009
大平	61.70	4.54	1.32	tr.	2.36	—	2.580	0.138	—	大平	0.02	0.037	0.069	1.839	0.012

力を減ずる事で急激な震動に對して弱い事である

以上述べた如く鋼の性質に及ぼす燐の影響に關する一般的の説は一致して居るが、炭素の含有の等しき鋼と云つても、鋼中の炭素以外の不純物滿俺、硫黄、硅素等の含有が色々變る爲め、燐の含有量の變化に對する鋼の機械的性質の變化を的確に數字的に現はしたものがまちまちになるのも止むを得ないのである。

此の研究では炭素の含有なく、他の不純物の極めて少き鐵中の燐の含有量を變へて其の機械的性質に及ぼす影響を研究せり、試料中に含まるゝ滿俺、硅素、硫黄等の不純物は極めて微量なるが故に、大體他の實驗に於ける結果に依て鐵の性質に及ぼす燐の影響を知る事が出来る。

試 料

研究に用ひた試料は、燐の含有少き桃沖赤鐵鑛

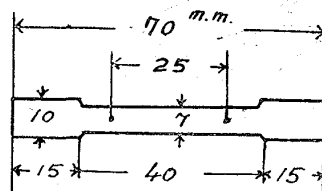
及び燐の含有多き大平褐鐵鑛を水素還元法に依り還元して得た還元鐵を熔解して、第1表に示せるが如き2種の熔鐵を製造し、是等の二つの原料を適當に配合して含有燐0.015%から0.91%迄の試料を造り、是等の試料に對する抗張力の試験、硬度試験、衝擊試験並に電氣抵抗の測定を行つた。

以上二つの熔鐵を適宜に配合して、約1kgの鐵塊を鑄造し之を12mmの丸棒並に12mm角に鍛鍊し試験片を製作せり。

物 理 的 試 験

1. 牽引試験：一前に述べた燐の含有を色々變

第 2 圖 抗張力試験片



へた鐵塊を徑 12mm

の丸棒に鍛鍊したも

のから第2圖に示す

様な試験片を製作し

900°Cにて1時間焼

第 2 表 機 械 試 験 成 績 (1)

No	成 分 %				彈性界限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸張率 %	斷 面 收 縮 率 %
	Si	Mn	P	S				
1	0.016	0.016	0.020	0.008	14.3	27.5	52.4	76.4
2	0.002	0.037	0.039	0.008	16.2	30.8	53.0	
3	0.002	0.037	0.061	0.009	16.5	31.7	50.0	
4	0.001	0.037	0.086	0.007	18.7	34.6	46.0	
5	0.002	0.037	0.114	0.006	18.8	35.7	44.0	
6	0.002	0.037	0.141	0.007	21.8	38.6	41.8	
7	0.001	0.037	0.176	0.009	22.1	40.1	40.0	
8	0.001	0.037	0.232	0.009	25.5	40.8	39.6	
9	0.001	0.037	0.260	0.009	27.5	43.8	38.0	
10	0.001	0.037	0.292	0.011	28.3	43.5	34.4	
11	0.001	0.037	0.352	0.011	31.6	43.1	33.2	
12	tr.	0.032	0.202	0.008		35.5	41.6	69.3
13	—	—	0.924	0.016		32.9	0.8	—
14	0.007	0.082	0.524	0.007	31.4	45.9	31.8	32.0
15	0.005	0.082	0.263	0.005	23.5	40.7	32.6	59.3
16	0.035	0.089	0.578	0.008	29.5	41.0	28.4	21.8
17	0.012	0.061	0.727	0.009	34.0	56.3	27.5	6.3
18	0.010	0.082	0.319	0.007	21.6	35.1	33.1	62.4
19	0.005	0.061	0.348	0.009	22.8	39.3	33.2	61.3
20	tr.	0.015	0.079	0.033	13.0	25.9	36.0	51.0

No. 20 は瑞典産木炭鐵を試験に供せしものなり。

戻しアムスラー5種試験機に依り牽引試験を行つた各種試料に對する試験の結果は第2表の通りである。

弾性界並に抗張力は不純物の少き純鐵に近き成分のものでは非常に小さいのであるが、此の研究に於ても弾性界は磷の少い0.02%以下位では14 kg/mm²位のものが磷の含有増加と共に漸次大きくなり0.3%になれば25kg/mm²、0.7%では33 kg/mm²位となり夫れ以上に磷の含有が増せば、伸張率が殆どなくなり又弾性界も無くなり、鑄鐵の如く最大荷重で直に破壊する。

抗張力は磷の含有0.02%のもので25kg/mm²位であるが、磷の増加が約0.1%迄は其の増加率が

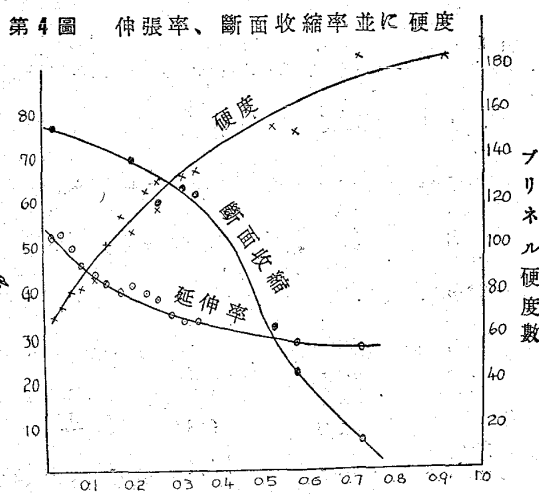
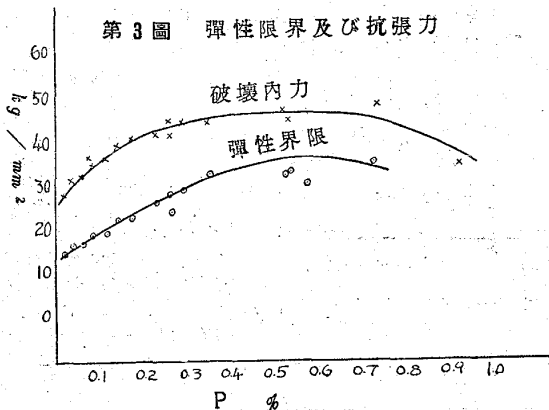
多く夫れ以上なれば磷の増加に伴ふて抗張力も漸次増大するが、其の増加率が減じ、含有磷約0.7%で最大となる。磷の含有量と弾性界限並に抗張力の關係は第3圖に示す様である。

伸張率及び断面收縮率の方から見れば、磷の含有量が0.2%位迄は急に減じ、夫れ以上0.55%位迄の増加では其の減少著しならず0.8%で殆どなくなる。

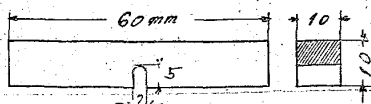
2. 硬度試験：一熔解後の鐵塊試料を鍛鍊して立方形の試験片を作り950°Cにて1時間焼戻せるもの對してブリネル硬度計で硬度試験を行つた、硬度は磷の含有が増すに連れて増加するが炭素の影響程著しからず磷の含有0.02でブリネル硬度68位のものが、磷が約0.7%になれば180位になり夫れ以上磷の含有が増しても硬度は餘り増加しない、硬度試験の結果は第3表に示し、尙第4圖には磷の含有量と伸張率、断面收縮並に硬度の關係を現はしてある。

第3表 機械試験成績 (2)

No.	P%	衝擊値 m.kg.cm ²	ブリネル 硬度	電氣抵抗 10 ⁻⁶ o.h.m.at 15°C
1	0.020	20.26	68	
2	0.039	23.00	73	10.06
3	0.061	26.00	80	11.16
4	0.086	18.26	81	11.40
5	0.114	11.66	86	11.76
6	0.141	10.58	101	12.69
7	0.176	13.50	113	12.79
8	0.232	8.62	124	13.36
9	0.260	3.01	128	13.80
10	0.292	2.61	141	14.47
11	0.352	2.66	147	15.06
12	0.202	4.18	106	13.62
13	0.924	0.54	183	23.24
14	0.524	0.33	146	18.04
15	0.263	1.42	116	15.57
16	0.578	0.45	149	19.19
17	0.727	0.36	183	21.15
18	0.319		125	13.66
19	0.348	2.91	126	14.82
20	0.079	11.33	82	11.67



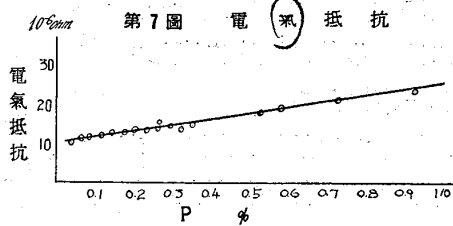
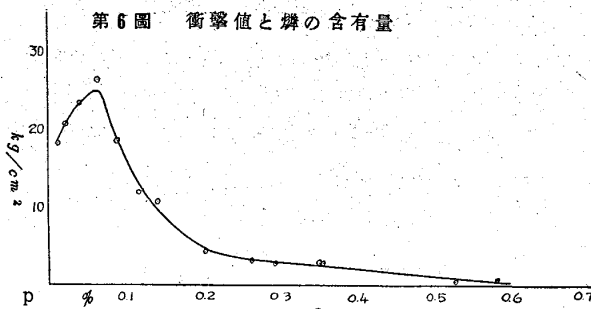
第5圖 衝擊試験片



3. 衝擊試験：一衝擊試験はシャープピー 30kgの試験機を使用し第5圖に示す様な試験片を何れ

も 950°C で 1 時間焼戻したものに就て行つた、其の結果は第 3 表に示されてある。

衝撃試験の結果に依れば、面白い現象は磷の含有の少ない 0.06% 以内のものでは磷の増加に連れ、衝撃値が大になり、0.06% 以上磷の含有増加と共に急激に減少し、鋼の場合に於ける炭素の含有増加に伴ふ影響よりも著しい、炭素 0.2% では衝撃値 10m.kg 位のものが、磷の含有 0.2% では 7.5m.kg 又炭素 0.3% で 6m.kg なるも磷の 0.3% では 2.5m.kg と云ふ様に減少し、磷が 0.5% 位になれば非常に小さくなる、磷の含有増加に伴ふ衝撃値の變化の曲線は第 6 圖に示されて居る。



4. 電氣抵抗：— 電氣抵抗の測定には熔解後の鐵塊から丸棒に鍛鍊せるものを徑 7mm に仕上げ、950°C で 1 時間焼戻したものに就て 0.0002 o.h.m の標準抵抗を使用し示差測定法に依て測定した、一方ポテンシヨメーターにて測定したものと比較して殆ど同一の結果が得られた、其の結果は第 3 表に示されて居る、電氣抵抗測定の結果に依れば、磷の含有増加に依り比抵抗は第 7 圖に示せるが如く直線的に増加し、磷の 0.01% の増加に依り 1.55 10^{-6} o.h.m の抵抗の増加がある、故に鐵の中に他の

不純物の含有が少ければ電氣抵抗の測定に依て磷の含有量を知る事が出来る。

磷の鐵の組織に及ぼす影響

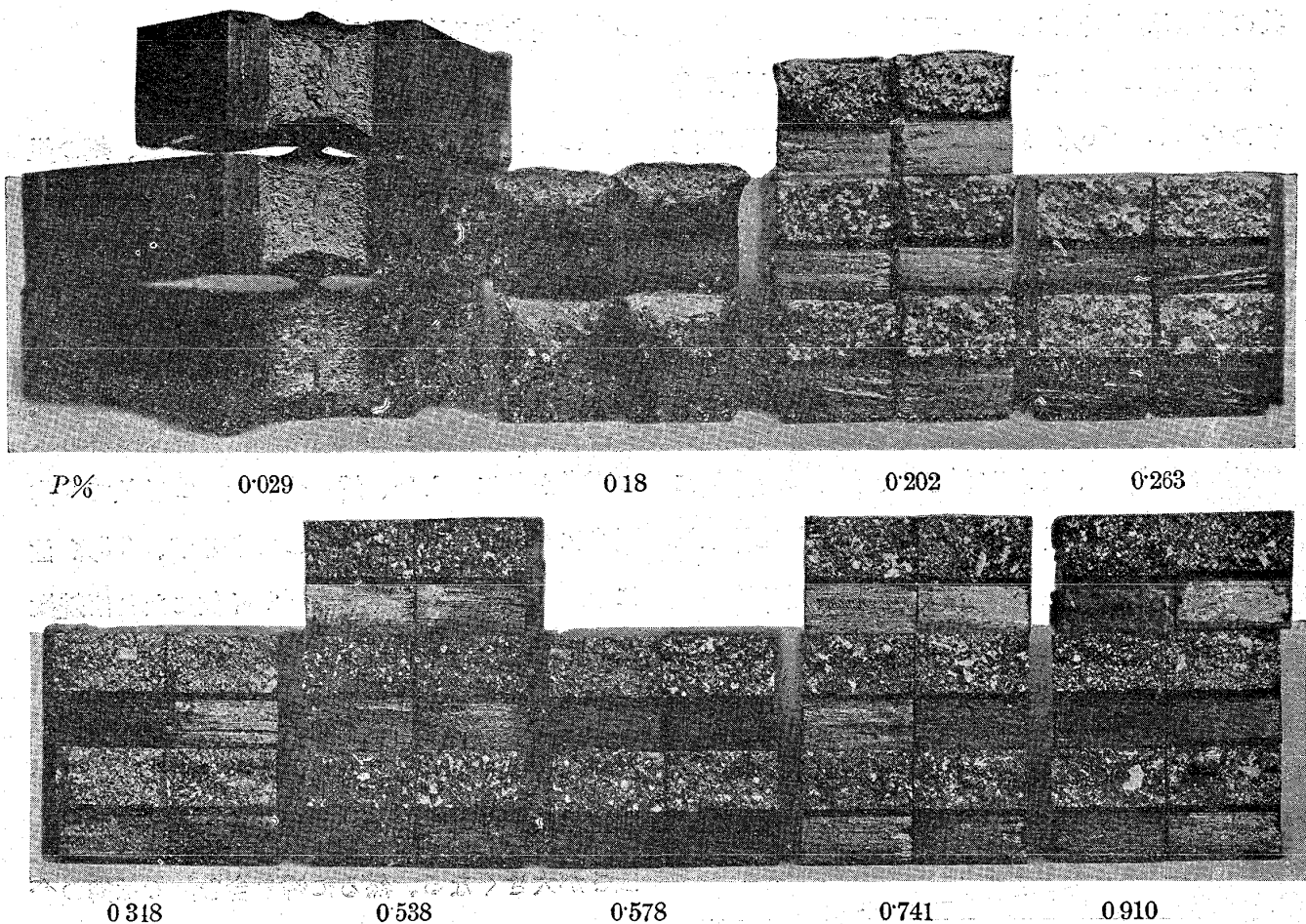
鐵の中に於ける炭素の含有量が増せば、鋼の組織に於て結晶粒は段々小さくなり、炭素鋼では其の破面を調べて結晶粒の大きさに依て熱鍊すれば略ぼ炭素の含有量を推定する事が出来る。

然るに磷の場合に於ては炭素の場合と反對に含有量が増加すれば、結晶粒の大きさは漸次増大し其の現象が特に著しい、磷の含有量 0.2% 位でも肉眼的に此の現象が現はるのであるが、0.5% 位になれば非常に大きくなり 0.7% 位になれば鉄鐵の如き破面になる。

所で炭素鋼に於ては結晶粒が小なる程其の強さを増し、同じ炭素の含有量のものでも熱處理又は加工に依て其の結晶の成長が防げられたものは、強さが大きくなる、然るに磷を含む鐵では磷の含有が増加するに連れ結晶が大きくなり、強さも或る限度迄は大きくなると云ふ結果を示して居る。

炭素鋼に於て磷の含有が多いと衝撃値が減少し shock に對する抵抗が著しく弱いのであるが、是は前に述べたるが如く鐵中に炭素が存在する爲め磷の溶解度即ち固溶態の状態が存在し得る量が少く、僅少の磷の含有の場合でも、過剰の磷が Fe_3P の形で存在し、磷を溶解した α -鐵と共晶を生成し、夫が各結晶粒の間に析出する爲めと考へられて居るが、此の磷を含む鐵では状態圖にも明かなるが如く 1% 以下の P は固溶態で存在し、其の組織を顯微鏡で調べて見ても其の結晶粒の間に何等の異状を認めない、故に磷を含む鐵では衝撃に對して弱いと云ふ事は、磷の増加に依て延性を減じ硬度が増す事と、結晶粒が大きくなる爲めと説

第 8 圖 磷の含有量と鐵の破面



明した方が至當の様に考へらるゝ。第8圖は含有磷が 0.029 から 0.910% の試料の破面を示せるものにして磷の含有増加に依て結晶粒の増大する有様を知る事が出来る。

總 括

本研究の結果を總括すれば、磷の鐵の機械的性質に及ぼす影響は略ぼ炭素の影響に似て居る、磷の含有が 0.2% 以内位の範圍に於ては延性を失ふ代りに、弾性界並に抗張力が著しく増加し、Vibratory stress 即ち shock に對する抵抗の減少はあるが餘り甚だしき程度ではなく寧ろ 0.2% 以内位の P の含有の有る方が其の機械的性質を良くする。

鍊鐵では炭素の含有量は 0.05% 或は夫れ以下のものが多いのであるが、其の炭素の含有量の割合に抗張力の大なるは全く磷の含有の爲めであつて、瑞典産木炭鐵の如く磷の低いのもあるが、普通磷の含有量は 0.1—0.15% 多いものでは 0.20%

に及ぶ、故に鍊鐵の場合で或る一定の強さを要求する場合には寧ろ其の程度に應じて一定の磷の含有が望ましい事になる。

本研究の結果並に鍊鐵の例より考へて、鐵又は炭素の含有が極めて低い極軟鋼の場合なれば、磷の含有は相當高くも差支へない、唯熔融法で斯くの如く炭素の低い熔鋼又は熔鐵を製造する場合に、完全なる脱酸を行ふ事が非常に困難であつて、酸素が鐵の中に固溶態若しくは、 FeO の形で残り、其の酸素の影響は磷以上に悪い影響を來すのであるが、夫れが往々にして磷の影響と間違へらるゝ。

故に熔鐵又は極軟鋼の製造の場合でも其の作業中に全く酸化製鍊を行はず、始めから最後迄還元又は中性の状態で作業したものであれば磷の含有が 0.2% 以内位あれば、工業的の材料として使用するのに差支へないのである。