

流の通過が陰極面に不平均となるやうなことがなく、比較的一様に分配せられる。

以上挙げた所から知られる様に、衝撃による振動陰極を用ふる電解法はその装置及び操作が極めて簡単であつて、

しかも平滑で純粋な製品が得られ、電流密度を甚だ大ならしめ得られるから仕事の能率が上り、電流効率もよく鐵の電解には極めて適当な方法と考へられる。(終)

壓延鋼材の機械的諸性質に及ぼす燐の影響

足立逸次*

ON THE EFFECT OF PHOSPHORUS UPON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL.

By Itsuji Adachi.

SYNOPSIS:—Various observers does not agree exactly as to the effect of phosphorus on the physical properties of steel; owing to the fact that its effect changes by the amount of carbon, manganese and other impurities in steel. The present investigation was carried out for finding the effect of phosphorus upon the mechanical properties of our basic open-hearth steel as rolled by means of eliminating the effect of carbon and manganese on the physical properties of steel. The results of it may be summarized as follows.

- (1) On the plain carbon steel which contains carbon, manganese and phosphorus in simultaneously, the effect of phosphorus, under the same amount of carbon, was detected by means of eliminating the effect of manganese present.
- (2) The effect of phosphorus on the tensile strength, yielding point and elongation of steel increases with the increase of the carbon content and the impact resilience, under the same amount of carbon and of manganese, decreases with the increase of the phosphorus content.
- (3) So far as the relations between chemical compositions and physical properties of steel are concerned, the presence of about 0.08 phosphorus for plain carbon steel does not to be damaged in practice the mechanical properties of steel.
- (4) The relations between chemical compositions and mechanical properties of our basic open-hearth steel as rolled may be expressed by the following empirical formula

$$T = 0.33C + 0.008CP + 0.64P + 0.005CMn + 0.02Mn + 30.2$$

$$Y = 0.15C + 0.00087CP + 0.37P + 0.0009CMn + 0.11Mn + 18.0$$

$$E = 312/C - (0.0022CMn + 0.011CP + 0.127P) + 22.0$$

where; T=Tensile strength in kg/mm^2 Y=Yielding point in kg/mm^2 E=Elongation in %G. L. 50mm dia of specimen 14mm C=Carbon content in % $\times 100$ Mn=Manganese content in % $\times 100$ P=Phosphorus content in % $\times 100$

I. 緒 論

燐の含有量が鋼の機械的性質に及ぼす影響に就ては、既に諸實驗者¹⁾に依りて、研究せられて居るが、其の説く處區々にして實地作業上の参考となすに不便が尠くない。而して P 含有量の比較的少ない鹽基性平爐より製したる一般の壓延鋼材に在つては、同一 C 量のものでも、燐以外に、Mn, S, Si, Cu 等の如き不純物を同時に含有して居るが故に、此種鋼材中の燐が其の機械的性質に及ぼす變化を、小數なる實驗結果から數字的に正確に把握することは蓋し困難事と思はれる。幸ひ我が八幡製鐵所に於ては、製

品の種類又は鋼質が比較的廣範圍に亘り、而も日常試験する鋼材が多數に上る關係上、著者は此處に以下記する方法に依つて、鹽基性平爐鋼中に於ける燐が壓延後の鋼材の機械的性質の上に如何なる程度の影響を與へるものであるかを實際的立場から統計的に調査し更に壓延鋼材の化學成分と、物理的諸性質との諸關係を求め、猶、壓延鋼材の機械的諸性質の相互關係より見たる燐の効果にも言及し、以つて一般の参考に資せんとすると共に壓延鋼材に對する規格を吟味する上の一助たらしむることとした。

II. 調査研究方法

本研究は、最近數ヶ年間、八幡製鐵所、鹽基性平爐に於て製鋼し、壓延したる各種鋼材の中 11,046 charge に就き各 charge 毎に一々分析成分と機械試験成績とを調査し

* 日本製鐵株式會社八幡製鐵所

¹⁾ Campbell, Webster, Stead, Howe, Vosmaer, McIntosh, E. d. Amico, etc,

之に基き、壓延鋼材中の燐の影響を調査せるものである、今其の調査方法を示せば次の如し。

(イ) 調査範囲は大正 13 年以降現在に至る間、製鐵所に於て製鋼し、壓延したる各種鋼材の中、炭素含有量 0.07 ~ 0.70% の鹽基性平爐鋼材であつて、調査せる試験片の總數は 12,000 餘箇の多數に達してゐる。

(ロ) 調査せる製品の形狀は、主として條鋼に限定し、試験片の形狀は専ら日本標準規格第四號試験片 (直径 14 mm G. L. 50 mm) に依つたのであるが、鋼質の關係上、其の他のものに就き調査したのものもある。但し延伸率に關する調査は全部第四號試験片に限定した。

(ハ) 試験成績は何れも壓延儘の状態に於ける成績であつて熱處理又は壓延後焼鈍せるものは全部之を除外した

(ニ) 同一 charge に屬するもので試験片數 2 箇以上に亘るものが多數 charge あつたが、之等は平均値を以つて、其の charge 試験成績とした。

(ホ) 分析成分は凡て製鋼分析 (Ladle Analysis) に依る。但し必要に應じ試験片の一端を分析せるものもあるが其の數は比較的少ない。

(ヘ) 調査に當つては C, P 及び Mn 以外の他の不純物の影響は之を無視したのであるが、全試料を通じ S 0.025% 内外 Si 0.20% 以下のもののみである。

(ト) 製品に對する壓延仕上温度の高低乃至其の冷却状態又は、製品の加工状態及び寸度の大小に依る影響、或は鋼の時効に依る影響等は實驗の性質上凡て考慮外に置いてゐるが全體を通じ先づ以つて普通の壓延作業状態の下に於ける試験成績と見做して差支無い。

即ち本研究は、壓延鋼材の機械的性質に及ぼす燐の影響を統計的に調査せるものであつて、調査範囲が比較的廣いことと試験片の數が多數に上つてゐることとが特徴であり従つて最後に現はれて來る平均値を基礎としたる綜合成績は比較的正確なものと思はれる。

III. 壓延鋼材中に於ける燐の状態に就て

1900 年 Stead²⁾ 氏は燐-鐵合金に就き次の事項を確かむるに至つた。

鐵は固溶體として 1.7% 迄の燐を含有し得る。而して此の固溶體は單に鐵と燐との固溶體に非らずして Fe_3P なる燐鐵化合物と、鐵とより成立してゐる固溶體である。

²⁾ Iron and steel Inst., 1900, I. p. 60.

燐が増して 1.7% 以上になると固溶體の構成する粒の間に常に一定の顯微鏡的組織を現はす Fe_3P が現はれる。此のものは非常に硬く Mohr's scale で約 5.5 の硬度を有してゐる。

従つて燐が這入ると著しく鐵の性質を害するの、要するに此の Fe_3P が甚だ脆く結晶粒間に Net-work をなして入り込み熱加工に對しても甚だ抵抗力が少ない爲であると謂つてゐる。

而して P-Fe-C の三元合金になると此等の間の關係は可成り複雑となる³⁾ 即ち鐵に炭素が加はると鐵に對する燐の溶解度は炭素のために妨げられ、従つて鐵中に固溶體の状態で存在し得る燐の量は炭素の増加と共に漸次少くなる

第 1 表は Stead⁴⁾ 氏の研究に依るもので飽和せる燐鐵合金に炭素を加入するとき析出する Fe_3P の割合を示してゐる。

第 1 表 鐵中飽和燐の析出割合

炭素	0%	0.125	0.180	0.70	0.80
游離 Fe_3P	0%	0.18	0.59	1.00	1.06
固溶せるもの	1.75%	1.39	1.18	0.75	0.70
全燐量%	1.75%	1.55	1.77	1.75	1.76

即ち、炭素 0.80% の鋼でも燐 0.70% 迄は凡て固溶體の状態で存在してゐることになる。然るに 1927 年 J. L. Haughton⁵⁾ 氏の研究に依る燐-鐵状態圖に依ると、燐含有量 1.0% 迄は燐は α -iron の中に固溶する。1.0% 以上になると Fe_3P が成生し此のものは燐を固溶せる α -iron と共晶を作り結晶粒間に入り込み、其の熔融點は 1,050°C に低下するといふ。

而して普通一般に鹽基性平爐製の壓延鋼材は炭素 0.70% 以下のものが多く、又燐含有量は總じて 0.07% 以上を超過するものは殆ど稀にして平均 0.03% 以内に止まるものが大部分である。従つて斯の如き少量の燐は常に游離地鐵又はパーライトを構成する地鐵中に固溶してゐるものと考えられ⁶⁾ 又之を顯微鏡的に見ても何等の變化を認むることが出來ない。斯の如き状態に在る燐が鋼材の物理的性質の上に如何なる程度の影響を及ぼすものであらうか。

IV. 壓延鋼材の抗張力に及ぼす

マンガン並に燐の關係

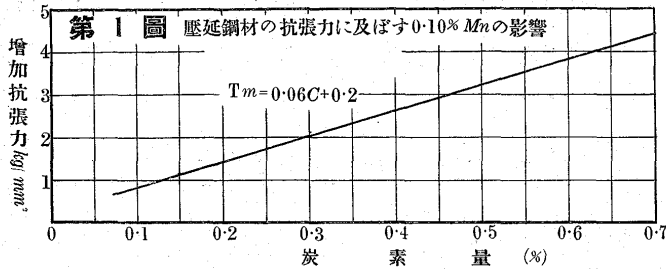
普通の壓延鋼材の機械的性質を左右する主なる元素は、

³⁾ Physico-chemical properties of steel: C. A. Edward, p. 104.

⁴⁾ Iron and steel Inst. 1900 p. 87.

⁵⁾ Iron and steel Inst., 1927.

炭素及び Mn であつて、就中 Mn の影響は C に次で相当大⁷⁾なるを以つて、鋼中に於ける P の影響を調査せんとするには是非とも先づ以て C 及び Mn の影響を考慮する必要がある。依て著者は C 含有量 0.07~0.70% の範圍に於ける壓延鋼材に就き先づ C 含有量の相等しいものを集め其の Mn, P 含有量と、機械試験成績とを調査し、更に第 1 圖に示す Mn の影響⁷⁾ (C 各%に對し Mn 0.10% 毎に増加する抗張力 Tm) に基き、箇々の試験成績に就き



Mn 含有量を一定にせるときの抗張力を計算に依つて求めた、斯くして同量 C、同量 Mn に於て P の差異のみに依る抗張力の變化を調査し得た。

其の調査方法を示せば第 2 表の如し。

第 2 表 Mn の抗張力に及ぼす影響の換算

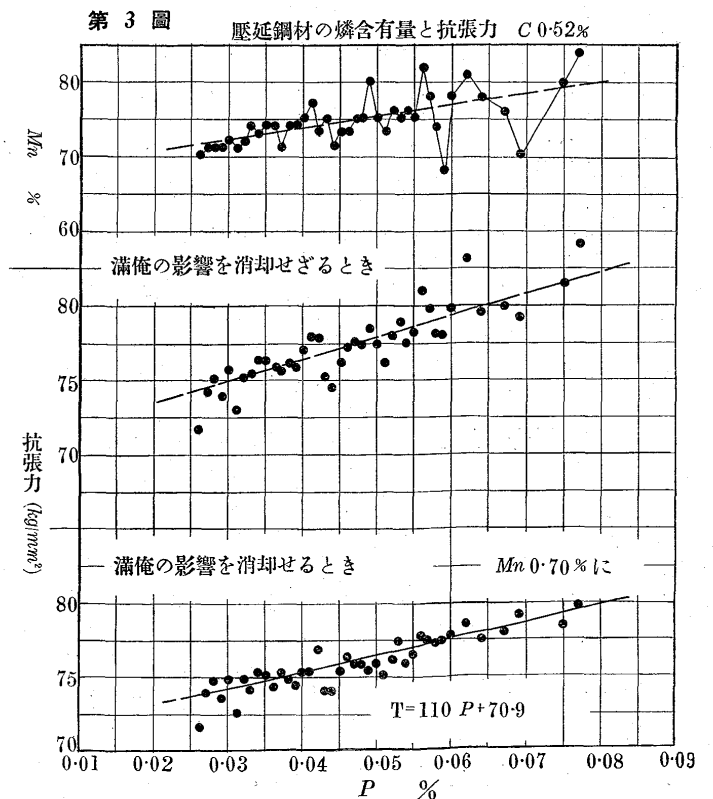
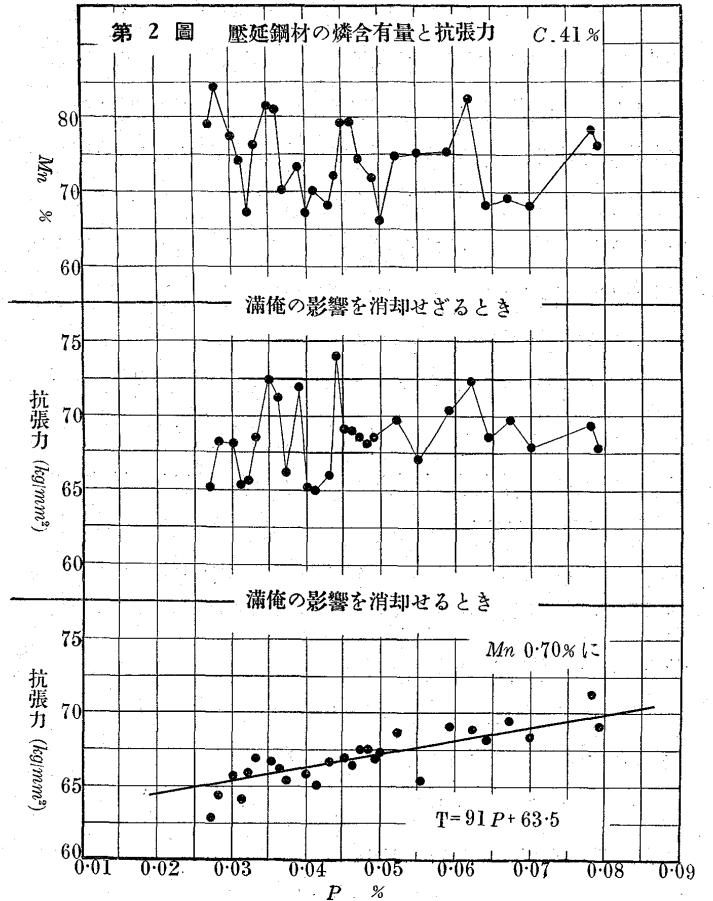
分析成分			試験成績 抗張力 kg/mm ²	Mn 0.1% に對する 増加 抗張力 kg/mm ²	Mn 0.60% に對する 過不足 の過 不足% %	過不足 Mn に對 する抗張 力 kg/mm ²	Mn 0.60 %のとき の抗張力 kg/mm ²
C %	Mn %	P %					
0.65	0.90	0.019	89.0	4.1	+3.0	12.30	76.7
0.65	0.74	0.037	85.1	4.1	+1.4	5.74	79.4
0.65	0.75	0.042	86.5	4.1	+1.5	6.15	80.4
0.65	0.78	0.054	89.0	4.1	+1.8	7.38	81.6
0.60	0.79	0.059	85.0	3.8	+1.9	7.22	77.8
0.60	0.69	0.067	80.8	3.8	+0.9	3.42	77.4
0.60	0.57	0.073	81.3	3.8	-0.3	-1.14	82.4
0.60	0.60	0.078	82.1	3.8	± 0	± 0	82.1
0.55	0.60	0.21	73.2	3.5	± 0	± 0	73.2
0.55	0.78	0.036	79.2	3.5	+1.8	+6.30	72.9
0.55	0.63	0.048	75.0	3.5	+0.3	+1.05	74.0
0.55	0.86	0.069	83.7	3.5	+2.6	+9.10	74.6
0.55	0.59	0.070	75.6	3.5	-0.1	-0.35	76.0
0.30	0.65	0.24	54.9	2.0	+0.5	+1.00	53.9
0.30	0.58	0.042	54.8	2.0	-0.2	-0.40	55.2
0.30	0.43	0.078	53.4	2.0	-1.7	-3.40	56.8
0.25	0.49	0.12	46.7	1.7	-1.1	-1.87	48.6
0.25	0.40	0.034	45.8	1.7	-2.0	-3.40	49.2
0.25	0.45	0.040	48.4	1.7	-1.5	-2.55	51.0
0.25	0.55	0.073	51.2	1.7	-0.5	-0.85	52.1

此の表に依り同一炭素量に於ける Mn 並に燐兩成分の抗張力に及ぼす關係を見るに Mn の不同を考慮せず單に燐の含有量のみに着目して抗張力の變化を見ると、炭素 0.60% の場合に、燐 0.059% ものは 85.0 kg/mm² の試験成績を示すに對し、燐 0.078% のものは 82.1 kg/mm² であ

6) Sauvour: Metallography and heat treatment of Iron and Steel

7) 城: 鐵と鋼 昭和 7 年 No. 11.

り、燐の高い方が抗張力の減少を來したる如く見える。然るに兩者に對する Mn 含有量を見るに、前者は 0.79% であり、後者は 0.60% を含み、其の差 0.19% に及んでゐる。而して炭素 0.60% のときに Mn 0.10% が鋼の



抗張力に及ぼす影響は第1圖に依り 3.8 kg/mm^2 であるから、兩者間に於ける Mn の不同に依つて生ずる抗張力の差異は 7.22 kg/mm^2 となる。従つて兩者の Mn を一定にし、何れも Mn 含有量を 0.60% のものに換算すれば前者の抗張力は 77.8 kg/mm^2 となり、後者は 82.1 kg/mm^2 となり、燐の高い方が當然抗張力大となる。

即ち、同一炭素量の下に於ける鋼の抗張力は Mn 並に燐の影響を同時に蒙つてゐるから、燐含有量高くとも Mn 含有量低きときは、燐の高い割合に抗張力は低く、他方燐含有量低くとも Mn 含有量高きときは、 Mn のため抗張力は増加し、而して兩者共に高きときは、抗張力の増加割合は益々増大して來ることが判る。

第2圖及び第3圖は、炭素含有量 0.41% のもの及び 0.52% の兩種に就き (イ) Mn の影響を消却せざるとき、(ロ) Mn の影響を消却せるとき、とに於ける燐含有量と壓延鋼材の抗張力との關係を比較調査せる結果であつて●印壹箇は3~20箇試験成績の平均値、分析は主に取鍋試料に依る。圖にて炭素 0.41% (第2圖) に於ける燐含有量と Mn 含有量との關係を見る

に、兩者の關係は極めて不規則であつて凹凸に富んだ關係に在る。従つて Mn の影響を考慮せず唯單に燐含有量と抗張力との關係丈けを見れば圖の如き不規則な結果となり、燐の増減に依る抗張力の變化は殆ど認むることが出來ない。然るに箇々の試験成績に就き第1圖に基いて Mn の影響を消却し、何れも Mn 0.70% の抗張力に換算して、燐含有量と抗張力との關係を求めれば此の場合に於ける兩者の關係は前の場合に比し頗る調整されて燐の増加と共に抗張力も亦次第に増加し其の増加狀況は圖に示す平均直線に依つて、明かに之を表はすことが出来る。

第3圖は、炭素 0.52% のものであるが此の場合に於ける燐と Mn との關係は、大體燐の

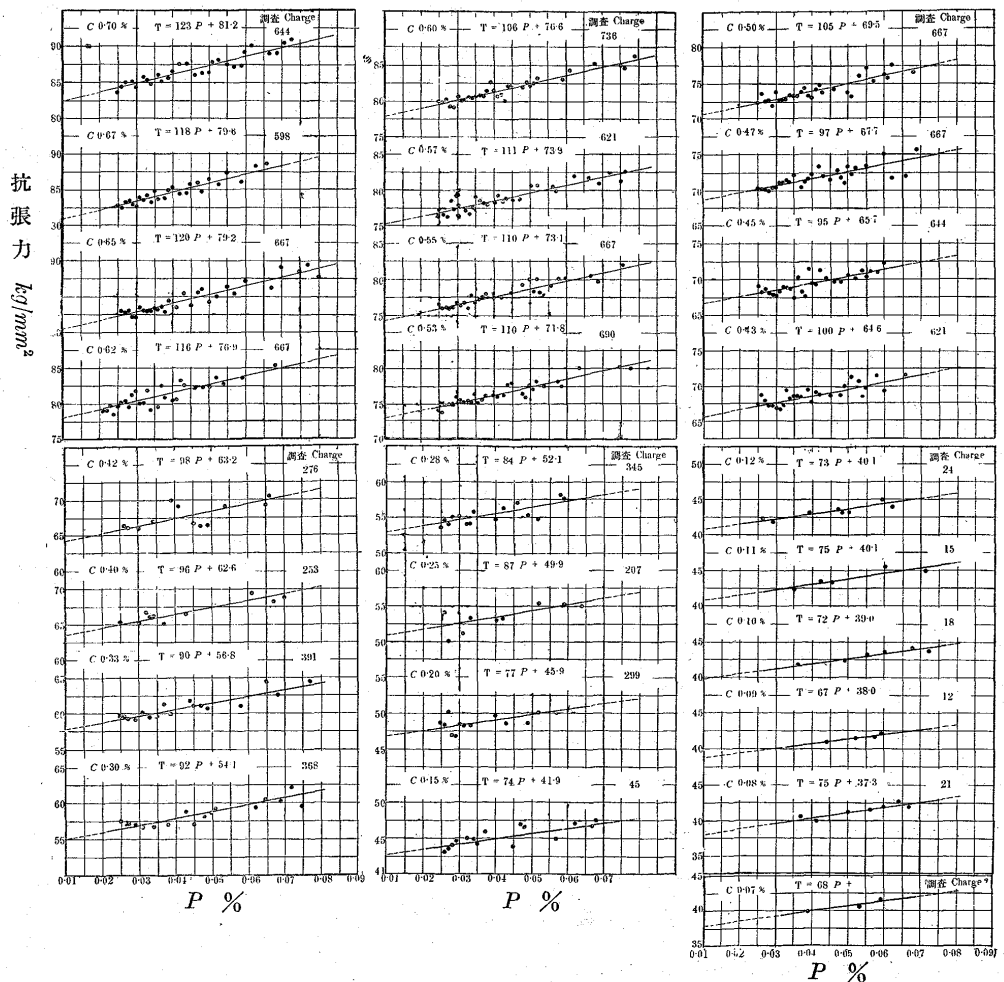
増加と共に Mn も亦増加してゐるから Mn の影響を消却せざるときに於ける燐と抗張力との關係は、圖に見るが如き右上りの高き關係直線となるが Mn の影響を消却せる後に於ては直線の傾斜度は緩慢となつて來る。

斯の如く同一炭素量なる壓延鋼材の抗張力は先づ Mn の影響を考慮し之を消却することに依りて始めて比較的正確なる燐の影響が得らるゝものと思考する。彼の普通炭素鋼に於て、同量炭素同量燐のものでありながら、機械試験の結果に著しい不同を生ずることの有るを見て燐の影響は實際把握し難いと言はれることのあるのは、恐らく Mn の影響を無視せる結果に外ならないと思惟せられる。

V. 壓延鋼材の抗張力に及ぼす燐の影響

附圖第1は、即ち、上記の方法に依り、各炭素量のものに就き Mn 含有量を 0.70% なるものに換算し、此のときに於ける燐含有量と抗張力との關係を調査せる結果である。而して圖中示す各炭素量毎の Charge 數は、其の炭素量に對する調査 Charge 數であつて、又同一炭素量

附圖 第1 壓延鋼材の燐含有量と抗張力



のものの中、燐含有量の相等的なものが多数 Charge に上つたが此等は抗張力の平均値を出して其の成分のものを代表せしめた。従つて圖中示す●印一箇は3~30箇の平均抗張力を示してゐる。但し炭素0.20%以下の低炭素のものに在つては何れも試験片の一端を分析せるもので●印一箇は3~5箇の平均である。各試料の硫黄は0.25%内外、珪素20%以下のものである。併て附圖第1を見るに Mn 0.70% のときに於ける各炭素量の燐含有量と抗張力との關係は、何れも燐含有量の増加と共に、抗張力は次第に増加し燐0.08%迄は圖の如き右上りの平均直線に依つて之を表はすことが出来る。

今此の平均直線より燐含有量と抗張力との關係を示す實驗式を求めれば第3表のやうになる。

第3表 燐含量と抗張力との關係實驗式

炭素含量%	實驗式	炭素含量%	實驗式
0.70	$T=123P+81.2$	0.40	$T=96P+62.6$
0.67	$T=118P+79.6$	0.33	$T=90P+56.8$
0.65	$T=120P+79.2$	0.30	$T=92P+54.1$
0.62	$T=116P+76.9$	0.28	$T=84P+52.1$
0.60	$T=106P+76.6$	0.25	$T=87P+49.9$
0.57	$T=111P+73.9$	0.20	$T=77P+45.9$
0.55	$T=110P+73.1$	0.15	$T=74P+41.9$
0.53	$T=110P+71.3$	0.12	$T=73P+40.1$
0.50	$T=105P+69.5$	0.11	$T=75P+40.1$
0.47	$T=97P+67.7$	0.10	$T=72P+39.0$
0.45	$T=95P+65.7$	0.09	$T=67P+38.0$
0.43	$T=100P+64.6$	0.08	$T=75P+37.3$
0.42	$T=98P+63.2$	0.07	$T=68P+37.2$

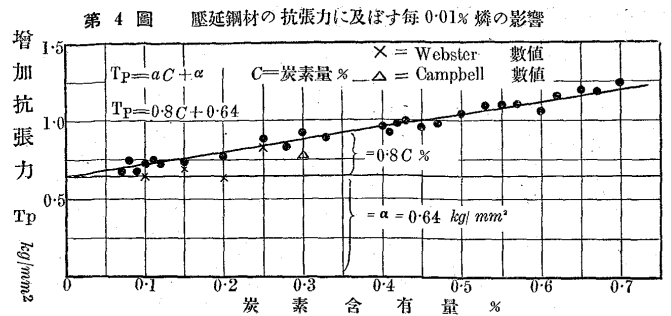
此の表の各炭素量毎に示す實驗式 $T=aP+b$ に於て、 T は抗張力 kg/mm^2 P は燐含量% a は燐のために増加する抗張力を示すと共に各平均直線の傾斜度を示して居り b は定數であつて燐の影響を引き去りたる時、即ち Mn 0.70% の下に於ける燐零% のときの抗張力を表はしてゐる。例へば炭素0.20% 及び0.60% の時に於ける實驗式は夫々

$$C\ 0.20\% \dots\dots\dots T=77P+45.9$$

$$C\ 0.60\% \dots\dots\dots T=106P+76.6$$

であるから炭素0.20% のときに、燐0.01% が鋼の抗張力に及ぼす影響は $0.77\ kg/mm^2$ であり、炭素0.60% のときには $1.06\ kg/mm^2$ なることを意味してゐる。而して、燐零% の場合に抗張力は炭素0.20% では $45.9\ kg/mm^2$ 炭素0.60% では $76.6\ kg/mm^2$ であることを示してゐる。

第4圖は0.01% 燐が歴延鋼材の抗張力に及ぼす影響を示せるもので、縦軸は燐0.01% 毎に増加する抗張力を示してゐる。而して各炭素量毎に示す●印は、第3表 $T=aP+b$ 式の a の $1/100$ の値で示されてゐる。



今炭素含有量と、燐0.01% 毎に増加する増加抗張力との關係を第4圖に依つて求むれば圖に示すが如き右上りの平均直線に依つて其の關係を表はすことが出来る。之を見るに0.01% 燐が鋼の抗張力に及ぼす影響は、低炭素の場合よりも高炭素のときに於て大となり、而も其の影響程度は炭素含有量に對し一定の比を以つて増大するものであることが判る。

即ち、著者の研究に依れば鋼の抗張力に及ぼす0.01% 燐の影響は炭素含有量に依つて異なり、炭素0.07~0.7% の範圍では約 $0.7\sim1.2\ kg/mm^2$ の増加を來すこととなる。此の値と、過去の實驗者に依り研究せられたる値とを比較すれば第4表の如くである。

第4表 抗張力に及ぼす每0.01% 燐の影響 (文献)

實驗者	每0.01% 燐の増加抗張力
Adachi	$C\ 0.07\sim0.70\%$ } $0.7\sim1.2\ kg/mm^2$ $P\ 0.08\%$ 以下 }
Webster ⁸⁾	$C\ 0.08\%$ のとき $0.56\ kg/mm^2$ $C\ 0.15\%$ のとき $1.05\ kg/mm^2$
Campbell 第一次研究 ⁹⁾	酸性鋼 $0.74\ kg/mm^2$ 鹽基性鋼 $0.67\ kg/mm^2$
Campbell 第二次研究 ¹⁰⁾	酸性及鹽基性鋼共に $0.7\ kg/mm^2$
Vosmaer ¹¹⁾	炭素の影響の $1/4$ にして 約 $0.15\ kg/mm^2$ 或る範圍内では 0.01% 炭素の影響と同じ ($0.6\ kg/mm^2$)
Stead ¹²⁾	
F. F. McIntosh ¹³⁾	炭素約 0.1% のとき $0.6\sim0.7\ kg/mm^2$
Cunningham ¹⁴⁾	構造用鋼材に在つては 約 $0.7\ kg/mm^2$

然るに著者の研究に依れば燐の影響は炭素含有量に比例して増加するものであるから、炭素量を無視して燐の影響を表はすことは妥當を缺くと思はれる。

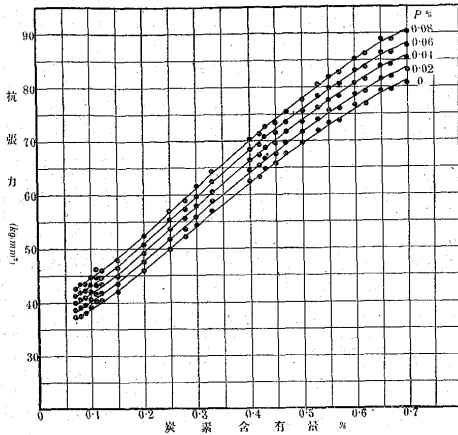
VI. 歴延鋼材の炭素及び燐含有量と抗張力との關係並に化學成分と抗張力との關係の實驗公式誘導法

8) Trans. Min. and met. Eng. 1922. p. 224.
9) Trans. Min. and Met. Eng. 1892. 21. 766.
10) Trans. Min. and Met. Eng. 1905. 35. 772.
11) Vosmaer, mechanical and other properties of Iron and steel.
12) Trans. Min. and Met. Eng. 1922. p. 224.
13) Trans. Min. and Met. Eng. 1926. p. 332.
14) Trans. Amer. Soc. Civil Eng. 1897. 38. 78.

第5圖 炭素及び磷含有量と壓延鋼材の抗張力との關係

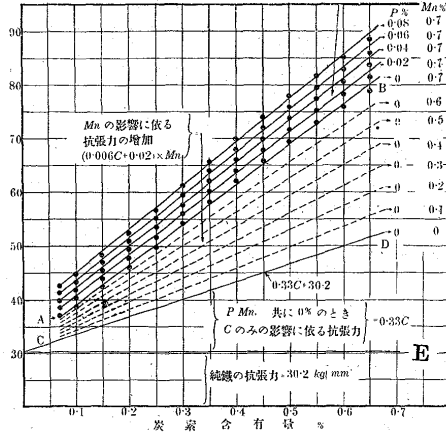
$$T = 0.33C + (0.006C + 0.02)Mn + (0.008C + 0.64)P + 30.2$$

(Mn, 0.70% のとき)



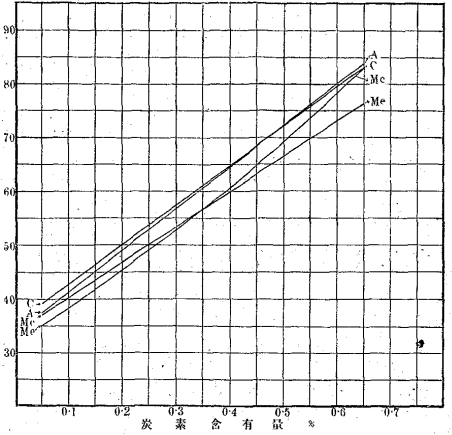
第6圖 壓延鋼材の抗張力と化學成分との關係の實驗公式誘導に關する解説圖

$$P \text{ の存在に依る抗張力の増加} \\ (0.008C + 0.64) \times P$$



第7圖 鋼材の化學成分と抗張力との關係實驗公式の比較

A = Adachi. C = Campbell.
Mc = William. Me = Merriman



第5圖は、附圖第1に基いて得たる壓延鋼材の炭素並に磷含有量と抗張力との關係を示せるものである。圖中示す●印は附圖第1の平均直線より得たる値であつて、之を一定磷毎に結ぶと、圖の如き關係線が得られる。之を見るに壓延鋼材の抗張力は、同量炭素、同量滿俺のものでも含有量の不同に依つて、抗張力に差異を來し、而も其の差異程度は、低炭素鋼の場合よりも、高炭素鋼のときに於て甚だしいことが判る。

第6圖は壓延鋼材の化學成分と、抗張力との關係の實驗公式誘導に關する解説圖である。圖中●印は第5圖の關係線より得たる値であつて、之を一定磷含有量毎に結ぶと、大體に於て何れも直線上に落ちる。而して磷 0.02, 0.04, 0.06, 0.08% の5直線の間隔は磷 0.02% 毎に増加する抗張力の値であつて、此の値は第4圖(壓延鋼材の抗張力に及ぼす 0.01% 磷の影響)に示す値の2倍である。偕て第6圖に於て AB 線は、磷零% Mn 0.70% に於ける各炭素量に對する抗張力を表はしてゐる。此の AB 線より第1圖に示す値を以つて Mn を 0.10% づつ遞減して行くときは、各炭素量に對する抗張力は、點線に依つて示すが如く漸次低下しつゝ Mn 零% のところに於て、終に直線 CD が得られる、即ち此の CD 線は Mn 零%、磷零%のときに於ける各炭素量に對する抗張力に外ならない。今此の CD 線に就き實驗式を求むれば

$$T_0 = 0.33C + 30.2 \quad (1)$$

となる。但し T_0 は Mn, 0% P, 0% のときの各炭素量に對する抗張力 kg/mm^2 C は炭素含量 % $\times 100$ とす、即ち炭素 0.1% が鋼の抗張力に及ぼす影響は此の研究で

は $3.3 kg/mm^2$ となる。之は過去の實驗者の値¹⁵⁾よりも若干低いが Sauveur 氏¹⁶⁾の Fe_3C の抗張力 ($5,000 lb/in^2$) と、城氏¹⁷⁾の研究に依る炭素の影響とに大體近似の値となつてゐる。又上記(1)式の中 $30.2 kg/mm^2$ は、C, Mn, P の中、何れにも影響されない常數であつて、此の値は、鋼に於ける地鐵の抗張力¹⁸⁾を表はしてゐると見做し得る。第6圖に於ける CE 線は即ち之れを示す。

次に第6圖に於ける滿俺の影響は、第1圖に依り次の如くなる。

$$T_M = (0.06C + 0.2) \times Mn \text{ 含量} \\ = 0.006C Mn + 0.02 Mn \quad (2)$$

此の式中の T_M は Mn の存在に依つて變化する抗張力 kg/mm^2 C は炭素含量 % $\times 100$, Mn は Mn 含量 % $\times 100$ とす又、壓延鋼材の抗張力に及ぼす 0.01% 磷の影響は、炭素含有量に對し一定の比を以つて増加し、平均直線に依りて表はし得ること第4圖に示した如くで、今此の實驗式を求むれば

$$T_P = 0.008C + 0.64$$

となる。但し式中の T_P は磷 0.01% 毎に増加する抗張力

¹⁵⁾ 1% C が鋼の抗張力に及ぼす影響: Stead $6.0 kg/mm^2$, Webster $5.6 kg/mm^2$, Thurston $4.2 kg/mm^2$, Merriman $4.6 kg/mm^2$, Campbell $5.4 kg/mm^2$

¹⁶⁾ Sauveur, Metallography and heat treatment of iron and steel, p. 139.

¹⁷⁾ 鐵と鋼 昭和7年 No 11. 城 $3.6 kg/mm^2$.

¹⁸⁾ Tensile strength of pure iron. Neville $29.2-29.5 kg/mm^2$, Escard $29.5 kg/mm^2$, Campbell $26.2 kg/mm^2$, Geollen $30.3 kg/mm^2$, Yensen $24.9-29.2 kg/mm^2$, Webster $26.7 kg/mm^2$, 城 $32.0 kg/mm^2$ (壓延鋼材の地鐵の抗張力)

kg/mm², C は炭素含量%×100 である。而して此の式は 0.01% 燐丈けの影響であるから、燐の存在に依つて變化する抗張力は

$$T_p = (0.008 C + 0.64) \times P$$

$$= 0.008 CP + 0.64 P \dots\dots\dots (3)$$

に依つて表はすことができる。式中の T_p は燐の存在に依つて變化する抗張力 kg/mm² C は炭素含量%×100, P は燐含量%×100 とする。

依つて、上記 (1). (2). (3). 式より結局、壓延鋼材の抗張力と化學成分との間には次の實驗式が成立する。

$$T = 0.33 C + 0.008 CP + 0.64 P + 0.006 CMn + 0.02 Mn + 30.2$$

此の式中の T は壓延儘の鋼材の抗張力 kg/mm² C は炭素含量%×100, P は燐含量%×100, Mn はマンガン含量%×100 とす。

但し此の式の適用範圍は、炭素 0.70% 以下 Mn 1.00% 以下燐 0.08% 以下の壓延其の儘の状態に於ける鹽基性平爐鋼材に限られる。今此の式と過去の實驗者に依り發表せられたる此種實驗式とを比較すれば、第5表及び第7圖の如くなる。圖は P=0.03%, Mn=0.70% の場合とす。

第5表 鋼の化學的成分と抗張力との關係式比較

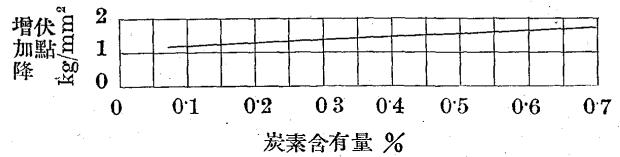
實驗者	實驗公式
Adachi(著者)	$T = 0.33 C + 0.008 CP + 0.64 P + 0.006 C Mn + 0.02 Mn + 30.2$
McWilliam	$T = \{0.56 + 0.0038(C - 20)\} C + 0.7 P + \{0.07 + 0.0014(C - 20)\} Mn + 27.0$
Merriman	$T = 0.46 C + 0.7 P + 0.0028 CMn + 0.06 Mn + 27.3$
Campbell	$T = 0.54 C + 0.7 P + 0.0028 CMn + 0.06 Mn + 29.0$

但し T=抗張力 kg/mm² C=炭素含量%×100
Mn=Mn 含量%×100 P=燐含量%×100

VII. 壓延鋼材の降伏點に及ぼす燐の影響

燐の増加と共に鋼の降伏點が次第に増加することは、各實驗者の一致した説であるが、如何なる程度に増加するか就ての系統的研究は未だ見當らない。而して著者は、此の間の消息を明かにせんがため、抗張力の場合と同一方法(採取試料、試片數量並に硫黃、珪素含量も同條件)に依りて先づ同一炭素量の下に於ける箇々の試験成績より第8圖に示すところの 0.10% Mn が鋼の降伏點に及ぼす影響¹⁹⁾に

第8圖 壓延鋼材の降伏點に及ぼす 0.1% Mn の影響



基いて Mn の影響を消却し Mn 0.70% のときに於ける降伏點を算出し結局燐の差異に依る降伏點の變化を求めた。附圖第2は其の調査成績である。

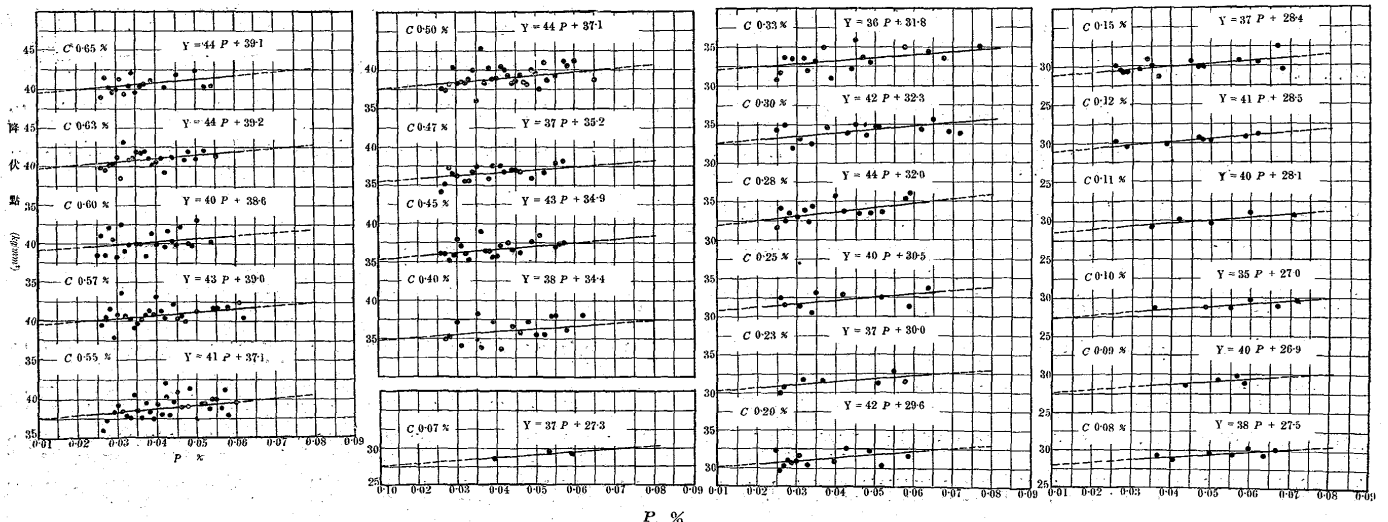
附圖第2に於て、各炭素量の下に於ける燐含有量と降伏點との關係は、何れも燐の増加と共に降伏點は次第に増加し、圖の如き平均直線に依つて之を表はすことが出来る此の各々の平均直線に就き、燐含有量と降伏點との關係を

第6表 燐含量と降伏點との關係實驗式

炭素含量%	實驗式	炭素含量%	實驗式
0.65	$Y = 44 P + 39.1$	0.18	$Y = 44 P + 32.0$
0.63	$Y = 44 P + 39.2$	0.25	$Y = 40 P + 30.5$
0.60	$Y = 40 P + 38.6$	0.23	$Y = 37 P + 30.0$
0.57	$Y = 43 P + 39.0$	0.20	$Y = 42 P + 29.6$
0.55	$Y = 41 P + 37.1$	0.15	$Y = 37 P + 28.4$
0.50	$Y = 44 P + 37.1$	0.12	$Y = 41 P + 28.5$
0.47	$Y = 37 P + 35.2$	0.11	$Y = 40 P + 28.1$
0.45	$Y = 43 P + 34.9$	0.10	$Y = 35 P + 27.0$
0.40	$Y = 38 P + 34.4$	0.09	$Y = 40 P + 26.9$
0.33	$Y = 36 P + 31.8$	0.08	$Y = 38 P + 27.5$
0.30	$Y = 42 P + 32.3$	0.07	$Y = 27 P + 27.3$

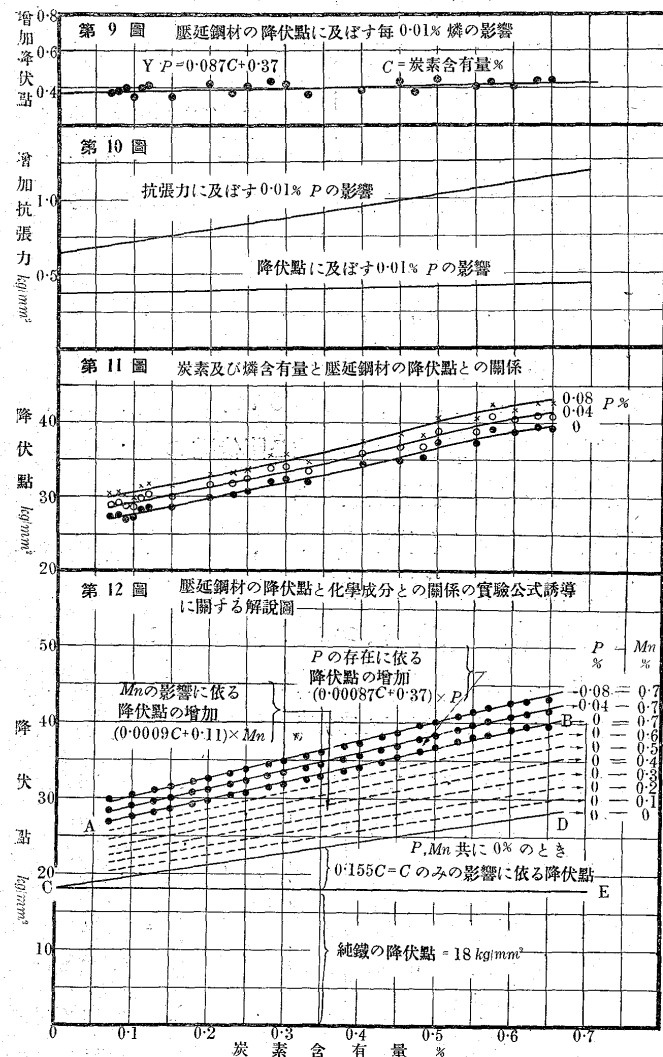
¹⁹⁾ 城氏：鐵と鋼、昭和8年 No. 4,

附圖第2 壓延鋼材の燐含有量と降伏點



示す實驗式を求めれば第6表の如くなる。

各炭素量毎に示す實驗式 $Y = ap + b$ に於て Y は降伏點 kg/mm^2 P は磷含量% a は磷のために増加する降伏點を示し b は Mn 0.70% に於ける磷零%のときの降伏點を表はしてゐる。第9圖は0.01% 磷が鋼の降伏點に及ぼす



影響を示せるものであつて、圖中示す●印は第6表の a の値の $1/100$ の値で示されてゐる。之を見るに 0.01% 磷が降伏點に及ぼす影響は抗張力の場合と同様に炭素含有量の増加と共に増加するが極めて緩慢である。第10圖は0.01% 磷が鋼の抗張力及び降伏點に及ぼす影響の比較圖であつて、後者は前者に比し増加狀況極めて緩慢なることを知る。第11圖は炭素及び磷含有量と壓延鋼材の降伏點との關係を示せるものである 即ち圖中の●○×印は附圖第2より得たる値 ($Mn=7\%$ のとき) であつて、之を一定磷含有量毎に結ぶと圖の如き關係線が得られる。之を見るに同一炭素量で同一 Mn 量のもので其の降伏點は磷の増加と共に増加し而も其の増加程度は低炭素の場合よりも

高炭素のときに於て幾分増大してゐる。

VIII. 壓延鋼材の化學成分と降伏點との關係 實驗公式誘導法

壓延鋼材の化學成分と降伏點との關係は第11圖に見たるが如く P 、 Mn 量一定なるとき、降伏點は炭素の増加に連れて大體直線的に増加すると見做し得る。今其の實驗公式を抗張力の場合と全く同様の方法にて誘導した。第12圖は其の解説圖である。

圖中の直線 AB は、磷零% Mn 0.70% のときの各炭素量に對する降伏點を表はし居り、直線 CD は磷零% Mn 零% のときの降伏點を表はしてゐる。此の CD 線より實驗式を求めれば

$$Y_0 = 0.155 C + 18 \dots \dots \dots (1)$$

となる。但し Y_0 は Mn 零%, P 零%のときの各炭素量に對する降伏點 kg/mm^2 C は炭素含量% $\times 100$ とす。

次に降伏點に及ぼす Mn の影響は第8圖に依り

$$Y_M = (0.0009 C + 11) \times Mn$$

$$= 0.0009 C Mn + 0.11 Mn \dots \dots (2)$$

となる。但し Y_M は Mn の存在に依つて變化する降伏點 kg/mm^2 。 C は炭素含有量% $\times 100$, Mn は Mn 含有量% $\times 100$ である。

又 0.01% 磷が降伏點に及ぼす影響は第9圖の平均直線に依りて之を表はすことを得べく、此の直線の實驗式を求めむるに $Y_p' = 0.00087 C + 0.37$, ($Y_p' = 0.01\%$ 磷毎に増加する降伏點 kg/mm^2 , $C = 炭素含有量\% \times 100$.) となるから、磷の存在に依る降伏點の變化は

$$Y_p = (0.00087 C + 0.37) \times P$$

$$= 0.00087 CP + 0.37 P \dots \dots \dots (3)$$

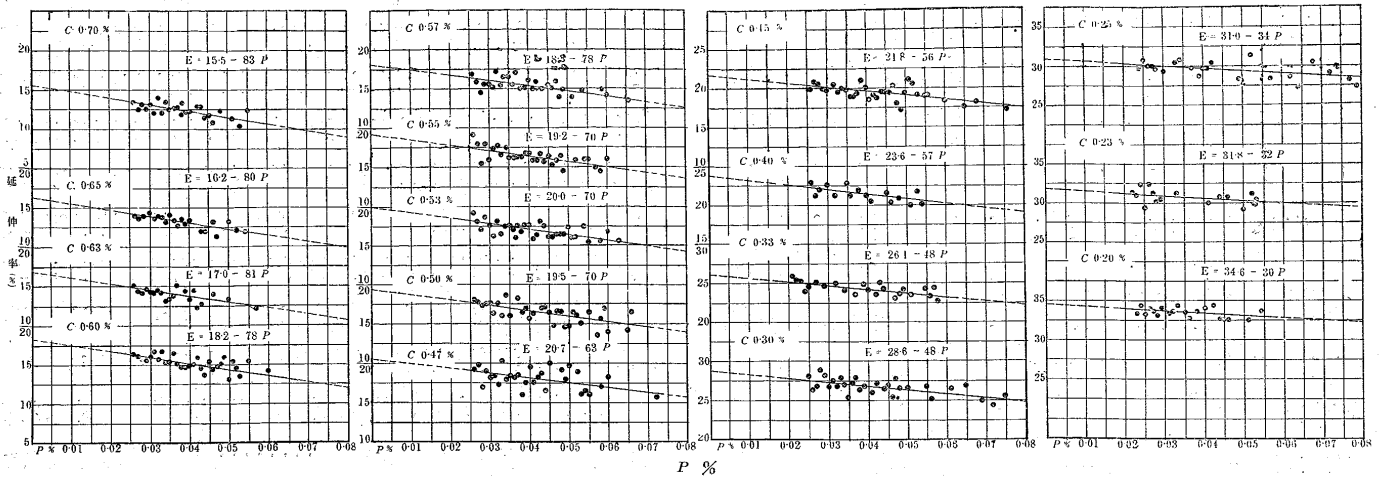
となる。但し Y_p は磷の存在に依つて變化する降伏點 kg/mm^2 , C は炭素含有量% $\times 100$, P は磷含有量% $\times 100$ である、依つて、此の (1). (2). (3) 式より壓延鋼材の化學成分と降伏點との關係は次の實驗式にて表はすことが出来る。

$$Y = 0.155 C + 0.00087 CP + 0.37 P$$

$$+ 0.0009 CMn + 0.11 Mn + 18.0$$

但し式中の Y は壓延儘の鋼材の降伏點 kg/mm^2 , C は炭素含有量% $\times 100$. Mn は Mn 含有量% $\times 100$. P は磷含有量% $\times 100$ である。而して此の式の適用範圍は、抗張力の場合と同様にして、炭素 0.07~0.70% 磷 0~0.08

附圖 第 3 壓延鋼材の延伸率に及ぼす燐の影響



% Mn 1.00% 以下の壓延儘の鹽基性平爐鋼材に限られる

経路を示したるものは第7表である。表中に見るが如く炭

IX. 壓延鋼材の延伸率に及ぼす燐の影響

第 7 表 Mn の延伸率に及ぼす影響の換算

燐の含有が鋼の延伸率に如何なる影響を及ぼすかについて、今迄の文献では、大體燐の増加と共に延伸率を減ずると云ふことに一致してゐる。但し Mc Intosh²⁰⁾ 氏の研究では、炭素約 0.1% の鋼で或る範囲内では、燐の増加に依つて延伸率を殆ど減ずること無く、又 Stead²¹⁾ 氏の研究では、炭素 0.3% の鋼で燐 0.04% のものも、燐 0.3% のものも其の延伸率は共に 23.0% であると謂ふ。

分析成分			試験成績延伸率%	Mn 0.1% が伸に及ぼす影響%	Mn 0.60% に対する Mn 量の過不足%	過不足 Mn に対する延伸率%	Mn 0.60% のときの延伸率%
C%	Mn%	P%					
.60	.79	.059	15.0	1.32	+1.9	+2.51	17.5
.60	.69	.067	14.0	1.32	+0.9	+1.19	15.2
.60	.57	.073	15.0	1.32	-0.3	-0.40	14.6
.60	.61	.073	14.5	1.32	+0.1	+0.13	14.6
.50	.78	.020	17.0	1.10	+1.8	+1.98	19.0
.50	.81	.040	15.5	1.10	+2.1	+2.31	17.8
.50	.62	.060	17.5	1.10	+0.2	+0.22	17.7
.50	.53	.077	18.0	1.10	-0.7	-0.77	17.2

凡そ壓延鋼材の延伸率は、同一成分又は同一熱処理の下に於ても試験片の破壊時に於ける状態、試験片の形状、標點距離、鋼材の加工程度乃至殺度の如何、壓延仕上温度の高低、冷却状態の差異、鋼の時効に依る影響、試験片の採取位置及び方向の如何等種々の状況に依り試験成績に不同を生ずることは言を俟たない。故に小数の試験片に依り得たる成績で即断しては其の肯綮を失するかもしれない。

素 0.50% のときに燐 0.04% のものは延伸率 15.5% の試験成績であるが、燐 0.077% のものは 18.0% であり、燐の高い後者の方の延伸率が大きとなつてゐる、然るに兩者の Mn 含有量を見るに前者は 0.81%、後者は 0.53% にして其の差 0.28% である。而して炭素 0.50% のとき 0.10% Mn の延伸率に及ぼす影響は、第 13 圖に依り 1.1% であるから、此の場合 Mn の不同に依つて生ずる延伸率の差異は 3.08% となる。故に兩者の Mn を何れも 0.53% に一定するとき、前者は 18.6% 後者は 18.0% となり燐含有量の高い後者の方が延伸率小となり當然なるべき値となる。元來同一炭素量の鋼の延伸率は、Mn 並に燐の影響を同時に蒙つてゐるから、燐の影響を求めんとせば Mn の影響を消却することに依つて比較的正確なる調査成績が得られること抗張力の場合と同様なりと思考する。

本研究では、既述の如く試験片の形状は一定(直徑 14mm 標點距離 50mm) 且つ調査せる試験片の数が極めて多數に及んで居るから、其の綜合成績は上記の諸缺點を或る程度に迄相殺してゐる。従つて比較的正確なる調査結果が得られたものと信じられる。

附圖第 3 は斯かる方法に依つて、箇々の試験成績に就き之を Mn 0.70% のときの延伸率に換算し、而して各炭素量の下に於ける燐と延伸率との關係を求めたものである。之を見るに、各炭素量を通じ燐の増加と共に延伸率は次第に減少し燐 0.08% 以下では、圖の如き右下りの平均直線

²⁰⁾ Trans. Min. and Met. Eng. 1926, p. 332.

²¹⁾ Proceeding Inst. Mech. Eng. 1906, p. 308.

²²⁾ 城：鐵と鋼、昭和 7 年 No. 11

に依つて之を表はすことが出来る。此の各々の平均直線に就き實驗式を求めれば第8表の如くなる。

第8表 燐含量と延伸率との關係實驗式

炭素含量	實驗式	炭素含量	實驗式
0.70%	$E = 15.5 - 0.83P$	0.47%	$E = 20.7 - 0.63P$
0.65	$E = 16.2 - 0.80P$	0.45	$E = 21.8 - 0.56P$
0.63	$E = 17.0 - 0.81P$	0.40	$E = 23.6 - 0.57P$
0.60	$E = 18.2 - 0.78P$	0.33	$E = 26.1 - 0.48P$
0.57	$E = 18.3 - 0.78P$	0.30	$E = 28.6 - 0.48P$
0.55	$E = 19.2 - 0.70P$	0.25	$E = 31.0 - 0.34P$
0.53	$E = 20.0 - 0.70P$	0.23	$E = 31.8 - 0.32P$
0.50	$E = 19.5 - 0.70P$	0.20	$E = 34.6 - 0.30P$

表中各炭素量毎に示す實驗式 $E = b - aP$ 式に於てEは延伸率% 直径 14mm. G. L 50mm. Pは燐含量%, abは定數である。

此の表より壓延鋼材の延伸率に及ぼす0.01% 燐の影響を示す第14圖が出来た。圖中の

縦軸は燐 0.01% 毎に減少する延伸率の値である。●印は第8表實驗式の a の値である。此を見るに鋼の延伸率に及ぼす燐の影響は、炭素含有量の増加するに連れて次第に増加し之を平均直線に依りて表はすことが出来る。

第15圖は附圖第3に基いて Mn 0.70% のときに於ける炭素並に燐含有量と壓延鋼材の延伸率との關係を示せるものであつて、圖中●×△印は附圖第3の値である。之を一定燐含有量毎に連結すると、圖の如き曲線に依りて延伸率を表はすことが出来る。

X. 壓延鋼材の化學成分と延伸率との關係の實驗公式誘導法

第16圖は、化學成分と延伸率に關する實驗公式誘導の

解説圖である。圖中實線を以つて、示す曲線は、第15圖の延伸曲線にして此の場合に於ける Mn 含有量は 0.70% である。今燐零%の曲線から第13圖の値を以つて Mn を漸次遞減して行くときは、各炭素量に對する延伸率は點線の如き延伸曲線の経路を辿り次第に増加し Mn 零% に到つて曲線 AB を得るに到る。此の AB 線は燐零% Mn 零% のときに於ける各炭素量に對する延伸率を表はしてゐると見做し得る。而して炭素含有量 0.20~0.70% の範圍で延伸率は炭素の増加と共に大體双曲線的に減少してゐることが窺はれるから、此の曲線の實驗式は次の如くなる

$$E_0 = 312/C + 22 \cdot 0 \dots \dots \dots (1)$$

但し E_0 は Mn, P 共に 零% のときの延伸率%, C は炭素含有量%×100 とす。次に第13圖より鋼の延伸率に及ぼす Mn の影響を求めれば

$$E_M = (0.0022 C) \times Mn = 0.0022 CMn \dots \dots \dots (2)$$

に依りて表はされる。式中の E_M は Mn の存在に依つて變化する延伸率%, C は炭素含有量%×100, Mn は Mn 含有量%×100 とす。又第14圖に見るが如く 0.01% 燐が延伸率に及ぼす影響は、炭素含有量に對し一定の比を以つて増加し、其の増加狀況は同圖に示す平均直線に依りて表はすことが出来る。此の平均直線の實驗式を求めれば $E_p' = 0.011 C + 0.127$ となる。従つて、燐の存在に依つて變化する延伸率の値は

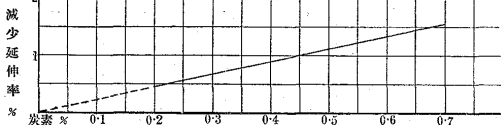
$$E_p = (0.011 C + 0.127) \times P = 0.011 CP + 0.127 P \dots \dots \dots (3)$$

に依つて表はすことが出来る。式中 E_p は燐の存在に依つて減少する延伸率%, C は炭素含有量%×100, P は燐含有量%×100 を示す。依つて、上記 (1), (2), (3) 式より壓延鋼材の化學成分と延伸率との間には次の實驗式が成立することになる。

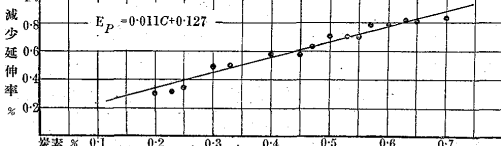
$$E = 312/C - (0.0022 CMn + 0.011 CP + 0.127 P) + 22 \cdot 0$$

式中の E は炭素 0.20~0.70% の壓延其の儘の壓延鋼材の延伸率%, 標點 50mm, 直径 14mm であつて、C は炭素含有量%×100, Mn は Mn 含有量%×100, P は燐含有量%×100 を示す。而して此の式の適用範圍は、炭素 0.20~0.70%, Mn 1.0% 以下燐 0.08% 以下の鹽基性平爐鋼材であつて、試験片の形狀は、日本標準規格第4號試験片である。

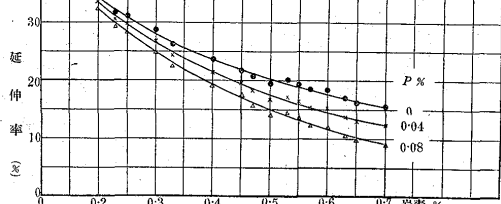
第13圖 各炭素量に對する Mn, 0.10% 増加に依る延伸率減少狀況



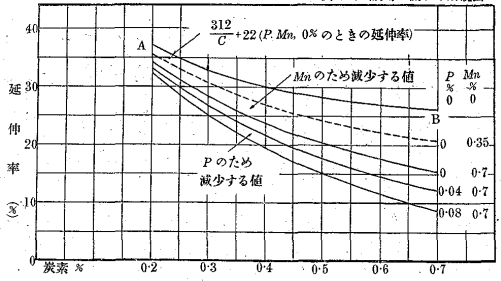
第14圖 壓延鋼材の延伸率に及ぼす 0.01% P の影響



第15圖 壓延鋼材の炭素並に燐含有量と延伸率との關係



第16圖 壓延鋼材の延伸率と化學成分との關係の實驗公式誘導に關する解説圖



XI. 壓延鋼材の衝撃抗力に及ぼす燐の影響

燐が壓延鋼材の静的試験 (static test) に及ぼす影響は上述の如しであるが、其の影響の最も著しいのは衝撃抗力を減少せしむるに在ると謂はれてゐる。然るに嘉村氏の研究²³⁾では、鐵の (炭素を殆ど含有しない) 衝撃抗力に及ぼす燐の影響は燐 0.06% 迄は燐の増加と共に衝撃抗力は却つて増加し 0.06% 以上になれば燐の増加と共に減少するが餘り甚しい程度では無く寧ろ全般的に見て、鐵に 0.2% 以内の燐を含有する方が其の機械的性質を良好ならしむると謂ふ。而して著者は炭素含有量 0.25~0.65% の範圍に於ける壓延鋼材 518 種に就き燐の差異に依る衝撃抗力の變化を調査した。

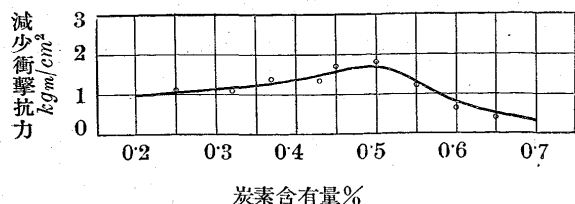
(イ) 衝撃試験の要件 衝撃試験片は抗張試験片の一端より採取し、試験片の採取方向は壓延方向に平行である。何れも壓延儘の状態にて試験を行ひ、同種試験片 4~8 箇の平均値を求めた。試験機は charpy 式 25 kg/m 衝撃試験機、打撃速度は 4.7 m (秒速)、試験片の形状は Mesnager's 型 10 mm × 10 mm × 53 mm. 刻目幅は 2 mm. 刻目深は 2 mm. 刻目半径は 10 mm (附圖第 4) とす。

(ロ) 試料の分析成分 製鋼分析に依ることを原則とせしが試験片の一端を分析せしものが可成り多數に及んでゐる。

(ハ) 調査範圍 炭素含有量 0.25~0.65%, Mn 含有量 0.60~0.80% の壓延鋼材にして燐の含有量は 0.06% 以内、全試料を通じ硫黄 0.02% 内外、珪素 0.20% 以下のものである。

(ニ) 衝撃抗力に及ぼす燐の影響 凡そ、普通炭素鋼に於て、炭素含有量の増加と共に鋼の衝撃抗力は次第に減少し、又同一炭素量のものでも Mn 含有量の増加するに連れて、衝撃値も亦次第に少くなることは周知である。而

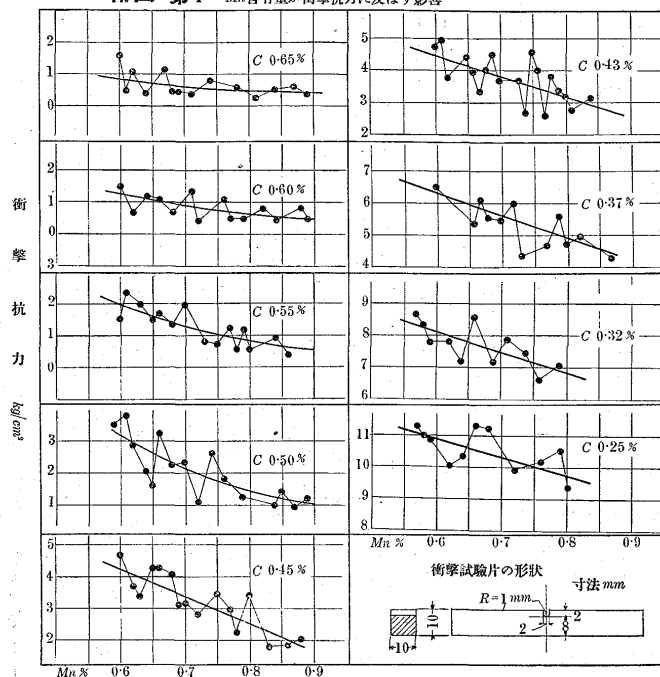
第 17 圖 Mn 0.60% のときと 0.80% のときとに於ける各炭素量に對する衝撃抗力減少狀況



して各炭素量に對する Mn が衝撃抗力の上に如何なる程

度の影響を及ぼすものであるかを考ふるに城氏の研究²⁴⁾に依ると Mn 0.6~0.8% の間では第 17 圖の値を以つて減少することが判る。而して著者は此の Mn 0.6% より 0.8% に到る途中の衝撃抗力の減少狀況を究明せんがため各炭素量のものに就き Mn 0.6~0.9% 迄の衝撃抗力の減少狀況を調査せしに附圖第 4 の如き成績を得た。

附圖第 4 Mn 含有量が衝撃抗力に及ぼす影響



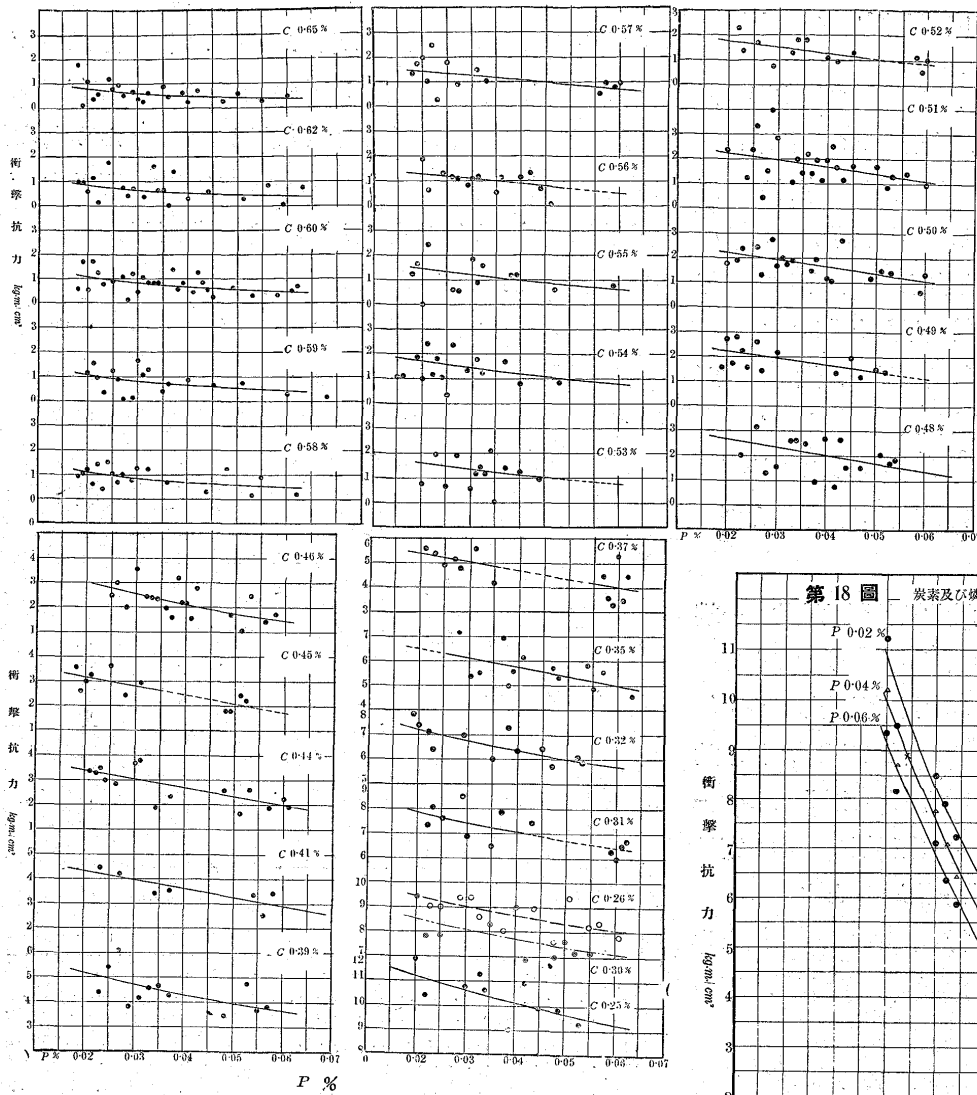
此を見るに、各炭素量に對する衝撃抗力は高炭素のものに在つては、幾分曲線的に減少するが各炭素量を通じ Mn 0.60~0.80% の間に於ては、大體直線的に減少するものと見做し得る。第 17 圖に於ける○印は、即ち附圖第 4 より得たる値であつて Mn 0.60% より 0.80% に到る間に於て減少せし衝撃値を示す。之は大體城氏の研究結果に一致することとなる。故に各炭素量に對し夫々 0.01% Mn を増加するとき生ずる減少衝撃値は Mn 0.60~0.80% の範圍内では、第 17 圖の 1/20 の値を以つて之れを表はすことが出来る。

(ホ) 燐の含有が衝撃抗力に及ぼす影響 附圖第 5 は、Mn 0.60~0.80% の範圍内に在る炭素含有量の相等しい衝撃試験成績を集め、之に就き Mn 及び燐含量を調査し更に箇々の衝撃試験成績に就き Mn 含有量の大小に依つて生ぜし衝撃抗力の不同を取り除かんがため、第 17 圖に基いて、何れも Mn 0.70% の時に於ける衝撃抗力を求め、以つて同一炭素量、同一 Mn 量の下に於ける燐の差

²³⁾ 嘉村氏：鐵と鋼 昭和 7 年 No. 4

²⁴⁾ 城氏：鐵と鋼 昭和 8 年 No. 4

附圖 第5 磷含有量が衝撃抗力に及ぼす影響



素含有量の増加と共に圖の如く曲線的に減少し、又一定炭素量の下に於ては、磷の増加と共に衝撃値も亦次第に減少してゐる(附圖第5に示す平均値線参照)

第19圖は、第18圖より得たる値であつて、各炭素量に對し磷を0.02%より0.06%に増加するとき生ずる減少衝撃抗力を示してゐる。

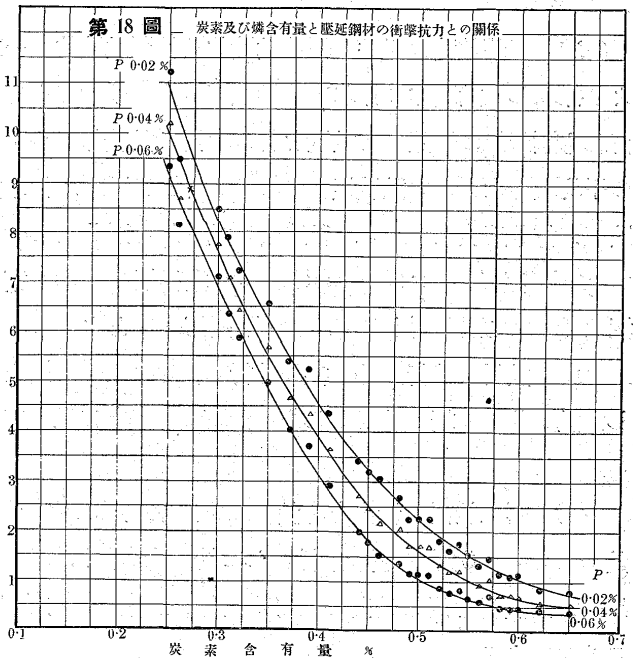
異に依る衝撃抗力の變化を調査せし結果である。其の調査方法を示せば第9表の如し。

第9表 Mnの衝撃抗力に及ぼす影響の換算

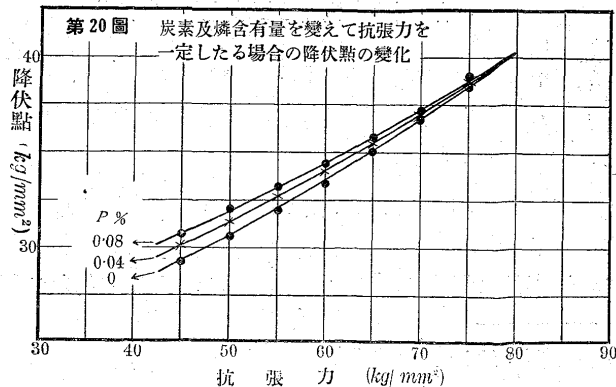
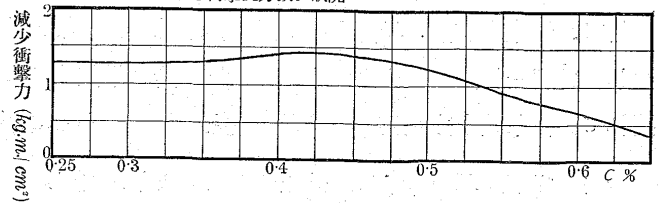
分析成分	試験成績	Mn 0.60	0.01% Mn	Mn 0.70	過不足	Mnに對%にした	0.70
C% Mn% P%	kgm/cm ²	kgm/cm ²	kgm/cm ²	kgm/cm ²	%	するMn	するMn
	cm ²	値	の過不足	擊抗力	擊抗力	擊抗力	擊抗力
		kgm/cm ²	kgm/cm ²	kgm/cm ²	kgm/cm ²	kgm/cm ²	kgm/cm ²
.55 .81 .021	1755	13	0.065	+11	+715	2.47	
.55 .69 .027	0.766	13	0.065	-01	-065	0.71	
.55 .76 .030	1.462	13	0.065	+06	+390	1.87	
.55 .70 .039	1.210	13	0.065	±0	±0	1.21	
.55 .68 .047	0.750	13	0.065	-02	-130	0.62	
.55 .73 .059	0.605	13	0.065	+03	+520	0.80	

即ち、壓延鋼材の衝撃抗力は、同一炭素量のもつても Mn の影響と磷の影響とを同時に蒙つてゐるから、磷の影響は先づ Mn の影響を取り除くことに依り比較的明瞭に現れるものであることが判る。

第18圖は、上記の方法に依つて Mn 7% のとき磷の影響を調査せし附圖第5の調査成績を一圖に纏めたるものであつて、圖中示す●△印は、何れも附圖より得たる値である。之れを見るに、磷を一定にせる場合の衝撃抗力は、炭



第19圖 磷0.02%のときと0.06%のときとに於ける各炭素量に對する衝撃抗力減少狀況



XII. 壓延鋼材の機械的諸性質の相互關係に及ぼす燐の効果に就て

燐の含有が壓延鋼材の靜的試験並に動的試験 (dynamic test) に及ぼす直接影響に就ては、上述せるところであるが、茲に其の機械的諸性質相互關係に於ける影響に就き考察して見やう。

(イ) 抗張力と降伏點との關係に及ぼす燐の影響 第10表は、第5圖 (炭素燐含有量と抗張力との關係)及び第11圖 (炭素、燐含有量と降伏點との關係) より得たる數値であつて、炭素及び燐の含有量を變へて、抗張力を一定にしたる場合の降伏點の變化を調査せる結果である。

第10表 炭素燐含量と抗張力降伏點との關係數値

炭素含量 %	燐含量 %	抗張力 kg/mm^2	降伏點 kg/mm^2	降伏點/抗張力	炭素含量 %	燐含量 %	抗張力 kg/mm^2	降伏點 kg/mm^2	降伏點/抗張力
0.585	0	75.0	38.5	0.513	0.285	.08	60.0	34.4	0.573
0.515	.04	75.0	38.7	0.516	0.310	0	55.0	32.0	0.582
0.460	.08	75.0	39.0	0.520	0.268	.04	55.0	32.6	0.593
0.510	0	70.0	36.8	0.526	0.230	.08	55.0	33.2	0.604
0.450	.04	70.0	37.0	0.529	0.250	0	50.0	30.6	0.612
0.400	.08	70.0	37.2	0.531	0.210	.04	50.0	31.3	0.626
0.440	0	65.0	35.1	0.540	0.175	.08	50.0	32.0	0.640
0.385	.04	65.0	35.4	0.545	0.190	0	45.0	29.3	0.651
0.342	.08	65.0	35.7	0.549	0.150	.04	45.0	30.0	0.667
0.375	0	60.0	33.4	0.557	0.105	.08	45.0	30.7	0.682
0.325	.04	60.0	33.9	0.565					

之れを見るに壓延鋼材の抗張力は同一値であつても燐の含有量に差異のある場合に降伏點は、高炭素、低燐鋼よりも低炭素高燐鋼の方が大となり、従つて降伏點と抗張力の比も亦大となる。此の傾向は、炭素含有量の低下するに従ひ益々助長せられることは同表に依り明かに窺はれる。

第20圖は、第10表を圖に示せるもので壓延鋼材の抗張力と降伏點との關係に及ぼす燐の影響を表はして居り、同一抗張力の下に於ても燐含有量に依つて降伏點に差異を來し、抗張力の低い程其の差異の甚しいことを示してゐる。

(ロ) 抗張力と延伸率との關係に及ぼす燐の影響 第11表は、炭素及び燐含有量を變へて、抗張力を一定にしたる場合の延伸率の變化を第5圖及び第15圖 (炭素、燐含有量と延伸率との關係) より得たる數値である。

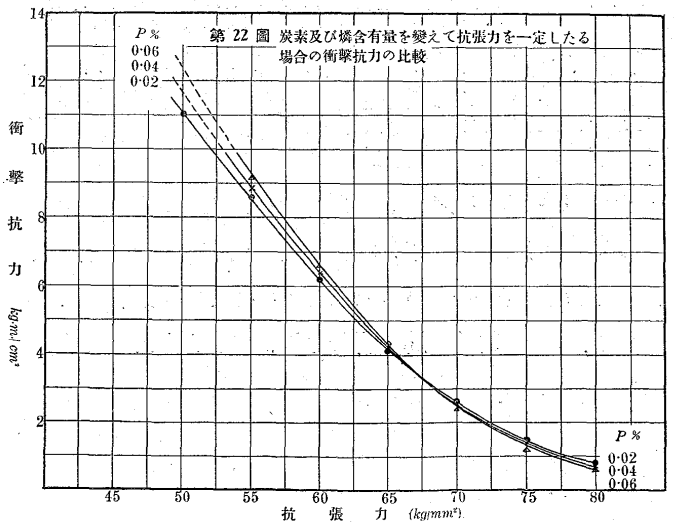
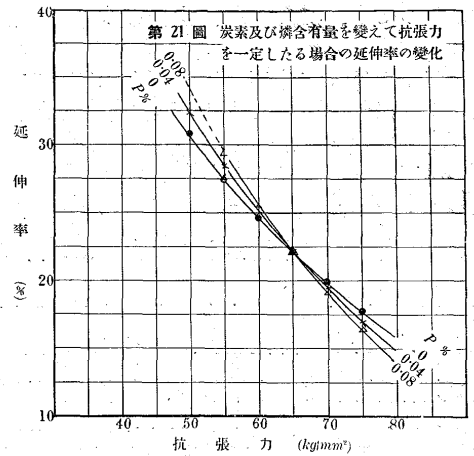
第11表 炭素、燐含量と抗張力延伸率との關係數値

炭素含量 %	燐含量 %	抗張力 kg/mm^2	延伸率 %	炭素含量 %	燐含量 %	抗張力 kg/mm^2	延伸率 %
0.585	0	75.0	17.8	0.375	0	60.0	24.6
0.515	.04	75.0	17.0	0.325	.04	60.0	25.0
0.460	.08	75.0	16.6	0.285	.08	60.0	25.6
0.510	0	70.0	20.0	0.310	0	55.0	27.5
0.450	.04	70.0	19.5	0.268	.04	55.0	28.5
0.400	.08	70.0	19.1	0.230	.08	55.0	29.5
0.440	0	65.0	21.2	0.250	0	50.0	30.8
0.385	.04	65.0	21.2	0.210	.04	50.0	32.5
0.342	.08	65.0	21.2				

之れを見るに、壓延儘の状態に於て、抗張力は同一値でも燐の含有量の差異に依つて其の延伸率は變化してゐる。而して茲に興味あることは、普通炭素鋼の抗張力 $65.0 kg/mm^2$ 以上のものに在つては、高炭素低燐鋼は、低炭素高燐鋼に比し、一定の抗張力に對し延伸率は増大するに反し $65.0 kg/mm^2$ 以下に在ては、高炭素低燐鋼の方が延伸率の減少を來してゐる。

第21圖は、此の現象を圖示せるもので、圖中△●×印は第11表の値である。圖に見る如く、燐 0.04, 0.08% の3曲線は抗張力約 $65.0 kg/mm^2$ のところに於て交叉して居り、 $65.0 kg/mm^2$ 以上に

到れば燐 0% のときよりも燐 0.08% のときの方が延伸率の減少を來せども、 $65.0 kg/mm^2$ 以下に在つて、全然此れと反對の



第12表 炭素、燐含量と抗張力、衝擊抗力との關係數値

炭素含量 %	燐含量 %	抗張力 kg/mm^2	衝擊抗力 kg/mm^2	炭素含量 %	燐含量 %	抗張力 kg/mm^2	衝擊抗力 kg/mm^2
0.630	.02	80.0	0.8	0.365	.06	65.0	4.30
0.585	.04	80.0	0.7	0.350	.02	60.0	6.20
0.555	.06	80.0	0.6	0.325	.04	60.0	6.40
0.550	.02	75.0	1.5	0.305	.06	60.0	6.60
0.515	.04	75.0	1.37	0.290	.02	55.0	8.60
0.485	.06	75.0	1.20	0.270	.04	55.0	8.90
0.480	.02	70.0	2.60	0.250	.06	55.0	9.20
0.450	.04	70.0	2.50	0.230	.02	50.0	11.0
0.425	.06	70.0	2.40	0.210	.04	50.0	11.6*
0.415	.02	65.0	4.10	0.190	.06	50.0	12.3*
0.385	.04	65.0	4.20				

*は第18圖より得たる推定値。

現象を呈し、磷の増加するに従つて延伸率の増加を來してゐる。

(ハ) 抗張力と衝撃抗力との關係に及ぼす磷の影響 次に、抗張力と衝撃抗力との關係の上に及ぼす磷の影響を考ふるに、先づ第5圖及び第18圖(炭素、磷含有量と衝撃抗力との關係)より第12表の關係が得られる。

第22圖は抗張力と衝撃抗力との關係に及ぼす磷の影響を圖示せるもので、圖中●×△印は第12表の値である。

之を見るに、抗張力約 67.0 kg/mm^2 以下の場合に在つては、高炭素低磷鋼は、低炭素高磷鋼に比し抗張力は同一値であつても、其の衝撃抗力は減少するに反し 67.0 kg/mm^2 以上の場合に於ては増大を來す。是は前の延伸率の場合と逆の現象を呈すれども、其の増減程度は抗張力 80.0 kg/mm^2 迄の範圍では、左程著しいものでないことが判る。

斯くの如く、壓延儘の状態に於て、假令抗張力は同一値でも、磷の量に不同がある場合には、降伏點、延伸率及び衝撃抗力は何れも變化するものである。而して一定の抗張力の下に於ける降伏點、抗張力の比は低炭素高磷鋼の方が高炭素低磷鋼よりも増加し、炭素含有量の低くなる程増加程度が大きい。又一定の抗張力に對する延伸率は抗張力約 65.0 kg/mm^2 以下に在つては、低炭素高磷鋼の方が高炭素低磷鋼に比して、増加し、抗張力 67.0 kg/mm^2 以下に於ては衝撃抗力も亦之と全然同一現象を呈するものであることは、上述せるところに依り瞭である。

是に依り之れを觀るに、普通の壓延鋼材 (Commercial rolled steel) は 0.08% 程度の磷を含有するとも著しく其の機械的性質を害することなく、寧ろ半硬鋼程度以下のものに於て 0.06% の磷を含むものは、夫れ以下の少量の

磷を含むものに比し材質的に見て、有利なる機械的性質を具備してゐることとなる。

XIII. 結 論

以上著者は専ら實際的立場から統計的に壓延鋼材の機械的性質に及ぼす磷の影響を調査した。而して本文を次の如く結ぶ。

(1) 炭素 Mn 磷、其の他の不純物を同時に含有する普通一般の壓延鋼材に在つては、同一炭素量のものでも、其の機械的諸性質は Mn の影響と、磷の影響とを同時に蒙つてゐるから、磷の影響は Mn の影響を消却することに依り始めて明かに之れを調査し把握することが出来る。

(2) 壓延鋼材の抗張力、降伏點及び延伸率に及ぼす磷の影響は、磷 $0 \sim 0.08\%$ の範圍内では、炭素含有量の増加と共に漸次増加し、其の増加狀況は炭素含有量に對し一定の比を以つて増加する。

(3) 同一炭素量で同一 Mn 量の下に於ける鋼の衝撃抗力は磷の増加と共に次第に減少する。

(4) 唯單に壓延鋼材の化學成分と機械的性質との諸關係から見れば一般の壓延鋼材 (plain carbon steel or Commercial rolled steel) に於て 0.08% 程度の磷を含むとも左程甚しく機械的性質を害することなく、寧ろ半硬鋼程度以下のもので 0.06% の磷を含むものは、夫れ以下の少量の磷を含むものに比して、抗張力同一値でも、降伏點、延伸率及び衝撃抗力が増加し、材質的に見て、有利なる機械的性質を具備してゐる。

(5) 壓延鋼材の化學成分と機械的諸性質との間には、比較的簡單なる實驗式が成立する。