

翻譯

鹽基性炭素鋼の性質上に及ぼす燐の作用

(Arno Ristow, Karl Daeves, Ernst Hermann Schultz. Stahl und Eisen, 56(1936) S. 889-899; S. 921-930)

熊谷卯之助¹⁾・野村盛文 譯

内 容

1. 仕上鋼の燐を低からしめんとする規定が鹽基性平爐法並に轉爐法に於けるスラグ及鋼の酸素分の増加に與へる影響
 1. スラグ量の増加
 1. マンガン經濟の不利
 1. 徳利狀鑄型による燐の偏析減少
 1. 構架及軌條用炭素鋼の引張抗度、降伏點、伸、彎曲抗度、切欠き衝擊値、常溫彎曲抗度、耐磨耗性、耐蝕性、深絞り性、常溫又は熱間造形性、鍛接性、旋盤屑の快離性等に及ぼす影響
 1. 鋼の許容燐分が餘りに低すぎるための影響、鍛造品中の非金屬介入物、薄板の粘着物、鍛接の際の疵物、軌條の耐磨耗性の減退
 1. 本論文に對する反省

鋼を使用する人々には其鋼の機械的及工學上の性質が大なる意義を有するものであつて、多くの材料規格を見るに各化學的成分が規定せられ、特に高い純度が必要以上に要求せられてゐる觀がある。

抑々不純とは燐分と硫黄分との謂であつて、鋼中に燐分と硫黄分とが少くない程益々其鋼は優良であり又價値が高いとされて居る、此見解が鋼需用家間に一般に廣められ、恰も燐のみが有害であるかの如く信じられて居るのは遺憾である。

取引規定上の燐分の制限は唯單に長年の經驗及それに基づく統計的基礎に従つて定められたものに相違ないから、之を批判するには頻度數¹⁾に依ることが最も適當な又最も信頼し得る方法である様に思はれる。斯くすれば諸所で多年間に蒐集した數値を充分に検討することが出来、又頻度數研究に依れば偶然の結果を採り上げる様な事を避ける事が出来る。

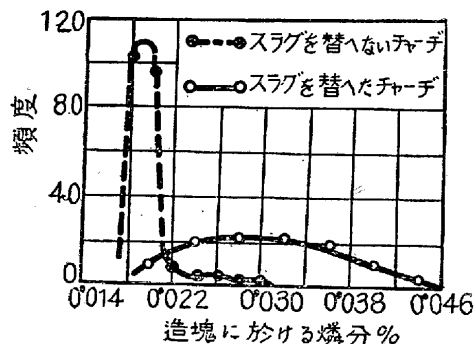
抑も燐の不評は何所から來たかを調べて見ると 1885 年迄の記録によれば何れも燐の含有量はベセマ鋼で 0.1% 以上、バッドル鋼で 0.3% 以上は材料を硬くし、脆弱にするけれども、耐蝕性を増すものであるとしてゐる²⁾ 獨逸鐵鋼協會の 1889 年の公表による鐵鋼供給に對する規定³⁾ には化學成分の事には聊かも觸れず、或形での熱間曲げ試験、常溫曲げ試験及急冷曲げ試験、鍛鍊試験及穿孔試験の事を極丁寧に擧げてあり、其一部が現在適用せられてゐるものである。即ち當時は先づ取引の際の鋼の用途に適する性状を十分に試験した上で成分の限界が獨斷で決定せられたが敢て之を告げるものもなかつた。其後取引條件が設定された際に、餘り高い燐分は畢竟多數の用途に對し好ましからぬといふ見解が採り入れられ、實際燐分

が少ない程一般的に優良な性状となると誤信されるに到つた。現代に至り、何れの國でも燐に對する心配は程度を超へて居ると云ふ聲が高まりつゝあり、W. Eilender⁴⁾ の如きは鋼の純度要求は往々正當でないことを公表し W. Beckers⁵⁾ は世人は燐の影響を一般に患ひ過して居る、0.08% 迄の燐分は鋼鑄物に何等の不利をも起さぬと断定し F. F. McIntosh 及 W. L. Cockrell⁶⁾ は燐分により軟鋼の(繰返し試験による)疲勞限が著しく高められるが、靱性がそれがために減退せしめられる事は斷じてないと稱し、結局事實を精細に検討すれば、燐は一個の貴重なる元素と稱すべきであると言及してゐる。

A 冶金上の關係

I 平爐法(銑鐵屑鐵法)に於ける燐分と精練方法

固定式平爐の銑鐵屑鐵法に於ては燐分を極度に低下せんとするため餘り燐分の高くない銑鐵を使用する事を前提としてゐるから、装入原料に餘り多量の燐分が有つてはならぬのである。燐分が高いと脱燐に多量の石灰を要し、それだけスラグの量が増し、ために焔から鋼浴への熱の傳達が困難となり、精練時間が長くなり、尙且鋼に缺點を生ずる場合もある。(第 1 圖)



第 1 圖 スラグ變替の平爐鋼の燐分の上 に及ぼす影響

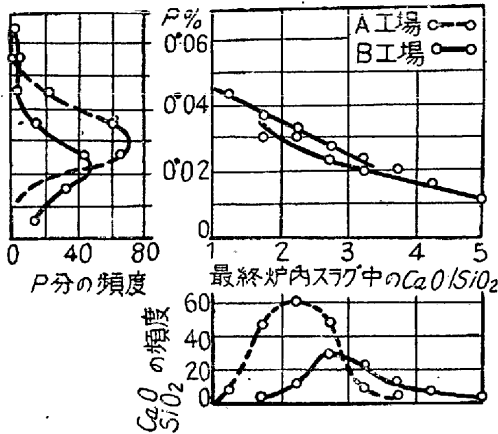
出來たスラグを先づ排除する事は固定式爐では殆んど不可能であり、少くも時間と費用とを要する事である。傾注式爐では燐分の多い初生スラグを傾注して除去することは出来るが、同時に熔解進行中のスラグ中の一酸化マンガンが大部分之と共に移注され、ために多大のマンガン鐵消費を來すこととなる。F. Körber⁷⁾ も亦豫熱しないマンガン鐵を最初の 10mn に加入すれば、其後トーマス鋼中の酸素分が一層増した事を確めて居る。P. Bardenheuer⁸⁾ は此マンガン鐵による脱酸の直後見らるゝ、奇怪な酸素分の増量は、其時新に出來た一酸化滿俺が出鋼迄の短時間中には、尙未だ全然鋼中からスラグ中へ脱出し得ざるか、或は極めて微量に過ぎぬためであると

¹⁾ 日本鋼管株式會社技術研究部

し、又マンガン鐵は出來た鋼に有害な酸化物及ガスを多量に含有すると説明して居る。故に單に磷分を低めるためのみに爐を傾けてスラグを除去するとすれば、冶金術上何等有利であるとは云ひ得ないのである。

次に挙ぐる圖面は幾多の工場から得たものを取纏めたので、使用した鉄鐵の種類並に練爐方法の相違に従ひ、AとBとの二組に別けてある。A組の工場では需用家から、B組の工場の様に、最終製品中の低磷分を要求されて居らぬ。A組工場とB組工場との曲線を比較すれば、兩組工場では脱磷劑を如何様に使用したか、又これにより如何なる副作用が有つたか窺はれる。

造塊の試料



第2圖 平爐鋼の最後の爐内スラグの鹽基度及磷分

第2圖は0.2~0.6% Cの鋼を造るに際し先づ裝入物中の磷分又は鋼の溫度を考慮せずにフェロマンガ加入直前の爐内スラグの石灰對珪酸の割合を造塊試料中の磷分と比較して見た、此試験を行つた工場では最終スラグの磷分は0.8%~3.5%であつた。スラグの鹽基度が脱磷上に及ぼす影響の大なる事は、既に周知であるがB組工場ではスラグの鹽基度を高めて作業を行ひ、かくて裝入物中に磷分が高いにも拘らず、部分的には甚だ低い磷分が得られるに至つた。

第2圖には下方に石灰と珪酸との割合の頻度曲線を又左方には磷分の頻度曲線を挙げて説明を便ならしめてゐる。圖はA組の工場では曲線の最高點は2~2.5%の鹽基度の所にあり、B組の工場では2.5~3.5%の間にあることが判る。

取鋼へ出鋼の際に脱磷劑(フェロシリコン及アルミニウム-シリシウム合金)を加入すれば取鋼内スラグの珪酸分が高くなり、又之に加ふるに鋼の煉瓦の滓化のため鋼内の鋼の磷分も變つて來る。それ故石灰と珪酸との割合がフェロマンガ加入前の磷分に及ぼす影響をも調べたのである。此際爐内スラグの磷分及其の溫度の影響を避けるため、鑄込溫度を調整せずに1430~1470°して置いて、其スラグの磷分が1~2.5%の限度に止まる如き熔鋼を作つた。斯く制限してもカーブの状態は殆ど變らず第2圖の通りであつた。

R. Back⁹⁾が確め得た所によれば、スラグ内の一酸化鐵は其の鹽基度と密接の關係がある。H. Schackmann⁸⁾及W. Krings¹⁰⁾は

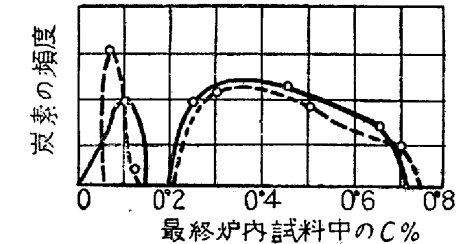
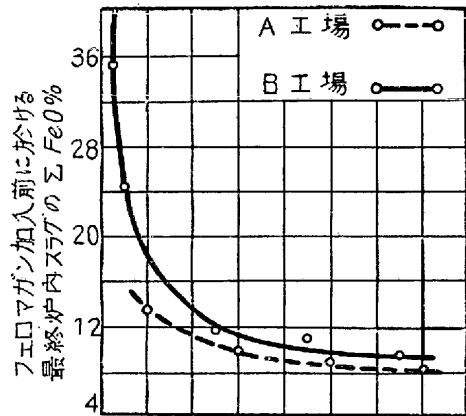
$$\frac{[\Sigma P](FeO)^5(CaO)^3}{(\Sigma P_2O_5)} = K_P$$

であると説いてゐる。[ΣP]²を用ふる舊い計算法の代りに單に[ΣP]の數値を採入れれば、計算が便利で實際の關係に即應するものと見られる。鋼の濃度が普通であるときは、磷は如何なる形をとるかは未だ決定的に研究せられて居らない。併し此所では此公式はスラグ中に於ける一酸化鐵が脱磷の上に強い影響を與へてゐることを

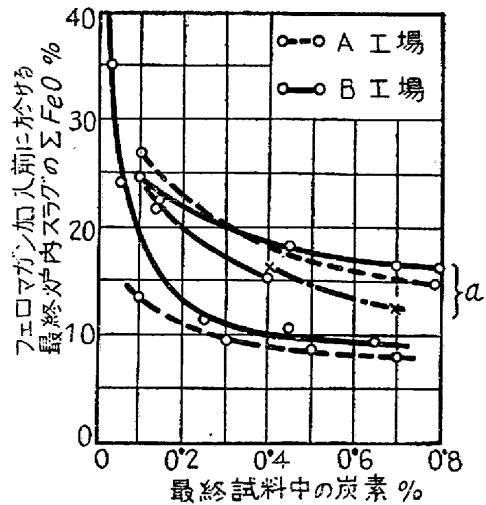
知るに十分である。併しながら他方に於ては熔鋼の炭素含有量のためにスラグ中の一酸化鐵分はいつも甚しい影響を受けるものである

炭素の影響は甚だ著明であるから、之れを評價するに當り其評價すべきチャージを硬チャージと軟チャージとに區別し0.05~0.15% Cのチャージを軟チャージ、0.2% C以上を硬チャージとすることとした。0.15% Cと0.2% Cとの中間限界に當るチャージは極めて少数であつたので、硬軟兩チャージの分界を明にすることが出來た。夫れ以上軟い0.05% C以下のチャージを第三群とする事にしてある。

第3圖はA組工場とB組工場とに於ける、フェロマンガ加入前の爐内最終スラグ中の一酸化鐵の總量(此際二酸化鐵0.9を一酸



第3圖 スラグ中の一酸化鐵分及平爐鋼中の炭素分

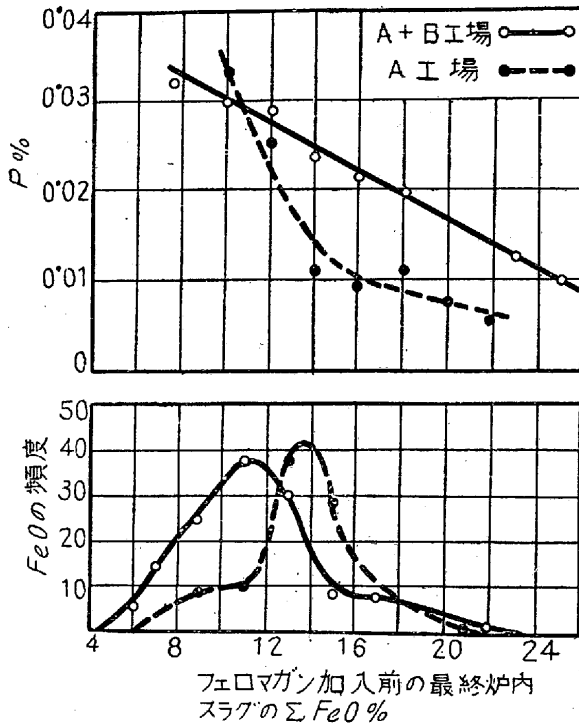


第4圖 米國と獨逸の工場にてのフェロマンガ加入前の最終爐内スラグの一酸化鐵分と鋼中の炭素分より受くる影響(aは米國の工場)

化鐵に併算した)が鋼中の炭素分から受くる影響を示したものである。A組の工場では鋼中の炭素分が同じとき1.5乃至3%の一酸

化鐵分を有して居る、これは C. H. Herty¹¹⁾の研究によれば A 組工場の熔解温度が高い結果であると。これを米國で基準的と見做されて居る數値と比較することも興味ある事と思ひ、第4圖に米國の四ヶ所の工場の 2000 チャージの平均を獨逸の工場と比較して圖に示した。0.2% C 以上の鋼では、米國の工場の一酸化鐵の總量は、殆ど獨逸の夫れよりも 2 倍大であるから、米國では脱磷による純度が非常に高く評價せられてゐる事が判る。

第5圖は 0.2~0.6% C の鋼に於て、鋼中の磷分とマンガン鐵加入直前の最終爐内スラグの一酸化鐵總量との關係を示したものの尙又



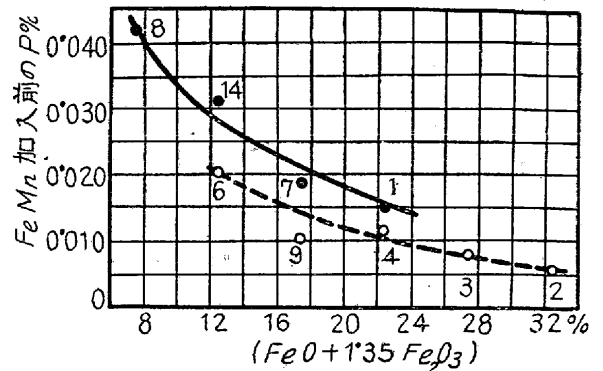
第5圖 スラグ中一酸化鐵分及平爐鋼の磷分

で、0.06~0.16% C の軟鋼に於ける關係をも示してある。A 工場の軟いチャージでは 0.02% から 0.01% への脱磷をなし、然も一酸化鐵の總量は唯僅に 11 から 14% に高まるに過ぎない、併し硬いチャージではより以上十分脱磷させる場合にはどうしてもスラグ中に危険と思はる程鐵分を増すことになる。

C. H. Herty¹²⁾の最近の論文で、鋼中に熔けて居る一酸化鐵とスラグ中の一酸化鐵の總量との關係を曲線で示してゐる。此際 Herty は酸化鐵の和を $FeO + 1.35 \cdot Fe_2O_3$ と計算した。依つて特に鹽基性が高い場合、鐵分の高いスラグは概して酸化鐵分が著しく高まるから、從來の計算法 ($FeO + 0.9 \cdot Fe_2O_3$) との比較上 Herty の見解を検討してみた。酸化鐵との精密な分析的仕分は行はれないのが普通であるから、此計算法でも第5圖の如く、多くの分析が利用せられなかつた。此計算法の場合、酸化鐵の重要性を強加すれば、第5圖の曲線の形が變化し變曲線(第6圖)に近くなる。又後に掲げるトーマススラグ中の鐵分、鋼中の酸素分、鋼中の磷分を對する一酸化マンガンとの割合等を示す曲線は二重對數法に於て直線となる。

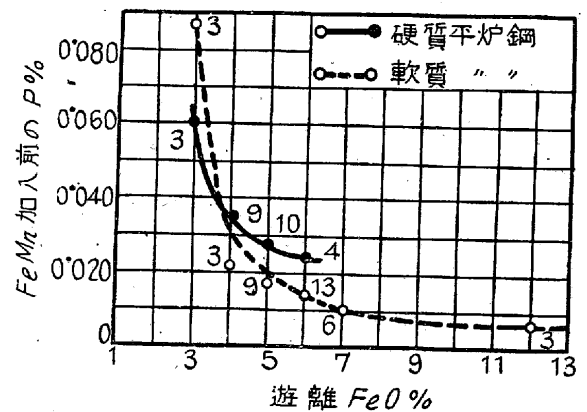
H. Schenck¹³⁾の報告によれば、一酸化鐵分は取分け マンガン

平 炉 鋼



第6圖 スラグ中の一酸化鐵分及鋼中の磷分

— 0.2~0.6% C
 - - - 0.03~0.16% C



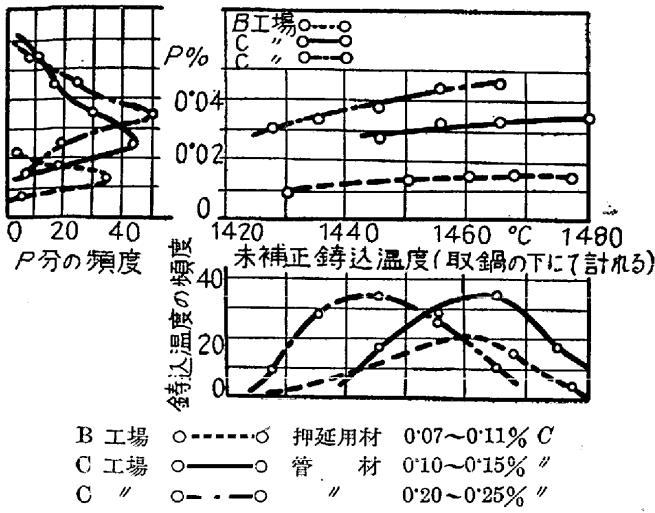
第7圖 スラグ中の遊離一酸化鐵と鋼中の磷分

及磷の働きを左右するものであると説いてゐる。第7圖は硬質並に軟質平爐鋼の磷分に及ぼす遊離一酸化鐵の影響を Schenck の方法で示したものである。此圖面に於て A 及 B 組の五ヶ所の分を一緒に擧げたにも拘らず、磷分が遊離一酸化鐵分に依つて左右されることを極めて明瞭に示して居る。硬いチャージと軟いチャージとの間には確に此點でも、僅か相違のあることが看取せられる。何れにせよ Schenck 及 Herty の兩計算法は爐内スラグの酸化鐵分遊離一酸化鐵分は鋼中の磷分を低下せんとすればする程、夫れと並行して益々鋼中の酸素量も増大せねばならぬ事を示して居る。故に普通の精煉法では、磷分を低くせんとすれば、スラグ中に鐵分が著しく増加し、更に鋼中の酸素分を増し、且鋼質を不良にする。

鹽基性平爐法では發熱的事情のために、高い温度よりは低い温度程、益々脱磷が急速且つ完全に行はれる。故に鑄込開始時の鋼の最終磷分を調べるために鋼の温度の影響一出鋼時或は鑄込時に測定して一之に結び付けてみた。前記 A, B 兩組の工場に對し、尙更に C 工場の數値をも調べて見た。それは此工場では特に多數の正確な温度測定が行はれたからである。鋼の温度の測定は鑄鍋の下で最も容易且つ安全に行ふことが出来、又數値が多數記録されてあつたので第8圖に種々の鋼類に就て單に未補正鑄込温度と磷分との關係を擧げた。出鋼の際の磷分と鋼の温度との間の關係數値は鑄込温度の場合と同じ方向に進行し C. Schwarz¹⁴⁾の言ふ所と一致してゐる即ち平爐鋼では 0.01~0.05% P の範圍内では 50°C の温度の上昇に對し僅に 0.005% P の増量が確められたのみである。

文獻に記述されてある所と同じく、鹽基性平爐では温度を高くす

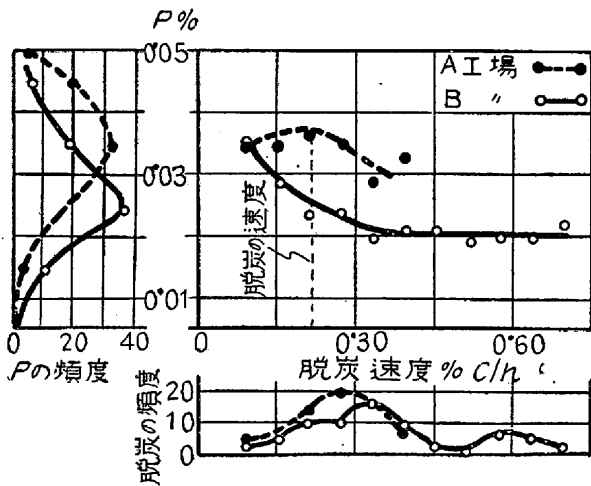
造塊の試料



第8圖 鋼の温度と磷分

ることは脱磷の目的に反する作用を認めるが、唯温度の影響は製鋼工場のために爐の耐久力及鑄込方法を考慮して定めた限界の狭いものであるから、前に述べた影響よりも遙にその程度が低いものである。

F. Beitter¹⁵⁾は作業の監督上、良鋼生産上、脱炭速度が最も肝要であると言ひ、此は鹽基性平爐法に於ける此の作業は脱炭速度が0.22% C/h の場合精錬作業が最も有利であつたことを確認した。造塊で採つた試料の磷分と脱炭速度との關係を検討するために此Beitterの法則を第9圖にA組工場とB組工場とを別々に圖示し

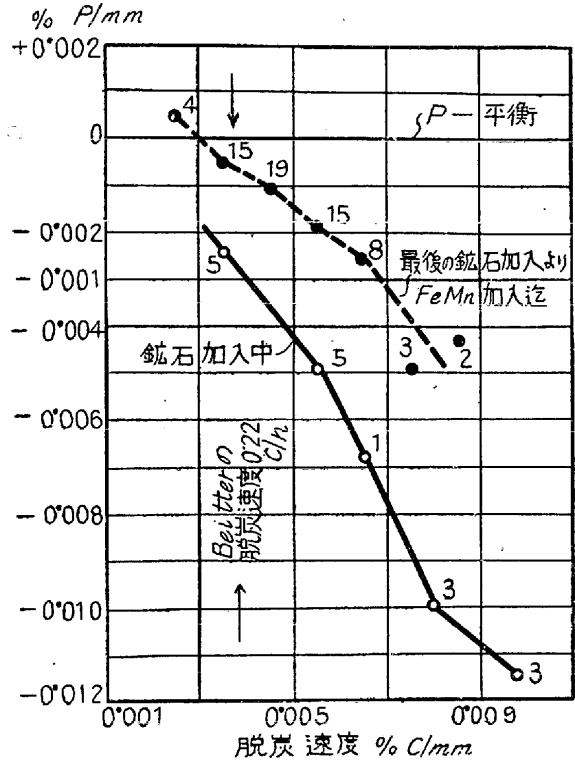


第9圖 平爐鋼の脱炭速度と磷分

である。これによると同程度の軟鋼の場合A組工場とB組工場との相違は注目せらるゝに至つた。A組工場はB組工場に比して(第9圖下)脱炭速度が少く、その磷分の最高點が高い事を曲線が示してゐる(第9圖左)。これは別としてA組工場に関する曲線は特に目立つて居る。即ち曲線はB組工場の様に均一に流れず、寧ろ最高點は丁度Beitterが唱導した0.22% C/hの脱炭速度の所にある。此所で磷分は平均で0.637% Pの最高値に達する。夫れより低い脱炭速度では磷分が低下する、是は恐らくは斯るチャージの場合温度が低かつたためであらう。0.3% C/h以上の大なる脱炭速度ではA組工場に於ても酸化力が優勢となり、曲線は其右の方でB組工場のものに近くなる。故にBeitterはA組工場側の曲線中脱炭速度約0.22% C/hの場合に精錬上最好條件になると云ふ斷定を

肯定するものらしい。併しB組工場には此斷定は通用せぬ。此顯著な曲線を検討するために鋼中の磷分の動きを脱炭速度に關係させて研究して見た。

造塊試料中の最終磷分は其の影響が餘りに多いので、熔解中の磷の経過を脱炭速度に關聯させて試験したのである。第10圖は全熔

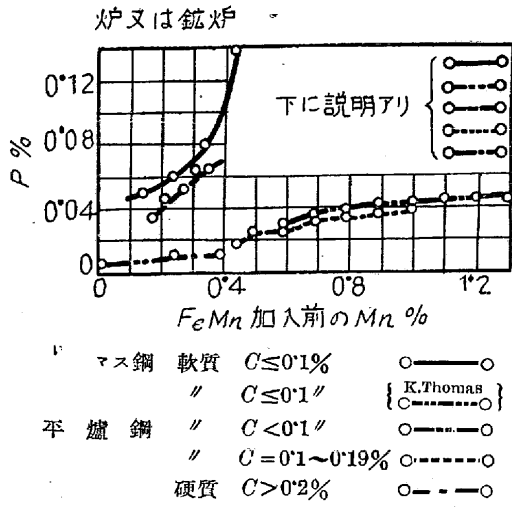


第10圖 平爐鋼の脱炭速度と磷分

解の過程中に磷分の分析を行つたチャージを圖示してある。此際次の様に時間的に別けた。即ち最後の鐵石加入後10mnを経てフェロマンガ加入直前迄の脱磷速度を調べ、(點線にて示せる曲線)之れに對し鐵石加入中の磷の動きは別に調べた。鐵石加入の際には鋼の温度が未だ低いため其曲線は高い脱磷速度の所にある。そこで此所に2本の同一方向に向ふ曲線が出来る。其内の最初に述べた即ちフェロマンガ加入前迄の曲線が0.19% C/hの場合の磷の平衡線と交する。故にBeitterが唱ふる0.22% C/hに近い脱炭速度の場合、A組工場では磷の酸化も亦スラグから鋼中への還元も起らなかつたと言へよう。B組工場では同じ鋼種で石灰加入量が多いことより酸化鐵分が高いためより以上高い脱炭速度の所に其數値がある。又熔解温度が高ければ磷の平衡状態が大なる脱炭速度に推移せしめられる。

今日では、C. H. Herty¹⁶⁾の言へる如く、フェロマンガ加入前の大なる殘留磷分は、酸素分の低い鋼を得る保證物たるものが一般に認められて居る。故に第11圖には精錬中に鋼中に殘存するマンガ分と、其時々磷分との關係を示してある(約1000チャージに就て)。此圖では極軟鋼をも調べてあり、又炭素分は前に述べた通り、大なる意義を有するので、今迄の圖と對照するために炭素分の多寡に應じて0.2% C以上と0.1% から0.19% C迄及0.1% C以下の3組に區別した。其外平爐鋼の數値と比較するために二ヶ所の工場のトーマス鋼の曲線をも擧げてある。圖は兩鹽基性法のマンガ分と磷分との間の密接なる關係を示して居る。故に若し0.045%の磷分を許容するとすれば、多方面からみて有利とされる1%のマ

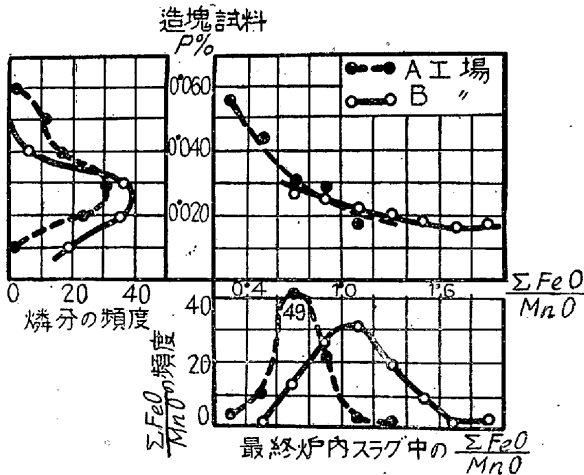
ンガン分はスラグによつてのみ還元せられる。



第 11 圖 残留マンガ分(フェロマンガ加入前の)と磷分

Th. Naske¹⁷⁾はスラグからマンガンを還元することは一酸化鐵對一酸化マンガンの割合と大いに関係があると言つて居る。故に全一酸化鐵對一酸化マンガンの割合によつて如何様に磷分が影響されるかを検討することは興味ある事であつた。

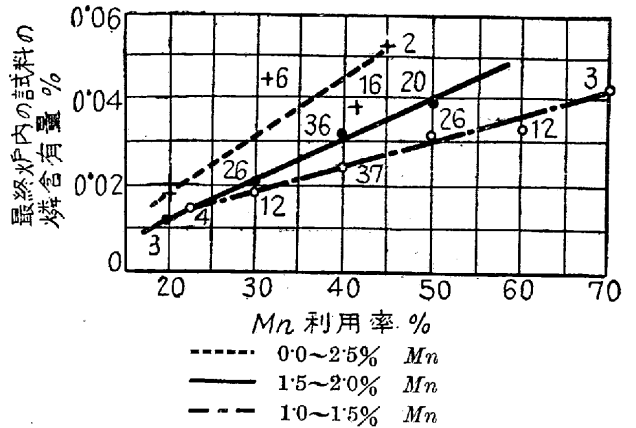
第 12 圖に中硬鋼を別々に調べて見た。全一酸化鐵對一酸化マンガンの割合が高まると磷分は最初に強烈に増し全一酸化鐵對一酸化マンガンの割合が 1 以上になると緩慢に減少を始める。A 組及 B 組の工場の曲線は硬質鋼では甚だ良く相互に似通つて居るが、全酸化鐵對一酸化マンガンの割合の最高點は明白に相違して居る。A 組工場では大多數の最高點は 0.7 にあり、B 組の工場では 1.1 にある(第 12 圖下)。即ち Naske の實驗通り、スラグからのマンガンの還元



第 12 圖 スラグ中の一酸化鐵の一酸化マンガンに対する割合と鋼中の磷分

は A 組工場では可能であり、以前から豫感せられたのに、B 組工場では最早起らぬのである。併しは A 組工場では冶金學的に良好な鋼、即ち磷分が著しく高く、酸素分が低い鋼を生産して居ることを意味する。

E. Killing¹⁸⁾は装入物中の 1.8% 以上マンガ分は浪費であると言つて居る。第 13 圖に 0.2~0.6% C の平爐鋼製造の際に於ける、フェロマンガ加入直前の爐内鋼最終試料中の磷分に關係するマンガンの利用を擧げてある。溫度とスラグ中の磷分とから受ける影響を避くるために、此際にも亦唯 1430~1470°C の末補正鑄造溫度



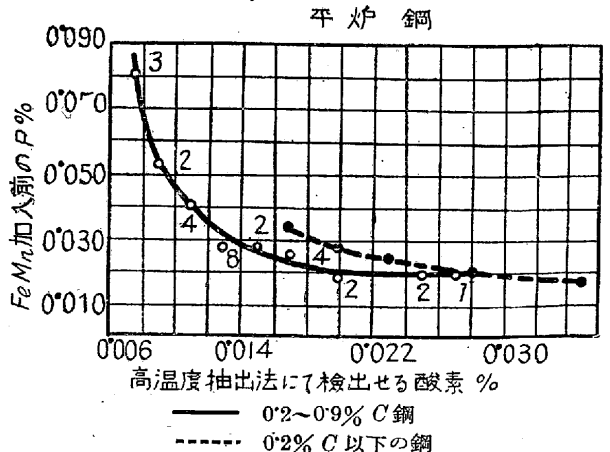
第 13 圖 Mn の利用率と P の含有量

で、同時に最終スラグ中の磷分が 1~2.5% のものみに就て調べた。第 13 圖は Killing の調べに於て、磷分の低いとき、マンガンの消費が如何許り節減出来るかを示して居る。最終爐内試料中の 0.015% の磷分の場合には、前に述べた酸素吸収による鋼質の悪化を別としても、加入されたマンガンの 75% 以上洋化され、平爐に於て夫れだけ損失した事になる。この著しい經濟上の損失は磷分の低下を強要せる結果に他ならぬ。

H. Schenck¹⁹⁾及 C. H. Herty¹⁶⁾の説に従へば、鋼滓中の一酸化鐵分は鋼中の一酸化鐵分と直接の關係を有し、引いては酸素分とも同じ關係に立つ事が立證せられてゐる。特に精鍊の終りに鋼と滓との間の或均衡が起つた場合に於て、之を證する事が出来る。

此方面に於ける關係を検討するために、試験精鍊の際多數の酸素の検定を行つて見た。

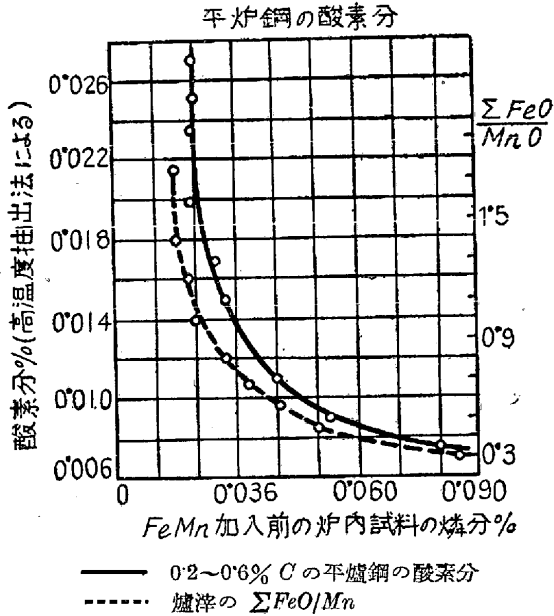
Meissner²⁰⁾は之れに對し、珪酸分及礬土分を完全に知り、石灰分及マグネシヤ分を大體正確に知り得るために、クロール法を用ひて検定すべきであることを唱へて居り、他の一方では、一酸化鐵及一酸化マンガンの検定には、水素還元法を應用し、之れによつて得た數値を前に述べた四つの酸化物に加算して居る。よしんば Meissner の説により斯様にして得られた酸素の總量が絶対に正確であると謂ひ得ないにせよ、比較せんとする目的に對しては良く役立つものである。其外一部 G. Leiber²¹⁾(未公表)の研究から出た硬軟兩平爐鋼の高温抽出法による酸素検定と Meissner の酸素の數値とを比較するため、磷分に關係させて第 14 圖に擧げてある。此圖面中には精鍊進行中の鑛石加入後半時間を経た後の試料をも加へてある。試料の數は少數であつたにも拘らず、磷分と高温抽出法によつて



第 14 圖 平爐鋼の酸素分と磷分

検定した酸素分との間の關係は、明に現はれて居る。此兩酸素検定法の一致は此検討図内では全く申分なきものである。(第19圖參照)

鋼中の酸素検定は面倒で、且つ費用を多く要する事であるから、チャージの酸素分の判断には、一酸化鐵分の總量對一酸化滿佗の總量の割合が特に稱揚すべきものであらう。第15圖に0.2% C以上

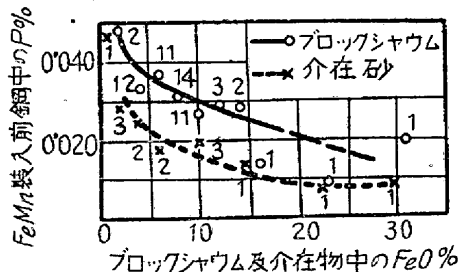


第15圖 スラグ中の一酸化鐵分の一酸化マンガ分に対する割合及鋼中の酸素分

の中軟平爐鋼に對し酸素分の曲線(高温度抽出法によれる)に添へて、全一酸化鐵對一酸化マンガンの數値の曲線を擧げてある。兩曲線の並行する經過は驚くばかりに良好である。

其他巨大なる鍛造用鋼塊鑄造の際に屢々見らるゝ非金属介在物を調べれば、鋼中の酸素分と磷分との關係がわかる。此の介在物は K. Daevcs²²⁾ が立證せる通り鋼中の酸素化合物(一酸化マンガ分)は主に耐火煉瓦に作用せしめて作られる。尙又巨大な鋼塊の鑄造中に其鋼塊の上表面に浮游するスラグで其一酸化鐵分と鋼中の磷分との關係を知ることが出来る。

第16圖は鋼塊鑄造の際フェロマンガ分加入に先立ち、鋼中の磷



第16圖 ブロックシャウム或は非金属質介在物中の一酸化鐵及平爐鋼中の磷分

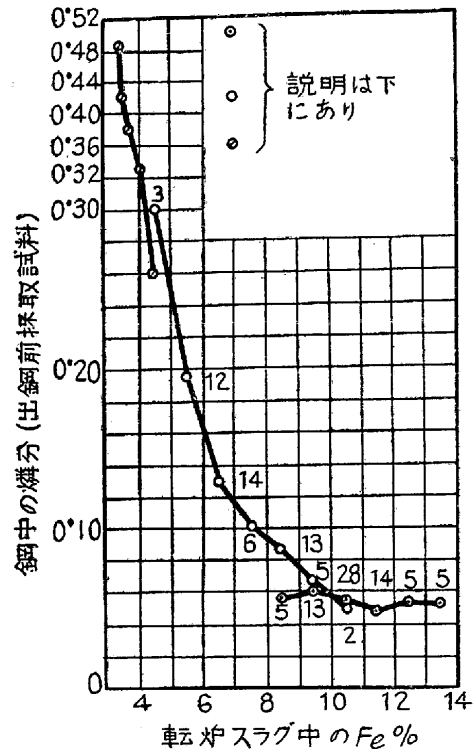
分と作用して表面に浮び出るスラグ及非金属介在物の分析成分を示してゐる。鋼の冷却の際の平衡が移動する結果、分離反應のために生ずる浮游スラグ中の一酸化鐵分は、磷分が低くなると共に、甚しく増加する。鋼中の磷分が同じ場合に、非金属介在物中の一酸化鐵分は稍低く、同じ様な經過を示す。此際非金属介在物中の一酸化鐵分が浮游スラグ中へ移動して、鋼中の酸化物が耐火材料と化合すると、一酸化鐵分が相當に稀釋されると解せられる。主として耐火材

料、或は平爐スラグである介在物は、第16圖には加算されて居らず、又實際斯様なものは殆ど出来ない。

II トーマス法に於ける磷分と精鍊方法

トーマス法では、磷分は單にその酸化の際に必要な熱の大部分を發生するばかりでなく、通常0.05~0.08% Pのトーマス鋼は、平爐鋼の殆ど2倍の磷分を有し、之が特別の役割を有するものである。吹鍊の終りに燃える磷は、其際非常に強烈な還元劑として働き、通風によつて絶えず行はるゝ鋼浴の旺盛な酸化にも拘らず、鋼浴の酸素の需用を充たすため、更にスラグ中の酸化滿佗をさへ滿佗に還元する。E. Herzog²³⁾の説によれば、トーマス法では、スラグ中の鐵分は過渡期まで絶えず量を増し、出來た一酸化鐵は、その後反應を起す磷分のために還元させられ、同時にスラグからマンガ分も還元せられるのである。

第17圖にフェロマンガ分加入前の最終試料の磷分と、初めて轉爐を倒した時の磷分とを、其時のスラグ中の鐵分と結び付けて擧げてある。



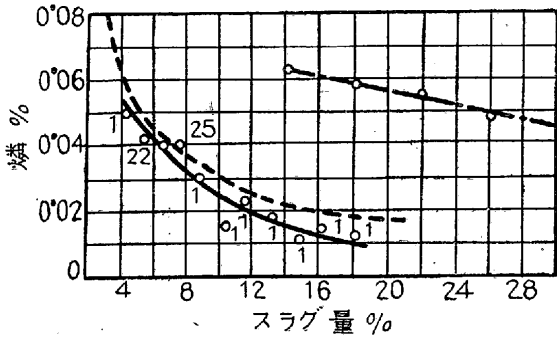
第17圖 轉爐スラグ中の鐵分及トーマス鋼の磷分

第17圖は極めて明かに、トーマス鋼の磷分がスラグ中の鐵分により左右される事を示して居る。分析成分は K. Thomas²⁴⁾の公表せるものと、A. Jung²⁵⁾の壓搾ナツト材の數値から採つたものである。鹽基性平爐法では、最終爐内スラグの磷分と、鐵對マンガ分の割合が如何に強い影響を持つかを明かにして居る。

所謂遊離石灰の脱磷上に及ぼす影響に就ては C. Schwarz¹⁴⁾が遊離石灰の脱磷上に及ぼす強烈な影響を示す計算圖表を作成した。其計算圖表により、A組及B組工場で行つた精鍊の際の各チャージに基き算出された數値は、若し工場で測定した鋼の温度を50°程高めれば、始め作業上測定された數値と一致することを示した。普通

に測定した鋼の温度は、軟質平爐鋼の磷分から算出された所と良く一致するけれども、事實 0.2% C から 0.6% C 迄の平爐鋼の場合に見出された數値は、Schwarz の示す數値より 0.01 から 0.15% だけ P が高い。是も亦鋼中の炭素分のスラグと鋼浴との平衡上に及ぼす強い影響を意味するものである。Körber 及其協力者²⁶⁾が其論文に説いて居る通り、此影響は決定的である。

遊離石灰の影響と密接な關係のあるものは、このスラグの量である。第 18 圖には磷分と出來たスラグの量(秤量した量であつて算



- C 0.1%以下のトーマス鋼 K. Thomas の評價による FeMn 加入前の試料
- C 0.1~0.2%の平爐鋼 Whiteley による
- C 0.2~0.6%の平爐鋼 FeMn 加入後の試料 A 工場造塊にとれる試料

第 18 圖 スラグ量と磷分

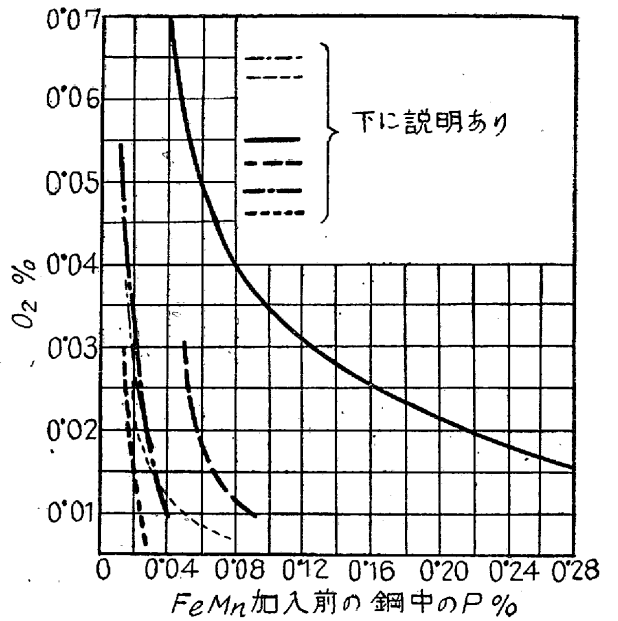
定した量ではない)との關係を示してある。豫期の通り此影響は甚だ大である、即ちトーマス鋼を 0.047% P の磷分に仕上げるには、0.063% P の鋼を造るときよりも、約二倍のスラグ量が必要とならう。

比較のために第 18 圖中に尙 0.2~0.6% C の平爐鋼の之れに該當する數値、及 T. H. Whitley²⁷⁾が公表した曲線を擧げてある。此三つの場合に於て同じ傾向が見える、即ち脱磷を進めるに従ひ、比較にならぬ程の多大のスラグ量が必要である、其上尙前に示した様に強い鹽基性即ち多量の石灰加入、鐵の燒損の増大、並に吹鍊時間が長引くための耐火爐材の大なる消耗は避け難い。此等の總てはトーマス鋼並に平爐鋼の製造を高價ならしめ、又一部鋼質を著しく悪化させる原因ともなる。

著者は大なる磷分の脱離が 1885年に指摘されて居²⁸⁾ることを見出した。夫れには Clapp-Griffiths 小ベツセマ法で吹いたチャージで過失からフェロマンガンの加入を忘れたときの事が報告されて居る。此フェロマンガンの加入を忘れて仕上げた 0.318% P の鋼は良く歴延に耐へた。此偶然的出來事を觀察し、之に基き其時以來常にフェロマンガンを加入せずに製鋼して居るとの事である。

スラグの一酸化鐵分の影響はトーマス鋼に酸素分がある場合著しい。第 19 圖は軟鋼及硬鋼に就て酸素分と磷分の關係を示してゐる。此際 0.1% C 以下の軟質鋼と 0.2% C 以上の硬質鋼とを別々に調べ、磷分が低い場合には總ての供試鋼で酸素分が甚しく増加する、即ち少し磷分が高ければ最も安全であるが、同時に酸素分の少いことが條件である、

磷分と酸素分との關係が本研究上重要であるので、第 19 圖に此關係を調べた全鋼類に就て擧げ、然も高温抽出法の結果と Meissner の酸素數値とを比較してある。假令個々の場合兩方法の成績が完全に一致し得なかつたものがあつたにせよ、兩方法につき多數の分析成分を平均した値は、確に甚だ良好な一致を示す。



- C 0.2%以下の平爐軟鋼
- C 0.2%以上の平爐硬鋼
- トーマス鋼 軟 <0.1% C
- " 硬 >0.2% C
- 平爐鋼 軟 <0.2% C
- " 硬 >0.2% C

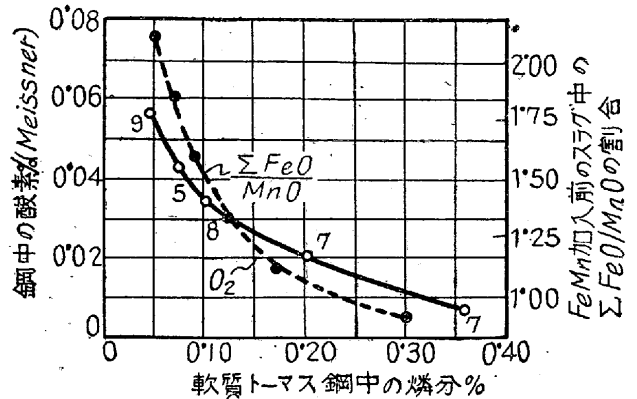
F. Meissner による全酸素定量

第 19 圖 軟質及硬質トーマス鋼での酸素分と磷分

P. Bardenheuer と Chr. A. Müller²⁹⁾とは水素還元法に於ては、磷分の高い鋼の場合(0.15 及 0.24% P)僅に存在する酸素分の 59 及 47%を得るに過ぎぬ事を發見して居る。夫れがため第 19 圖の軟質トーマス鋼の曲線は高い磷分の影響を蒙つたとも見られるが、原則的の經過は水素還元法の誤差による變動は極僅微である。

トーマス鋼及平爐鋼の全體の曲線を見るに、硬度の如何に拘らず一樣に脱磷をなすには、唯鋼中の酸素分が途方もなく増大して後漸く行はれることを示す。

第 20 圖中には軟質トーマス鋼の磷分に、一方は (Meissner に



第 20 圖 トーマス鋼の酸素分と磷分及スラグ中の一酸化鐵の一酸化マンガンを對する割合

よる)鋼中の酸素分を、又他方では鋼浴中の鐵分とマンガンの割合を一緒に擧げてゐる。酸素分の檢定は出來上り鋼(即ち脱酸後)を用ひて行はれたこと、又試料の採り方や分析の方法によつて擴散の免れ難いことを考慮すれば、酸素の曲線と最終轉爐浴中の全一酸

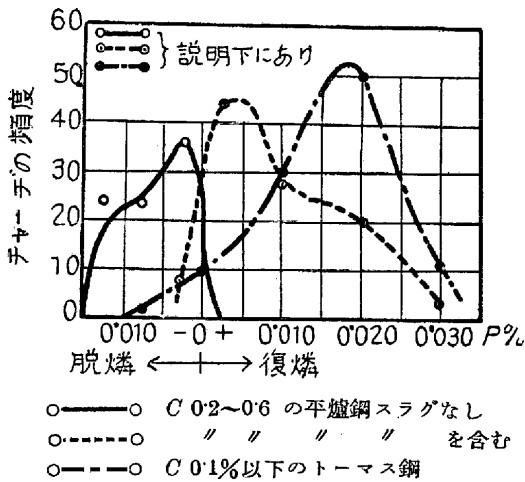
化鐵分と一酸化マンガン分との曲線が、一層同じ様に流れると見るべきである。この同じ密接な關係は、第15圖の平爐鋼でも見出されるところである。

從來の試験では窒素分と磷分との關係は知りかねるとされて居るけれども、試に唯一ヶ所の製鋼工場の同一試験所で130チャージに就て此點を研究して見たが、同じく明白な關係が把握出来なかつた。

III 鹽基性平爐法とトーマス法とに於ける出鋼中及取鋼内の磷の状態

出鋼の際渣及取鋼内でスラグが著しく珪酸と礬土とを吸収する事は人のよく知る所である。珪素を添加したチャージの場合には尙脱酸生成物も吸収せられる。此珪素とスラグの兩者が鋼中の磷分に影響を及ぼすのである。

P. Bardenheuer 及 A. Ranftl³⁰ 並に N. J. Wark³¹ が立證せる通り若し鹽基性平爐法の場合、取鋼内にスラグがあれば磷分は最初の定盤から最終の定盤迄斷へず増量する。特に妨害となるのは大なる珪素分を含む(例へば1.5% Siを含む)スプリング鋼のチャージの場合の如き計算の出来ない復磷である。故に斯る場合は成るべく取鋼内へスラグを入れない様に努力して居る。第21圖は鹽基性



第21圖 取鋼中での磷の移動

平爐鋼の場合に爐から採つた最終の試料と鑄込の中途で取鋼から採つた試料との間に如何なる磷分の變動が起るかを比較した曲線を擧げてある。大部分はスラグが取鋼内に這入つて居た平爐チャージでは多くは0.005~0.025% P程度の復磷が起つたけれども、傾注爐から注鋼した爐内スラグが殆ど這入つて居ないとも謂ひ得べき最初の取鋼では磷分は爐から採つた最終試料よりも0.005~0.015%少かつた。トーマス法ではスラグ中の磷分の濃度が高いため復磷が特に強烈に起る譯である。第21圖中には平爐鋼と對照して0.1% C以下のトーマス鋼の復磷を示してある。茲では實際著大な0.01~0.03% Pの間一復磷が起つて居る。

IV 鋼塊内の磷の偏析、特に德利型(Flarchenhalskolille)による減量

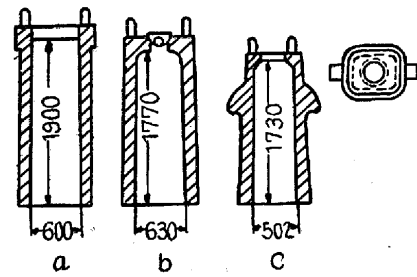
多くの用途に對して磷が恐れられる原因の一つは磷の偏析、即ち磷分が鋼塊の中心特に頭部に向つて集まる傾向である。英國の鋼塊の異狀調査委員が、小形並に大形の鎮靜鍛造用鋼塊や不鎮靜鋼に就て廣汎に互る試験を行つて居るが之に依れば殊に100t及それ以上の鋼塊、例へば中心を刳り貫いてドラムとして使用するものであつては、鋼塊の押湯部の中心では磷の局部的増量が其チャージの分析

成分に比較して100%以上に達した事を認めて居る。併し鋼塊中此部分は後の加工の際に切り除かれて屑となり、或は多くの重量鍛造材では刳り貫いて取除かれる。鋼塊の各部分を多數の鋼塊に就て檢するに、平爐鋼の普通重量の鋼塊では磷の偏析は大體に於て耐え得る程度であり、硫黄よりも偏析が少ないことが知られた。

A. Brüninghaus 及 F. Heinrich³² は一本宛鑄込んだ鋼塊及定盤鑄造の鋼塊に就き押湯部を有するもの及び有せざるものに就て磷の分布を調べ、大形の鑄型に鑄込んだ鋼塊は小形の鑄型に鑄込んだ鋼塊よりも偏析が甚しく、又不均齊であることを確め、又押湯を附けた鑄型で鑄造した鋼塊は頭部を別として、一般に優秀な均齊さを有することを確めて居る。H. Esser³³ は鋼塊の重量を25tから47tに増した場合には、磷分の偏析が炭素の偏析よりも甚しく増量し、其外酸素分は絶対値及偏析増進上最低位にあることを確めて居る。W. Eichholz 及 J. Mehovar³⁴ は Harmet-式鋼塊に就き(鑄込んだ鋼塊を鋼の凝固せぬ間に上下から壓迫したもの) 偏析の分布を調査したるに、磷に富む所は八形の層となつて、鑄引けの直下に最もよく現はれて居る。

H. Meyer³⁵ の説によれば、上注5tトーマス鋼塊の一つには最高の場合平均成分よりも110%多量の磷を見出したといふ。

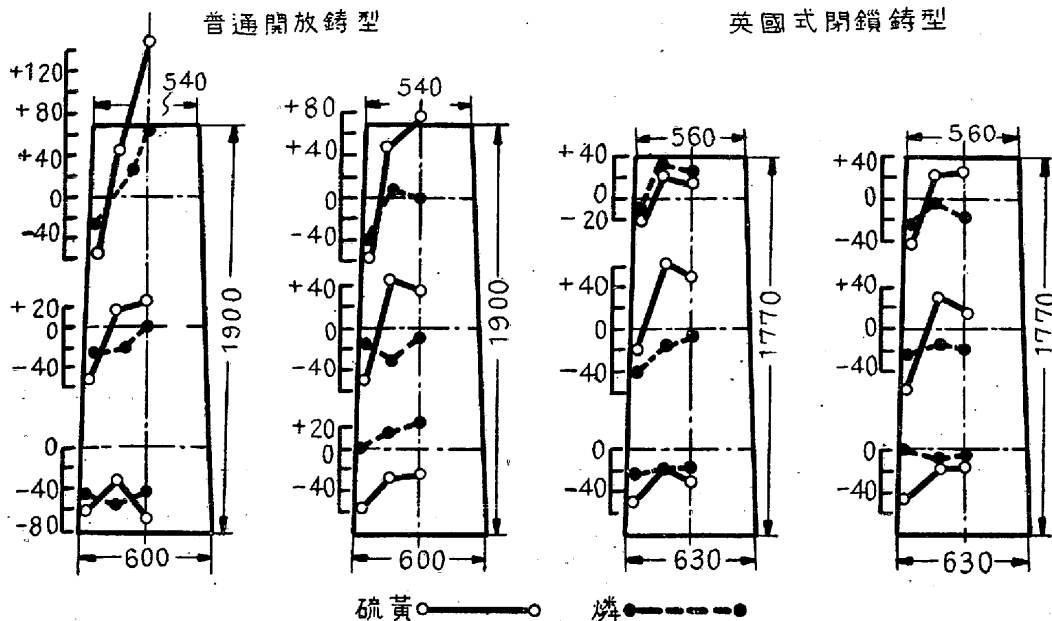
英國並に米國では、閉鎖式即ち德利形鑄型³⁶を用ひて鑄造した不鎮靜鋼又は軽く鎮靜させた鋼につき磷の偏析を充分に抑制し得る優秀な方法を見出して居る。此形の鑄型で起る凝固條件の影響を檢討するために、英國式閉鎖型³⁷と普通下方の擴がつて居る開放鑄型との比較試験が行はれた。第22圖に兩種を對立させて示し其傍に類



a 獨逸の開放鑄型
b 英國の閉鎖鑄型
c 獨逸の(Gothmann)閉鎖鑄型

第22圖 鑄型の形狀

似の形狀で口許を十分に絞つてあるGothmann式鑄型³⁸を並べてある。本來の德利鑄型と英國式閉鎖鑄型とは多量の材料を頭部に集める點と漸次に狭くしてある點とに相違がある。此事は頭部で上昇し來る熔鋼に急速な凝固を起させ、この凝固は尙半球形の蓋をし水を灌ぎかけることによつて一層促進される。殆ど密閉した鑄型と磷の偏析との關係は第23圖に軟質の不鎮靜平爐鋼の場合で比較して擧げてある。此所ではチャージの各平均成分の偏析を擧げたのである。鑄込温度上昇速度粘度等の影響を阻止するため、且普通の開口式と閉鎖式の4t鑄型を用ひ、同時に同一定盤で鑄込みを行ふ熔鋼が閉鎖式鑄型の頸部迄昇れば直に蓋を被せ、頭部の鋼が凝固する際發生するガスが氣泡を作らぬ様に努めた。鋼塊の頭部を急速に冷却すれば、ガスの逃避を不可能とし、ガスはこゝで受ける高壓により溶鋼中に保持される。二つの軟質不鎮靜平爐チャージの鋼塊全断面即ち外縁層、中心及中間層からと更に頭部中部及足部から試料を採つた。第23圖では特に普通の鑄型による第一の鋼塊に於て磷分と硫黄分との増量を見るに、頭部及中部の平均成分より140% Sと



第 23 圖 閉鎖式英國鑄型の開放式鑄型に比較せる鋼塊の偏析

60% P 迄上ることを示して居る。

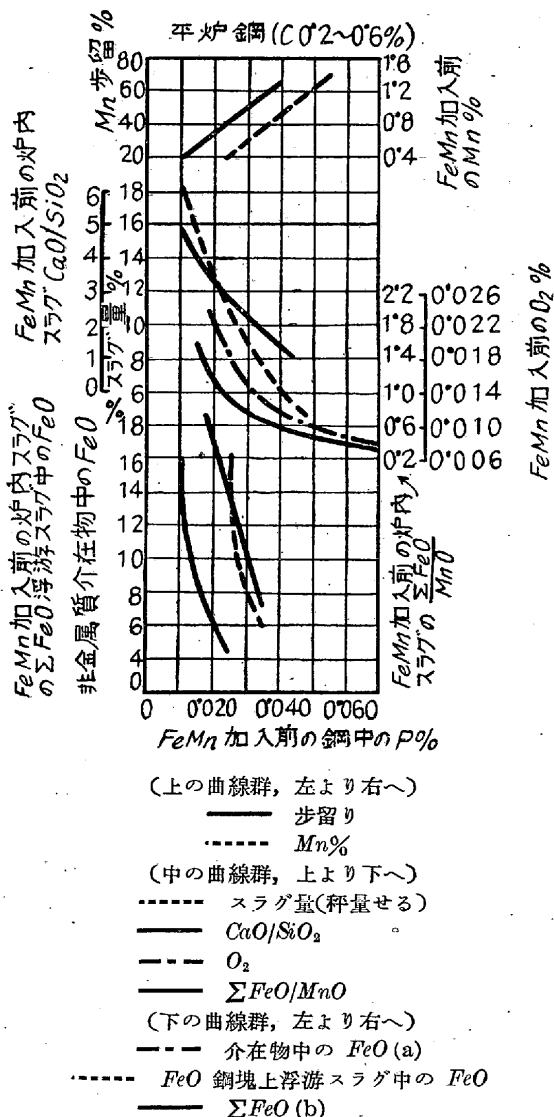
第二のチャージでも磷の偏析は目立たないが硫黄の偏析は +60% に上つて居る。第 23 圖の右の方に同時に閉鎖式鑄型に鑄込んだ鋼塊の試験結果を示してある。全断面に互り磷と硫黄との分布が極均等である事が明白であり、特に頭部と足部との間に生ずる大なる差が抑制されて居る。不銹鋼の場合でも、鑄型の閉鎖された形は、多くの場合嫌はれる珪素アルミニウム等の添加を要せずして磷の偏析を防止し得る比較的簡

単な方法である事がこの試験に於て確認せられた。此種の鑄型は英國に於て種々の目的に使用されて居り、特に粘着を防ぐために磷分を高くされるブリキ用鋼に使用されて居り、獨逸でも近年盛に使用される様になつて來て居る。

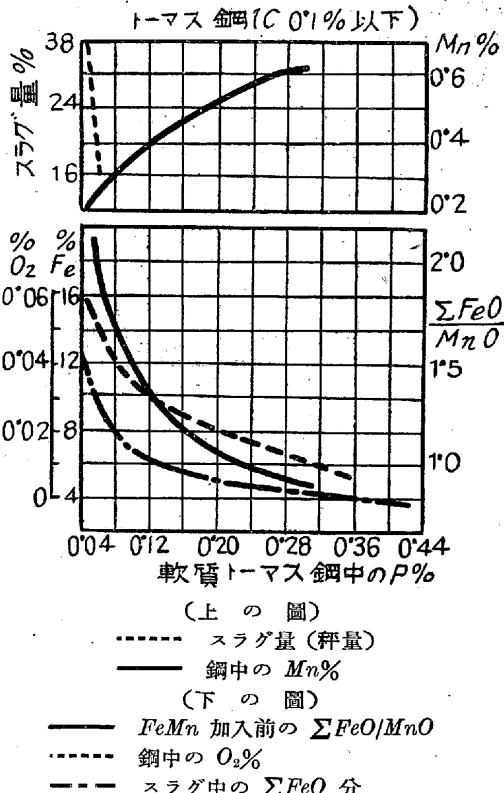
V 冶金關係の綜括

本論文の第 1 章は第 2 圖第 5 圖第 11 圖~第 14 圖及第 16 圖を第 24 圖に收め、第 17 圖第 18 圖第 20 圖は第 25 圖中に纏めた。

第 24 圖及第 25 圖中にフェロマンガシ加入前の鹽基性鋼の磷分とその主なる影響を組分けして比較してある、これによると次の決



第 24 圖 鋼中の磷分と鋼のマンガン酸素分或はスラグの成分及量との間の關係 C 0.2~0.6% の平爐鋼



第 25 圖 C 0.1% 以下のトーマス鋼中の P 分と鋼中のマンガン酸素分或はスラグの成分及量との間の關係

定が得られる。

(a) 磷の除去に最も有力で、又最も頻繁に應用される方法はスラグ中の一酸化鐵分を増加する方法である。併しながら是は有害と目する、鋼中の酸素分の増加と並行するものである。此方法による十分なる脱磷の効果は鹽基性平爐法及トーマス法では磷分の少い鋼程酸素分に富む鋼が得られる。

(b) 第二の有力な脱磷法はスラグ中に石灰分が増す事である。或は言ひ換へればスラグの鹽基度である。スラグの鹽基度を高くするにはスラグの増量を必要とする。(第24圖の中部、第25圖の上部)。尚鐵分が自然と増加し、或は石灰フェライトが生成するためスラグの鹽基度が無益に高められるのである。

(c) 鋼中に残るマンガ分と(第24圖及第25圖の上部)之れと相關するマンガンの經濟は磷分を低くせんとすることによつて甚しく不利な影響を受ける。

B 鋼の性質に及ぼす磷の影響

I 機械的性質

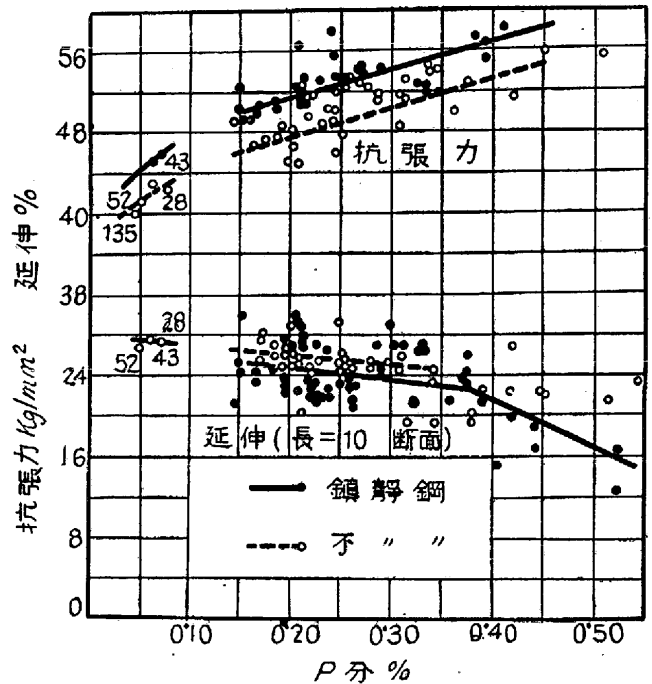
實際上鋼の價值を決定するものは専ら加工の際の性状特に質地使用上最終の形として現はるゝ性質である。遺憾ながら此性質は甚だ測定困難で、單に多年使用に耐へたもの或は缺點を生じた既成使用部分品によつて定め得るに過ぎぬ。併し第一の近似値としては久しき以前から用ひられて居た所謂短時間試験に現れた性質(註:普通の材料試験)は少くも實際の効果と關係が有ると認め得られる。故に磷の影響を所謂機械的及工學的の性質に就き研究することが適當である。

從來磷の抗張力上に及ぼす影響として公にされて居るものを列挙すれば第1表の通りである。

其外連続作業で0.1% P以下のチャージ 250回を調べ尚ほ0.14% Pから0.6%迄の軟質トーマス鋼 70チャージと平爐鋼 20チャージを試製して調べてある。其際トーマス鋼では轉爐内へアルミニウム-珪素を加入してスラグ内の一部を還元させたが、最高磷分とするには尚ほフェロフオスフォールを取鋼内に加入せねばならなかつた。又平爐鋼でも相當量のフェロフオスフォールが加入されたがそれに就て注意すべきはP. Oberhoffer⁹⁾の説及H. Buchholtzの試験によればフェロフオスフォールを加入したものは單に還元によ

り出来たものに比し、同量の磷分の場合も脆性を増すとのものである。第19圖によれば磷分と酸素分の間には密接な關係があるので、これは大なる磷分の場合に折れたチャージは已に最初より甚だ僅量の酸素を有し、脱酸剤フェロフオスフォールを加へたチャージでは、鍋内の脱酸時間が短いため、最有利の状態に達し得なかつたと解釋される。

第26圖は0.1% C以下のトーマスチャージで厚さ15乃至23mmの平板鋼から採つた縦長の試料で試験した成績である。抗張力は之れによると分0.1% P迄のものは0.14%以上のものよりも急激に増して居る。第1表に於てP分が0.01%に付き増加する抗張力が試験者により甚だしく相異なる數値となるは、之がためである。鎮靜したチャージの抗張力は人體に於て不鎮靜チャージよりも、3~



第26圖 C 0.1%以下のトーマス鋼の抗張力及延伸に對する磷の影響

第1表 磷の鋼の抗張力に及ぼす影響に關し是迄の論說に公にされたる表示

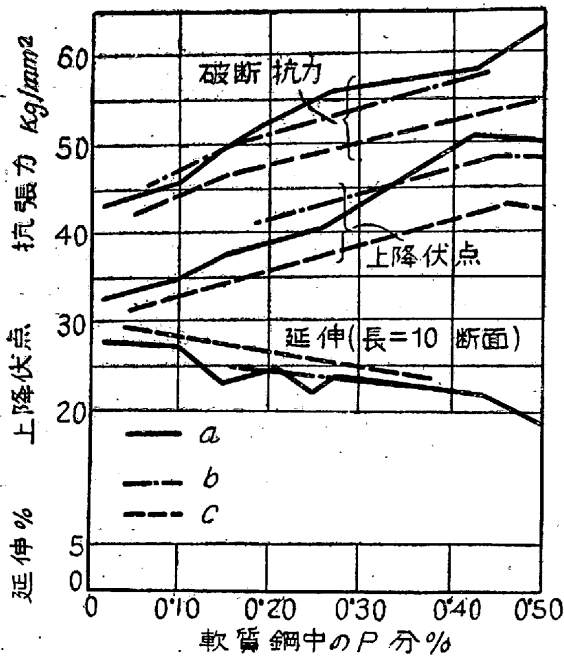
著者	每0.01% P増加に對する抗張力の増加 kg/mm ²	供試材	試験せる含磷量の範圍 %	摘要
H. H. Campbell (1)	0.7	酸性平爐鋼	0.10	0.06~0.55% C
A. C. Cunningham (2)	0.7	鹽基性平爐鋼	0.055	0.05~0.34% C
F. Osmond (3)	0.65	酸性轉爐鋼及平爐鋼	0.1	中硬及硬
K. Daeves (4)	0.6	トーマス軌條鋼及平爐軌條鋼	0.03~0.1	總ての他の成分同一
E. d'Amico (5)	0.45	電氣爐鋼 珪素添加	0.5迄	徑 25mm の壓延棒鋼
J. E. Stead (6)	0.35	0.3% C の鋼	0.3迄	
	0.30		0.3~0.5	
K. Daeves (7)	0.3	抗張力 40~42 kg/mm ² 及 54~56 kg/mm ² の平爐鋼	0.01~0.05	他の成分に頓着せず
J. H. Eiggins (8)		攪鍊鋼 0.03% C	0 ~ 0.45	
V. Deshayes (9)		0.3~0.4% C	0.3 ~ 0.4	計算公式による

(1) The Manufacture and Properties of Iron and Steel, 4. Aug. (New York: Hill Publishing Co., 1907) S. 390/94.(2) Trans. Amer. Soc. Civ. Engr. 36 (1897) S. 231/36.(3) Stahl u. Eisen 19 (1899) S. 240.(4) Stahl u. Eisen 50 (1930) S. 1353/66.(5) Ferrum 10 (1912/13) S. 289/304: vgl. Stahl u. Eisen 34 (1914) S. 331.(6) J. Iron Steel Inst. 91 (1915) S. 140/98.(7) Ber. Werkstoffaussch. Ver. dtsh. Eisenhüttenl. Nr. 43 (1924) S. 18.(8) Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 30 (1930) I, S. 170/84.(9) Ann. Mines 15 (1879) 7. Sér., S. 326/73.

(⁴⁰ kg/mm² 高い。

鋼の延伸は E. d'Amico⁴⁰⁾ の説によれば 0.1% 迄の P 分によつては實際變化なく、それ以上に上れば 0.4% の P 分迄は延伸の降下が比較的緩慢であるが夫れは降伏點及抗張力の甚しい増強とは比較にならない。J. E. Stead⁴¹⁾ は C 分 0.3% の鋼では P 分 0.3% 迄は延伸の變化を認めずと謂ひ、又 J. S. Unger⁴²⁾ も C 分 0.12% の鹽基性及酸性鋼の磷分は 0.11% 迄は伸の變化を見ぬと謂つて居る。K. Daeves⁴³⁾ が實際上重要な限界に對し確めた所によれば、平爐鋼軌條及トーマス鋼軌條に於ては P 0.1 迄は磷 0.01% に付伸を 0.5% 低めたことを認めて居る。第 26 圖には C 分 0.1% 以下のトーマス鋼の試験に關し所見を掲げてゐる。0.15 から 0.35% の間の P 分では伸の減退は P 0.1% 毎に僅に 0.2% であり、P 0.38% 以上は實際上意義がないが伸の激減を來たす事を d'Amico も Stead も相共に述べてゐる。

第 27 圖には抗張力と伸とを調べた數値を d'Amico の曲線と比



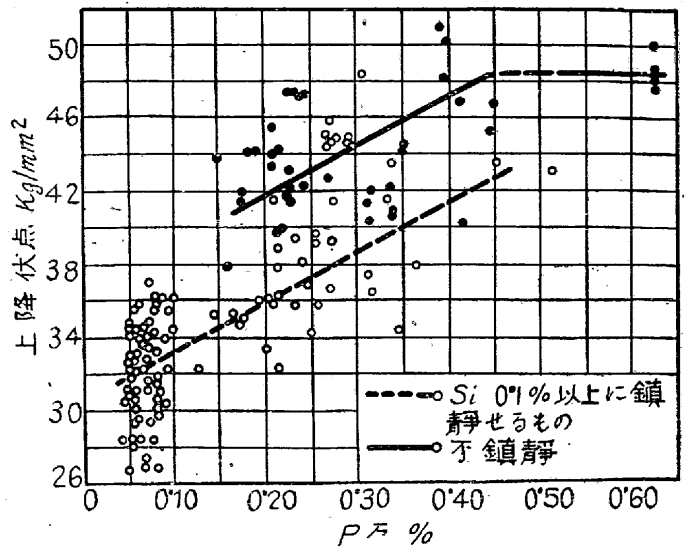
- a C 0.14% 以下の珪素を添加せる電気鋼 d'Amico に依る
- b 珪素添加 } C 0.10% 以下のトーマス鋼
- c 珪素不添加 }

第 27 圖 供給状態の鋼の抗張性に及ぼす磷の影響

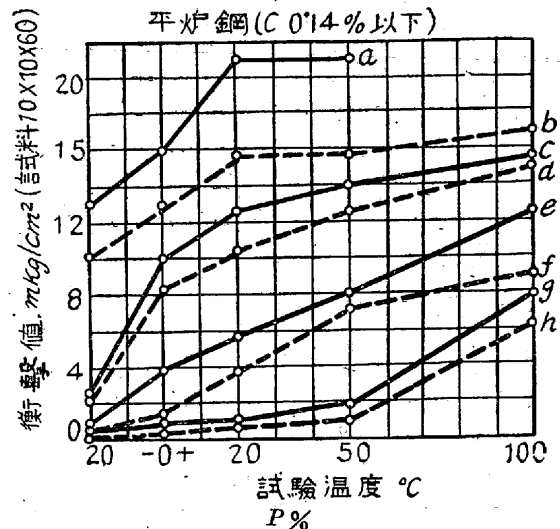
較してある。珪素を加へた鋼は一致するけれども不鎮靜鋼は抗張力が 3~4 kg/mm² 下る。

特に目に付くことは磷分のために降伏點が高まる事である。d'Amico は 0.1% P に對し彈性限が約 2.6 kg/mm² 上ることを確めて居り、又工業上問題とされて居る P 分 0.3% 迄の限界では 3.3 kg/mm² も高まる。第 28 圖によれば上記の單性限は約 0.5% P 迄は d'Amico が第 27 圖で見出して居る如く急激に上つて居る。此點でもトーマス轉爐並に電弧爐の珪素を加入した鋼の相互に一致が認められる。

0.14~0.40% C, 0.055% P 迄の平爐鋼で 270 回の試験を行ひたるに P 分の増すに伴れ衝撃値は假令餘り目立たぬにせよ時には少し下ることがある。周知の如く衝撃値は温度と深い關係があるので第 29 圖は軟い鎮靜させた平爐鋼が -20° から +100° 迄の試験温度のときその衝撃値に與へる影響を 0.02%, 0.05% 及 0.1~0.5% 迄



第 28 圖 鋼の降伏點に及ぼす磷の影響



a 0.020 (45)	d 0.15 (26)	g 0.37 (31)
b 0.050 (22)	e 0.2 (33)	h 0.5 (25)
c 0.10 (16)	f 0.3 (15)	

() 測定を行へる試片數

第 29 圖 壓延状態での C 0.14% 以下の平爐鋼の種々なる温度に於ける衝撃値

の種々異つた磷分群に分けて掲げてゐる。此成績は二個所の工場の二つの古い試験記録から得たもので、此所では磷分としてフェロフオスフォルが取鋼中に添加せられたのである。0.10% P の鋼でさへも衝撃値は -20° の場合に平均尚ほ 2.5 mtkg/cm² であり、0.05% P に対する曲線は 0° 以下の温度でも唯微かな影響を示すに過ぎない。G. Schmidt⁴⁴⁾ が殆ど炭素分のない試験チャージを用ひより以上不利な關係を見出して居る。實地ではプレス用ナット材以外には 0.3% P 以上のものは無いが、第 29 圖によれば衝撃値—温度—曲線は已に +50° から急激な降下を示し ±0° では此鋼は完全に脆弱であつた。冶金上不良の鋼は此數値が元來低いものであるが、又甚しい偏析を起した不鎮靜鋼に就ても之と同じ事が謂はれる。是は又比較的酸素分高き事を意味するものである。此を決定する事は分析成分の限界を定むるに甚だ重要である。何となれば夫れは軟い不鎮靜平爐鋼では磷分は少くも 0.05% 迄は無害として明かに許されてゐるからである。

第2表 二三富磷鋼の繰返し曲げ試験による疲勞限 (H. Buchholtz)

鋼種	C %	Si %	Mn %	P %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (l=10d) %	絞 %	衝擊値 1)		屈曲角度 度	曲げ疲勞限	
									供給狀態 m.kg/cm ²	時效 2) m.kg/cm ²		磨き上げ kg/mm ²	切込附 kg/mm ²
平爐鋼	0.08	0.25	0.24	0.196	36	49	23	38	6	1	180	31	23
平爐鋼	0.10	0.02	0.47	0.374	41	55	25	41	1	0.6	165+155	35	27
トーマス鋼	0.23	0.24	0.57	0.288	44	64	20	31	3	0.6	165+160	38	27

- (1) 10×10×55mm², 徑 2mm, 深さ 3mm の切込付き縦長試料
- (2) 10% 壓縮し半時間 250° で焼戻した。
- (3) 切込の作用を検するために 25.4mm の長さの上に深さ 0.1mm の螺子山 11 を切れり

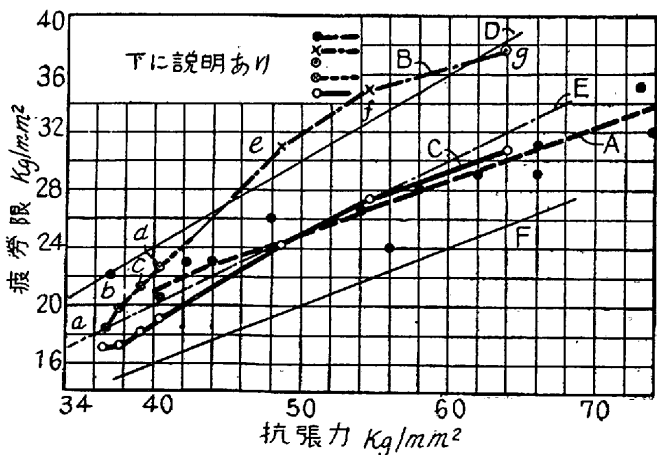
H. Buchholtz は高い磷分を有する鋼に及ぼす焼鈍の影響を研究し、焼鈍により歴延された状態に比較して抗張力及降伏點は 2~3 kg/mm² 位下り伸と曲げ角とは夫れ相當高まつたことを確めて居る。衝擊値は然のみならず 0.20% 以上の磷分を含む鋼では焼鈍によつて低くなつた。一般に磷分を含む鋼は普通の焼鈍では目立つて良くならぬ寧ろ往々性質の悪化を來すことがある。其理由は鐵-磷-合金は独自の γ 分野を有するが故に 0.6% 以上の磷分では常規の焼鈍による粒狀の微細化は不能となるのである。假令此表は質地に炭素分を含まない鐵に特に當嵌るとは謂へ、こゝで試験した鋼の様に炭素分の少ないものに於ても (<0.14%) 磷の影響には變りない。

H. Buchholtz の未發表の論文中的シエンク式の機械で行つた繰返し曲げ試験結果をも引用すれば其試験には、22×170mm² 及 33×150mm² の歴延した儘の平板鋼から採つた試料を用ひたのである。第2表に見らるる通り磷分に富む鋼の繰返し曲げ試験に因る疲勞限は、磷分のない然も同じ抗張力のある非合金鋼に比し甚だ優良である。切込を附した試料の疲勞限が、磨き上げた試料の夫れに比較して減退することにより明かなる如く、切込に對する感度は炭素分を少なくした二種の平爐鋼では 23~24% で、硬いトーマス鋼では 29% である。0.24 及 0.37% の高い磷分と磷分の少ない鋼と

比較すれば、磷分の切込に對する感度に或影響を與へるけれども、併し夫れは實際上此量では全然現れて來ない磷分を考へれば毫も差支ない。

磷分の疲勞限の上に及ぼす影響に關する文献は獨り F. McIntosh⁶⁾ のものがあるばかりであるが、それによれば 0.01% P は抗張力と同様繰返し曲げ試験による疲勞限も 0.6 kg/mm² 高める。磷分を含む鋼に就て McIntosh と Buchholtz が行つた試験成績と普通の含磷量の炭素鋼に就て Houdremont と R. Mailänder⁴⁾ が確めた成績とを比較すれば判る (第30圖)。鋼中の磷分が多ければ多い程、繰返し曲げ試験による疲勞限は抗張力よりも目立つて高くなる。

磷分の磨耗に及ぼす影響に就ては E. H. Schulz 及 A. Wimmer⁴⁾ の表示がある。これには二種のトーマス軌條鋼と二種の平爐軌條鋼とを Amsler 機で試験し、0.054% P と 0.046% とのトーマス軌條鋼は 0.022% P と 0.028% P との平爐軌條鋼よりも磨耗が目立つて僅微であることを確めて居る。其外未だ公表されて居らないが H. Buchholtz の 0.1% C の鋼に就ての試験結果を第31圖に掲げやう。即約 0.1% C と 0.4% P を含む鋼の磨耗量は抗張力 80~90 kg/mm² の炭素鋼と同一である。故に磷分によつて抗張力が約 57 kg/mm² 昇るのに較べると磨耗の場合は更に有利である。

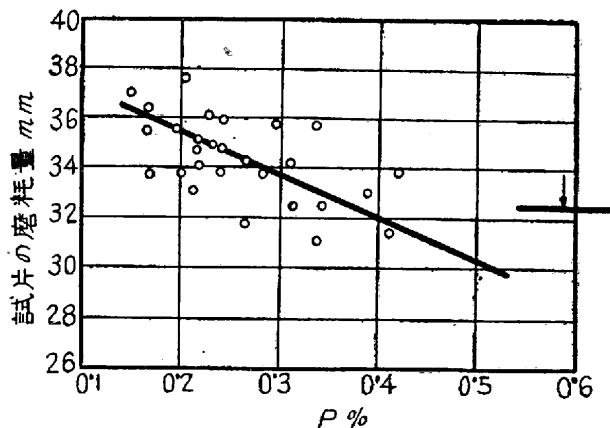


下に説明あり

曲線	出所	C %
A ●	Houdremont u. Mailänder	0.8~0.6
B ×	Buchholtz P-Stähle	0.10
⊗	"	0.23
⊙	Mac Intosh	0.1
C ○	Stribeck により計算	0.1

點	P %	c	f	g
D	0.065	0.065	0.374	
E	0.012	0.085	0.538	
F	0.03	0.196		

第30圖 磷分に富む不銹鋼並に磷分に乏しき不銹鋼の抗張力と繰返し曲げ疲勞限との關係



抗張力 80~90 kg/mm² の磷の乏しい鋼の磨耗量
第31圖 C 約 0.1% の鋼の耐摩耗性に對する磷の影響 (スピンドル機で測定) H. Buchholtz による

II 腐蝕に對する状態

K. Daevess⁷⁾ は詳細に試験して 0.2~0.3% Cu で 0.06% P 以上を含む鋼は同じ銅分を含む磷分の少ない鋼よりも大氣中に於ける蝕損を來すことが著しく僅微であることを立證して居る。加之十分に高い銅分及磷分を有する鋼は、十分長期の試験の場合に銹の生成

第3表 富磷鋼での曲げ試験報告 (H. Buchholtz)

鋼種	C %	Si %	Mn %	P %	S %	壓延寸法	熱処理	抗張力 kg/mm ²	伸 (<i>l</i> =10 <i>d</i>) %	1) mk.g/cm ²	屈曲角度
トーマス	0.08	0.20	0.53	0.220	0.045	200×12	壓延の儘	52	75	6 ²⁾	180
トーマス	0.10	0.20	0.74	0.240	0.040	150×13	壓延の儘	58	22	5	180
トーマス	0.23	0.24	0.57	0.238	0.062	170×22	普通焼鈍	53	25	10	割れず
トーマス	0.23	0.24	0.57	0.238	0.062	170×22	〃	64	20	3 ²⁾	160
トーマス	0.23	0.24	0.57	0.238	0.062	170×22	〃	58	23	3	割れず
平爐	0.12	0.19	0.71	0.197	0.039	195×20	〃	53	27	6 ²⁾	180
平爐	0.12	0.19	0.71	0.197	0.039	195×20	〃	50	26	3 ²⁾	割れず
平爐	0.41	0.31	0.85	0.180	0.045	125×13	〃	75	17	2	115÷68
平爐	0.41	0.31	0.85	0.180	0.045	125×13	〃	70	20	2	180

1) 10×10×55mm², 径 2mm, 深さ 3mm の切込附縦長試料
2) 層状に割れ目を生じた

が漸次止むかの様に見える。これは磷分を含まない鋼では見られぬことである。此實際上重要な観察を D. Daeves, E. H. Schulz 及 C. Carius⁴⁸⁾ は鋼を添加した鋼では銅分を含む防護膜が磷の存在により磷分を含まないものよりも著しく緻密になると説明して居る。

Daeves の得た結果は V. V. Kendall 及 E. S. Taylerson⁴⁹⁾ が當時長年腐蝕試験を行ひ、銅を添加しない鋼では 0.01 P を 0.1 % P に増しても、鋼板の壽命には無影響であるけれども、0.15% Cu 以上の鋼は 0.1% 以上の磷分より耐久性が著しく高められると云ひ、これに保證を與へて居る。此認識に従ひ近年 0.2~0.3% Cu 磷分の高い耐蝕鋼が造られて居る。例へば米國に於ける 0.3~0.5% Cu, 0.1~0.2% P を含ませた Corton Stahl⁵⁰⁾ が夫れである。

III 工學上の性質

多數の用途に對し、特に鋼板では常溫曲げ試験を行ふことが規定されて居るので、H. Buchholtz の磷分に富めるチャージに就ては試験結果を第3表に蒐めてある。0.12% C 以下のトーマス鋼及平爐鋼は壓延した儘でも、亦焼鈍を行つた後でも、割れずに 180° 曲げられ、0.41% C, 0.18% P の平爐鋼も普通に焼鈍したものは同じ程度に曲げられる。

エリクセン試験では往々磷分の甚しき悪影響が認められ、然も K. Daeves⁵¹⁾ の試験によれば之れには磷分から来る直接の影響はないことが判る。此は厚さ 0.28mm 鋼板に就き磷分以外の化學的成分の相等しい鋼板を同じ様に處理して次の通りの押込の深さを得て居る。

P 含有量	押込の深さ
0.04%	5.57~6.23mm
0.09%	6.77~7.13mm
0.15%	7.44~7.72mm

0.15% P の鋼の數値は Erichsen 曲線の數値よりも 13% だけ上位にある、このことは Daeves が 4000 枚の二重酸洗ブリキで確め得た所であつて、普通鋼で作つた斯る薄い鋼板では殆ど達し得ぬところである。

熱間加工性は d'Amico の説によれば、1.5% P 迄は影響を受けないけれども常溫造形性は 0.06% P 以上では鋼の他の成分の如何により著しく下る。實際では 0.2~0.4% P のトーマス鋼の良好なる熱間造形性が壓搾ナット材によつて利用されて居る、夫れは磷分を含む鋼は型の隅々迄も良く行渡るからである。

常溫造形の場合大なる磷分は甚しく硬度を高める。是は一方に於て前にも述べた通り、磨耗に對しては有利となるけれども、他方に於て造形性の急速な消滅を來す。故に使用上なるべく大なる造形性

能が要求せらるゝものに對しては磷分を餘り高くしない。併しなからこの稀に起る好ましからぬ事實が全然そう云ふ事の心配のない多數の用途にまでも引用され、其結果常溫造形性といふ事が毫も問題とならぬ建築用材部分品、型钢、軌條等の用途に對しても、不必要に低い磷分が限定されて居る。

0.2~0.25% S, 0.07~0.1% P の快削鋼の場合並に前述の壓搾ナット材の場合旋盤削屑の離れの良い性質に對して有する P の有利なる影響は人のよく知る所である。此材料は最高旋削速度のときも光澤のある平滑なる表面を具備せねばならず、尙ほ其外に工具の消耗を少なからしむる効果を示さねばならぬ。磷分により旋削層が短くなることは機械の圓滑な仕事の上で重要な事である。

磷分は鍛接性³²⁾を良好にする、故に磷分を含む鋼は鍛接ガス管に廣く用ひられて居る。R. S. McCaffery⁵³⁾ の説によると北米合衆國では 0.09 P 迄のベセマ鋼を H. P. Tiemann⁶⁴⁾ の説では夫れのみならず尙ほ 0.11% P 迄のものが使用されて居るとの事である。J. P. Miller⁵⁵⁾ は斯る鋼はブリキ工が平常使用して居る簡単な道具を以て良く然も容易に加工(ねぢ切り)が出来ると賞讃して居る。斯る磷鋼は米國では鋼塊の頭部から底部迄も成るべく磷分を均等に分布させるやうに又ガス管製造には外縁の熔接上特に緊要である鋼塊の外表面の磷の均等な分布を促がすために前に述べた徳利形鑄形に鑄込んで居るとの事である。

K. Daeves⁵⁾ もガス熔接で製造する管に就て同じ事を認めて居る。此所でも滑澤な接目を得るには 0.06~0.07% P が必要であることを述べて居る。

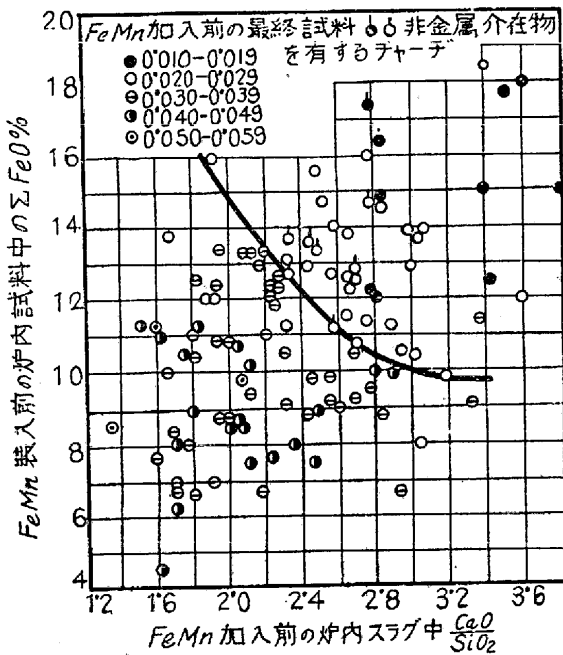
C 磷の許容含有量を甚しく低く制限する事の影響

以上磷分含有量を餘りに低く制限する事は必然的に鋼中の酸素分を高からしむることとなるので、使用價值と密接な關係のある機械的及工學的性質の大部分は含磷分が中位であるために不利の影響を蒙ると云ふ事は無いと論究したが、次に尙磷分を餘りに低く制限する事が如何に使用値の上に不利を來すかといふ二三の例を擧ぐることとする。

鋼塊内の下均齊状態の研究に關する英國の委員の試験によれば 60~100t 鋼塊の中心部で鋼塊の最上部に於ける磷の増量が 100% に達することは稀有の事ではないと謂つて居る。磷分を餘りに過度に氣遣はるるために製鋼工場は往々チャージの平均 0.025% P 以下にすることを餘儀なくされて居る。故に獨逸の工場の多數に於ては配給される原料の關係上鋼浴が脱酸前に大なり小なり一酸化鐵を含有し、激しい精鍊を行はねばならないので脱酸劑を著しく多量に添加せねばならぬ。フェロマンガンの添加の有害なる事に就ては

P. Bardenheuer⁸⁾が詳細に報告して居る。此添加により鋼中の酸素分が一時的に増量する。元來其際には第16圖が示す通り鋼中の一酸化鐵は磷分を低下せんとすればする程益々高くなる。これを免れるには高價にして且入手困難なる無磷装入物を使用するか、或は磷分の高い生成スラグを取除く事にする等費用の懸る方法を採らねばならぬ。

K. Daeves⁹⁾は二個所の工場で重量鍛造品中の砂の介在物の原因を調べた上、之から起る廢品の發生を防ぐ作業上の法則を定めた。この二工場の調査を基礎とし、その外の二個所の工場で10~60tのチャージ109鋼の試験の成績を第32圖に取纏めて擧げて



曲線の左下側砂のない熔解
線の右上側砂のありさうなもの
(Sandgefahr)

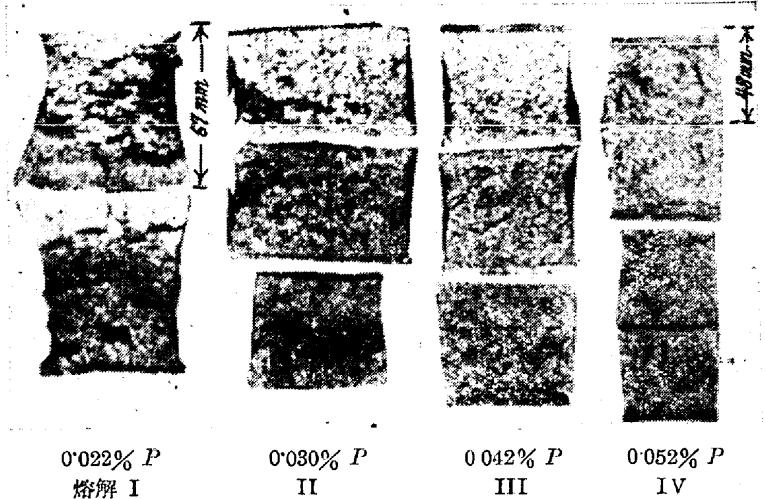
第32圖 磷分の介在物の生成に及ぼす影響

ある。これには磷分は石灰と珪酸との比とフェロマンガ加入前のスラグの一酸化鐵分(0.9倍の Fe_2O_3 を加算して)との関係として示してあり、更に非金属介在物を有する鍛造品を出したチャージには特に記號を附してある。此所でも化学成分上煉瓦又は平爐滓と思はるゝ介在物は之れを除外してある。これによると0.030% P以上のチャージとそれ以下のチャージとの間に樂に分割線を引くことが出来、そして其線は同時に單に砂の介在のないチャージばかりの範圍と砂を含む危険があり、又其内に非金属質介在物のために廢品に歸したチャージ全部がある分野とを區分する。これによれば此等廢物に歸せるものは約四分の一位である。鋼の温度が低いか或はスラグ中の磷分の低い工場ではその分割線が下方へ移動し、これ等高い工場では上方へ移動する。

此場合非金属質介在物の發生に對する磷の影響は極めて間接であつて、酸素分の少ない鋼を造るときは熔解條件として高々0.03% P以上である。併し又磷分が尙直接の影響を及ぼす様にも思はれる事がある。即ち0.04% P位の鎮靜鋼の鑄込の際特に鋼鑄物の場合に往々稀薄流動性が高まり之れに關聯して磷分の少ない鋼の場合よりも流動性の良い鋼塊の上表面に浮遊するスラグの分離が加はる事が明かに認められた。粘性の減つた流動状態は一層非金属質成分の分離を促進することゝならう。本論の範圍から云へば、磷分自身が鋼

の稀薄流動性-鑄鐵の場合の様に-を助長するか、或は鋼中の大なる磷分と關係のある低い酸素分が砂の介在を不能にするか否かは別問題である。この目的即ち非金属物による不純化の防止は獨り常規の含磷分に止むる事により達成される。

第33圖には其外尙ほ約0.11% C乃至0.15% C及約0.13% Si乃至0.18% Siの四種の軟鋼の切缺曲げ試料と増加する磷分を比較してある。此鋼類は精鍊も鑄込も全く同一條件の下に行はれたものである。先づ第一に0.022% Pのチャージでは全部の切缺曲げ試料及引張試験試料は細くなるときに鋼塊の下半部にある黄色の珪酸マンガ介在物(第33圖左)のために不良の成績を示した。此試験結果



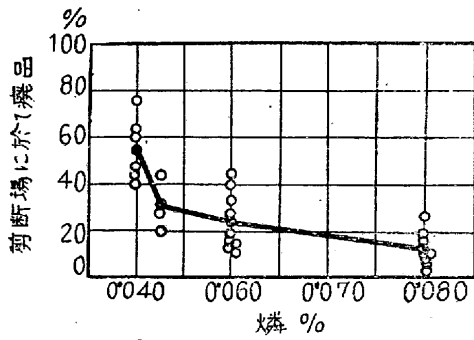
第33圖 スラグの調節、鋼中の磷分、砂の介在の相互關係

を土臺とし、次には0.030, 0.042及0.052% Pの三種のチャージを造つて試験せるに、其切缺曲げ試料(第33圖右)は原則的に異つた破面組織を示し、0.042及0.052% Pのチャージには少しの介在物もなく、唯0.030% Pのチャージは一二の小さい缺點が有つただけである。

製板の際に恐れられて居る剝離不良は或程度磷分を加へて防止し得る事は既に人の知る所である、故にR. S. McCaffery⁵³⁾の説に従へば薄板製造には0.1% Pのベセマー鋼が米國で使用されて居り、H. P. Tiemann⁵⁴⁾は此目的にはより以上高い0.11% P-を許容して居る。

磷分を餘りに制限することは、火室用鋼板製造の場合多大の廢物を出すことを間接に肯定するもので、この事實はW. Titze⁵⁷⁾の論文にも見られる。これは平爐鋼にあつては酸素分を増すと共に、粘着力が著しく増すことを認めて居り、其論文の上半に於て鋼中の酸素分と磷分との關係が如何に密接であるかを立證し、後、磷分が高い鋼は粘着が少ない事を肯定して居る。それは平爐法にせよトーマス法にせよ、磷分の高い鋼はフェロマンガンによつて脱酸前に既に極少量の酸素分を含有して居るに過ぎぬためであると云ふ。

磷の影響が如何に強大であるかは第34圖に示されて居る。同一の製法並に加工法では磷分を異にするトーマスチャージを0.22mmの板に歴延し、其中の疵物を缺切場で調べたのである。其疵物の中には粘着に關係のあるあらゆる缺點が含まれて居る。第34圖は4300枚の成績であるが0.01~0.45% Pに制限すればトーマス鋼の此種薄板製造を殆ど不能にする。これに關して最も有利な成績は0.08% Pのチャージであつたことを示して居る。それ以上磷分を高くすれば、鋼の抗張力を強めるため仕上り板、特に深絞り用鋼板の硬度を高めるから警戒せねばならぬ。



各點は 160 枚の薄板の平均値を示す
第 34 圖 磷分の薄板製造の場合に於ける粘着による廢品上の影響

磷分の餘り窮屈な制限は當を得て居ないといふ一例を R. Powell¹⁸³⁾も擧げて居る。硬化鋳の如き火造工具の大量生産の際に生じた鍛接不良による疵物を調べた所、これは已に指摘されて居る通り、鋼中の諸不純物中磷は火造に有利な影響を及ぼすことを確め、0.015~0.02% P に制限した誤れる規定のために鍛接した工具の 8~10% が廢物となった、然し偶然 0.06% P の鋼を使用した場合著しく疵物を減じ、0.1% P に増した場合には疵物は 1% に減じ、尙ほ夫れ以上高めたものは脆性を來したといつて居る。

最後の例として軌條鋼に對する磷分の規定に就て一言すれば、已に長年來各國共最高許容磷分を低下させる傾向にあつた。R. Kühnel¹⁸⁴⁾の 1888 年より 1923 年迄の期間取外した軌條に就ての統計がこれに符合して居る。夫れてよると一樣に 5ヶ年毎に別けた各期間中で順次に 0.092% P から 0.05% P 迄下つて居る。そこで自然何故に諸國に於て継続的に軌條の磷分の引下げに努めたかといふ事が問題となる。

已に述べた通り磷は擦り減りに對する抵抗を高めることは明かである。其外ベセマー鋼の軌條の擦り減りに對する抵抗を例證とすべきであらう。特に留意すべきことは、軌條鋼取引條件の會議に於て、或英國の鐵道當局者の言明した點である、それは無論、合理的限度内の含磷量は軌條の耐久力を保持するため重要であると認め、1929 年に或他の英國の鐵道當局者が、英國の軌條取引條件を批評し磷分は例へば鹽基性平爐鋼で 0.04% に引下げられ同時に炭素分を 0.55% から 0.65% たらしむるために Mn 分は 0.8% に引下げられた、それにより吾人は消耗の立場から見て幾十年前よりも良果は得られず、寧ろ不良の結果を見せ付けられてゐる。

尙ほ磷分は軌條が折れる危険のために引下げられたのであるといふ議論もあるが今迄に大なる磷分のために軌條の折損は國內でも亦外國でも殆ど全くその例がない。然も J. Hacha¹⁸⁵⁾は 0.1% P 迄のベセマー鋼の軌條が露國に於て約 80° 位の大なる温度の變動に耐へたと謂はれて居り、R. Kühnel¹⁸⁶⁾も 0.12% P 以上の軌條が折損を起さず十年以上も使用せられたと謂つて居る。

括 言

- 1) 鋼中の磷分を餘りに低める事を固守すれば、鹽基性銑鐵屑法及トーマス法ではスラグ中及鋼中に酸素分が増加し、不必要なスラグの増量並にマンガン經濟の著しき悪化の如き不利を來す。
- 2) 一般に非合金構造用鋼及軌條鋼の機械的性質は中位の含磷量のために不利な影響を受くることはない。技術上、並に使用上の性質は一特に擦り減りに對する抵抗熔接性、旋削屑の離れの良い性質及耐蝕性—高い磷分のために改良せられる。

3) 磷分の低き事を固守すれば、間接又直接に非金屬質の介在物の發生、鍛接性の不良、薄板に於ける粘着の疵物の發生、軌條の磨耗性が加はる等の如き缺點を招致する。

文 獻

- 1) K. Daevcs: Praktische Grosszahl-Forschung (Berlin: VDI Verlag 1933). Masch.-Bau 10 (1931) S. 233/36
- 2) L. Beck: Geschichte des Eisens, Bd. 5 (Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn 1897) S. 933
- 3) Stahl u. Eisen 9 (1889) S. 349/73
- 4) Stahl u. Eisen 44 (1924) S. 1640
- 5) Ingenieur, Haag, 48 (1934) S. 144/47; vgl. Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 165
- 6) Min. Metallurg. Invest. Bull. Nr. 25 (1925); Min. Metallurgy 7 (1932) S. 133/34
- 7) Stahl u. Eisen 52 (1932) S. 133/34
- 8) Stahl u. Eisen 53 (1933) S. 488/96
- 9) Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 317/24 u. 351/60
- 10) Z. Anorg. allg. Chem. 213 (1933) S. 161/79
- 11) Min. Metallurg. Invest. Bull. 1927, S. 25
- 12) Amer. Inst. Min. Metallurg. Engr. 1934, S. 112; Stahl u. Eisen 56 (1936) S. 165/71
- 13) Arch. Eisenhüttenwes. 1 (1927/28) S. 483/97 (Stahlw.-Aussch. 134)
- 14) Arch. Eisenhüttenwes. 7 (1933/34) S. 223/27
- 15) Stahl u. Eisen 53 (1933) S. 369/75 u. 398/404 (Stahlw.-Aussch. 250)
- 16) Stahl u. Eisen 46 (1926) S. 1597
- 17) Stahl u. Eisen 27 (1907) S. 157/61
- 18) Dr.-Ing.-Dissert. Breslau 1918. Stahl u. Eisen 40 (1920) S. 1545/47
- 19) Arch. Eisenhüttenwes. 3. (1920/30) S. 505/30
- 20) Mitt. Forsch.-Inst. Verein. Stahlwerke. Dortmund. 1 (1928/30) S. 223 ff.
- 21) 未發表の論文
- 22) Stahl u. Eisen 52 (1932) S. 1162/68
- 23) Ber. Stahlw.-Aussch. Nr. 59 (1921): Stahl u. Eisen 41 (1921) S. 781/89
- 24) Dr.-Ing.-Dissert. Clausthal (1930). Stahl u. Eisen 50 (1930) S. 1665/74 u. 1708/18
- 25) Stahl u. Eisen 45 (1925) S. 1917
- 26) Vgl. Stahl u. Eisen 56 (1936) S. 181/208 (Stahlw.-Aussch. 302)
- 27) Iron Coal Trad. Rev. 105 (1922) S. 839/40
- 28) Stahl u. Eisen 7 (1867) S. 316/20
- 29) Stahl u. Eisen 48 (1928) S. 795
- 30) Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld., 13 (1931) S. 291/305
- 31) Arch. Eisenhüttenwes. 5 (1931/32) S. 503/09
- 32) Stahl u. Eisen 41 (1921) S. 497
- 33) Stahl u. Eisen 47 (1927) S. 1782/3
- 34) Arch. Eisenhüttenwes. 5 (1931/32) S. 449/69
- 35) Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 597/605

- 86) 2. Bericht des Committee des Iron and Steel Institute über die Ungleichmässigkeit von Stahlblöcken (1928) S. 410
- 87) A. Ris'ow: Erörterung zum Bericht von A. Stadelcr und H. J. Thiele: Der Einfluss der Kokillentemperatur auf die Lage der Randblasen und auf die Seigerungsverhältnisse in weichen Flusstahlbrammen. Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 458
- 88) A. Ristsw: Stahl n. Eisen 53 (1933) S. 617/24
- 89) Das technische Eisen, 2. Aufl. (Berlin: Julius Springer 1925) S. 206
- 90) Ferrum 10 (1912/13) S. 289/304; vgl. Stahl u. Eisen 34 (1914) S. 331
- 91) J. Iron Steel Inst. 91 (1915) S. 140/98
- 92) Year Book Amer. Iron Steel Inst. 1918. S. 172/93
- 93) Stahl u. Eisen 50 (1930) S. 13535/56
- 94) Arch. Eisenhüttenwes. 8 (1934/35) S. 263/67
- 95) Kruppsche Mh. 10 (1929) S. 39/49
- 96) Stahl u. Eisen 49 (1929) S. 385/88
- 97) Arch. Eisenhüttenwes. 9 (1935/36) S. 37/40 (Werkstoffaussch. 308)
- 98) Mitt. Kohle- u. Eisenforsch. 1 (1935) S. 1/8
- 99) Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 29 (1929) II, S. 204/19; vgl. Stahl u. Eisen 49 (1929) S. 1707/08
- 100) Steel 94 (1934) Nr. 11 S. 37; Nr. 21, S. 42/43. G. N. Schramm, E. S. Taylorson und A. F. Stuebing: Iron Age 134 (1934) Nr. 23, S. 33/38; Symposium Outdoor Weathering Met. and Metallic Coatings (Amer. Soc. Test. Mat.) 1934, S. 51/68
- 101) 未發表
- 102) Werkstoff-Handbuch Stahl u. Eisen (Düsseldorf: Verlag Stahleisen m. b. H.) Blatt E 11-1 (Ausgabe Juli 1930)
- 103) Year Book Amer. Iron Steel Inst. 1931 S. 366/67
- 104) Year Book Amer. Iron Steel Inst. 1931, S. 383
- 105) Blast Furn. & Steel Plant 18 (1930) S. 1602/05
- 106) Stahl u. Eisen 53 (1933) S. 1155 (Werkstoffaussch. 237)
- 107) Stahl u. Eisen 49 (1929) S. 897/903
- 108) Weld. J. 8 (1932) S. 469
- 109) Die Schiene (Vorträge auf der von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und dem Verein deutscher Eisenhüttenleute am 2. April veranstalteten Schientagung) S. 9/14. The Railway Engineer 46 (1925) Dez., S. 74/75
- 110) Rev. univ. Mines 72 (1929) S. (161/66)

本論文に対する反響

この報告に對し次の如き意見の交換が行はれた。

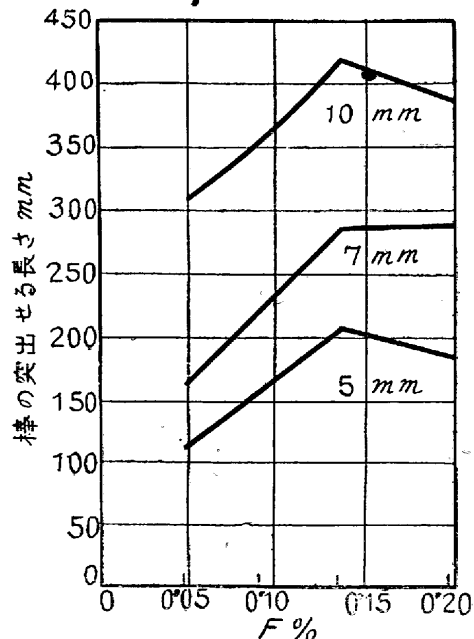
R. Hilger, Remscheid: 鋼の鑄物に於て含磷量が高ければ、流動性が増す事は明かである。鋼鑄物の可鑄性及同物理的性質に及ぼす磷の影響を數字的に決定せんとして、レムシャイトに於ける白耳義製鋼業に就て鹽基性鋼及酸性鋼の磷分を高めつゝ幾多の實驗を行つた處、その成績が極めてよく一致するを認めた。鹽基性平爐鋼の材料としては 0.22% C, 0.30% Si, 0.66% Mn, 0.034% P, 0.024% S の軟鋼を用ひた、23% フェロフオスフォルを取鋼に添加して 0.076, 及 0.114 及 0.162% P の一聯の含磷量を得た。酸性電氣爐鋼は 0.28% C, 0.37% Si, 0.78% Mn, 0.043% P の成分であるフェロフオスフォルを加へて 0.113, 0.152 及 0.220% P 等の磷分が得られた。

鑄造性を試験するためにハーブ(鑿琴)と呼ばれる各 10mm, 7mm, 5mm, 3mm の丸棒が下注により 1500°C で鑄造された。(第 35 圖) 磷分を高くすれば棒の長さが長くなる事は第 36 圖を見

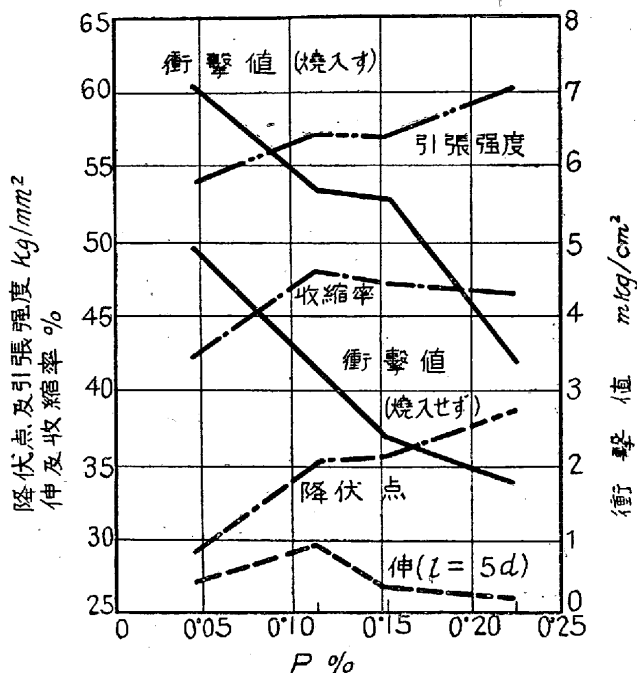


0.05% P 0.10% P 0.14% P

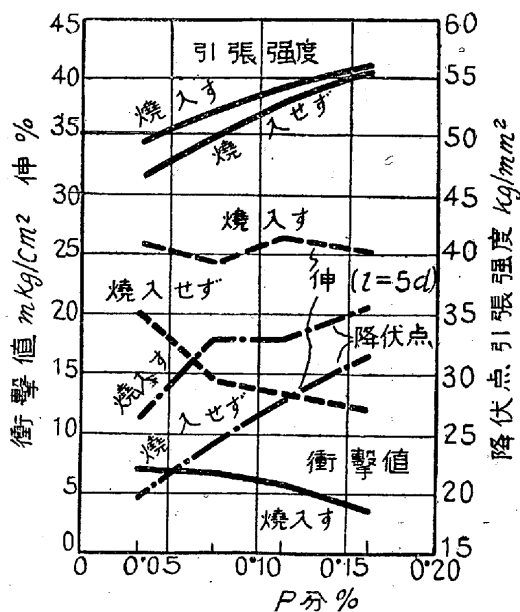
第 35 圖 鑄鋼の磷分及流動性



第 36 圖 磷が鋼の鑄造性に與へる影響



第 37 圖 酸性電気鑄鋼 (衝擊試料の型) の硬度に及ぼす燐の影響



第 38 圖 燐分を漸次高めたる平爐鋼鑄物の強度 (衝擊値試料の型)

判る。最高の燐分では幾分その長さが減ずるがこれは取鋼にフェロフォスフォルを加へると冷却作用を起すからである。硬性に關しては 37 と 38 圖を見ればよく判る。物理的性質の試験は鑄造状態の儘 950° で 3h 加熱した後、後述の爐内冷却を行つて結果を見るのであるが、鑄造状態に於ける所見は豫期の如く降伏點と硬度の上昇が可成早くなり、伸と收縮は急に低下し、これによつて所謂品質指數(硬度×伸)も著しく下る。この關係は實際上、加熱状態に於て本質的に有利である。降伏點、硬度及降伏點の比等が、鑄造状態の場合と同様直ぐに上昇するが、これに反して伸と收縮は極めて僅か下降するか、或は全然低下せぬ、この結果品質指數は改良せられ、現在の場合 1280 の鹽基性鋼に於て約 0.034% P であり、1410 にすれば

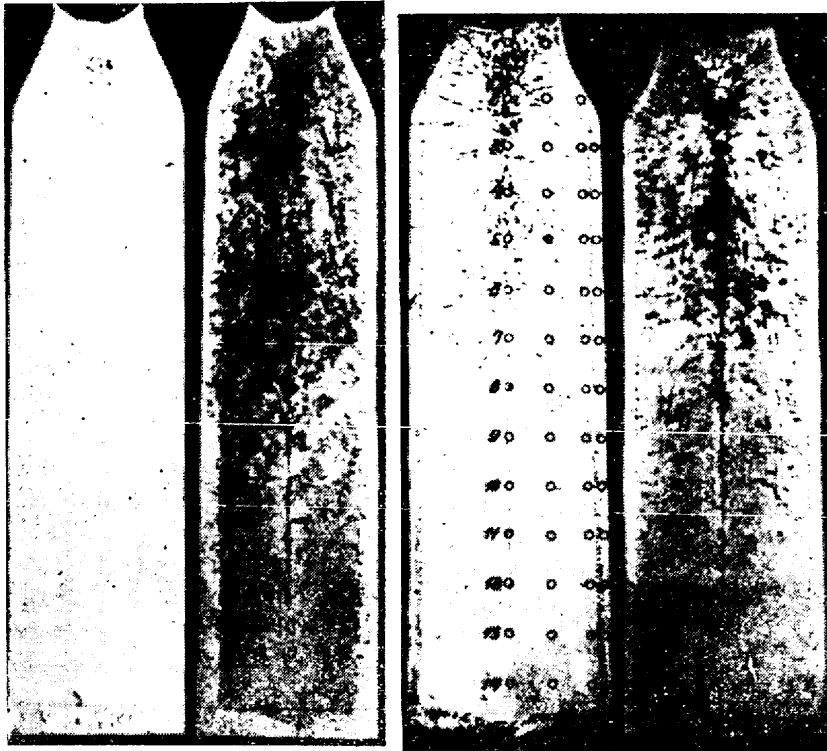
れば P は 0.162% P になる。降伏點の比は 53 から 64% に上昇する。リストフ氏と一致する所は衝擊値に於ては 0.07% P 迄は實際上全く低下を認めず、0.11% P に上つたときでも 5.8mkg の數値に達するのが常であつてこれが何時も十分であると記録すべきである、燐分が更に上つて 0.162% に達した時衝擊値は 3.6mkg に低下する。これに關聯して燐分が高ければ鑄造技術上如何に不利であるかを示すため龜裂感受性の事を述べたい。龜裂感受性があればニッケルも含む鋼鑄物の一部は完全な鑄造が出来なくなる。要するに 0.3% C 迄の軟質鋼鑄物に於ては燐分を 0.10% 迄上げてても何等物理的性質の悪化を來さないと云ひ得る。鋼の流動性を高めれば、小形の薄壁の鋼鑄物の生産力が徹底的に擴大せられる。

Hamborn の E. Herzog 評：リストフ氏は鋼中の燐の作用を全く見直す事に依つて大に貢獻する所があつた事は疑の餘地がない。即ち従來の觀念を脱却して燐の眞價を遙て多く認めたのである。彼は嘗て鋼の製造に關し一方に於てその脱燐度、他方に於て鋼の酸素分とこれが鋼の品質に及ぼす影響が相互に密接な關係を持つ事を掲げた。鋼材の性質に及ぼす多數の有利なる燐の影響に關しては比類なき完全な見解を示してゐる。従來燐が嫌はれたのは結局偏析の傾向である。リストフ氏の發表にも燐が大いに不利であると斷定せしめた大なる障害の一つはこの偏析傾向であると述べてゐる。小生は偏析の傾向は唯單に大障害の一つであると云ふのではなく、これだけが大なる障害なのだと云ひたい。其他あらゆる不利な性質例へば冷間造型性の不良、薄板の剛性の大なる事等と雖も、これに比すれば物の數ではなく若干の貴重な元素が鋼の合金を造る事となればこれは最後の成功である。然し燐の偏析は益々重要性を加へて來ると、同時にこれが實際上無害であるとするれば、リストフ氏に依つて示された燐の有利な作用を實際に利用し得る筈である。然るに實際は未だ總ての問題が未解決の儘になつてゐる。

先づ鎮靜鋼から云へば軌條の磨耗性に對して燐が好影響を與へると唱ふるリストフ氏の説に我等は根本的に同意するものである。普通の非合金軌條は鑄造が亂暴であるから、普通の鑄型では押湯部を除去せぬため、トーマス鋼に於ても平爐鋼に於ても燒過による鋼質の被害を考慮するから、鑄造の前後金屬學的に許容せられる範圍で燐分を低くして置く様に努力せねばならぬ。斯く云ふ所以はトーマス鋼の場合と同様平爐鋼に於ても相等的な硬度を得るには炭素分を一層高くせねばならぬからである。炭素も偏析が極めて強くこれが燐と一緒に作用するときは危険を伴ふ。リストフ氏は恐らくあの公知の對策を指示したのであらう。押湯法は勿論技術的な一手段であるが他の理由からこれが常に應用せらるゝに至らない。

不鎮靜鋼を檢討するために、再度リストフ氏の掲載した圖に溯つて、普通の開口鑄型による鋼塊の偏析状態と、英國で盛んに用ひられてゐる所謂德利狀鑄型内の凝固鋼塊のそれとを比較して見ると、開口鑄型内の凝固の場合には、鋼塊の頭部と中央とに於て行はれる最も著しい偏析が、中心部と周邊部の標準的形成と全く一致すると云ふ結果になる、これに反してリストフ氏が英國の閉鎖式鑄型を使用した場合の偏析圖と、我々がハンボルンで德利狀鑄型を用ひて得たものとを比較すれば、尙各々差異が現れるがこれに關して私は尙詳細に報告したい。

第 39 圖左は第 8 底飯に於て不鎮靜の儘鑄込みたる平爐鋼々塊であり右は各個に鑄込んだ鋼塊であつて不鎮靜の軟質トーマス鋼から成る。鋼の種類鑄造の方法等が異つても實際上偏析の状態は不變である。或時は獨特の狭き軟質の外殻を見る事があるがその他の場合

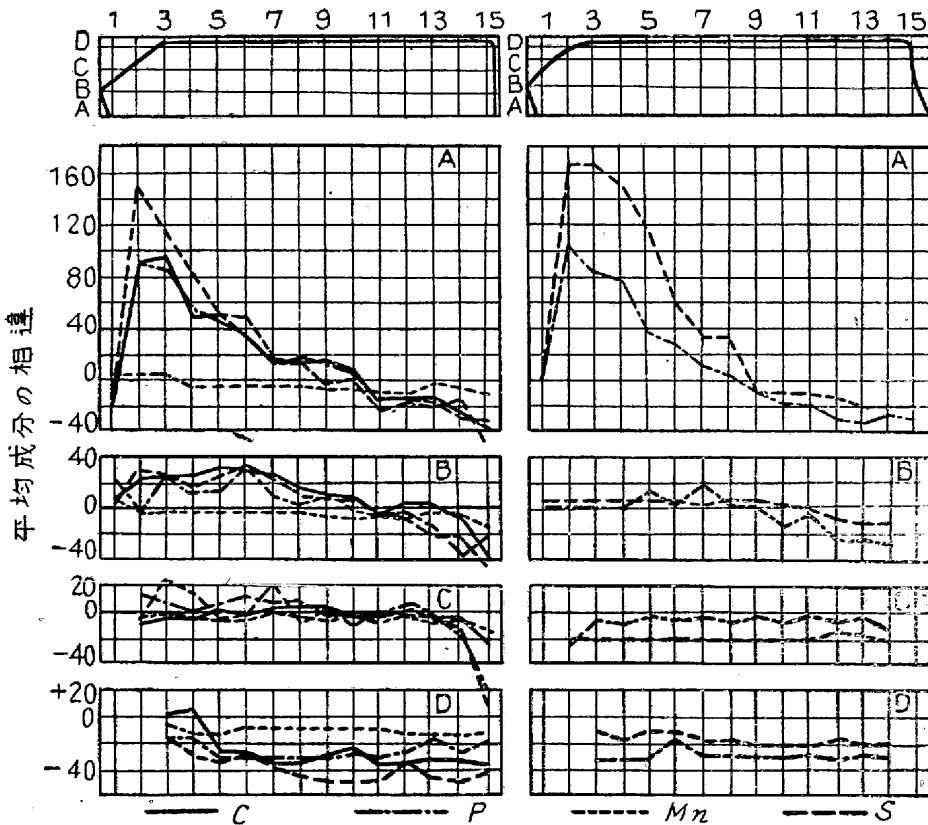


シエマンス・マルチン鋼 と トーマス鋼
第39圖 軟質不鎮靜の照基性平爐鋼及同轉爐鋼より成る徳利狀鋼塊

は鋼塊軸に著しい偏析が現はれる。これに關して只兩圖が完全で一致するばかりでなく二つの鋼塊の偏析試験の結果も又一致する。

第40圖は平爐鋼の分析試験の表であり、第41圖は同じくトーマス鋼の分析試験の表である。試料片の穿孔の配列は上に大略記入せし1/2鋼塊によつて判る筈である。A級に於ては鋼塊軸と一致するが兩鋼塊の成分は先づ急激に上昇して概ね100%に達しその後次第に低下して鋼塊の下部に於ては零以下に下る。尙兩鋼塊にあつて硫黄は一層強い偏析を起す。偏析は150%迄は可能であり又鋼塊上部に於けるマンガン硫化物の介入物中にも現はれる。平爐鋼のみの調査では炭素は實際上磷と同一の経過を辿つてゐる。B級は本質的に偏析が少い事を認めたので、中心の偏析と區別する事が出来るけれども、脚部に行くに従つて或程度減少する事は何時も吾等が確認する所である。最後に外部の狭い範圍の軟質部の特異性に就て一言すれば、二つの凝結方法を見るに、鋼塊上部の中心に於ける殘滓熱が最高の數値に達せない限りは中心部で空虛が擴大して偏析濃度が此處では低下するが、これがこの現象の理論である。徳利型鋼塊の中心部に於ける偏析濃度の低下を我々は常に利用する事が出来なかつた爲、ハンボルンではこの鑄型が經濟的に極めて有利であるにも拘らず、或場合には尙依然として開口式鑄型に依つて凝結さす様にせねばならなかつた。例へば長く押出される極めて軟質の平爐鋼線條の場合或は2mm以上の厚さの深絞り帶鐵の場合がこれである。この二つの場合求むる工材の柔軟度に應じて炭素、磷、硫黄の含有量が極めて低い事が重要であつて磷分は約0.02%位である。又偏析濃度はやはり中心部で非常に低いにも拘らず、帶鐵の深絞り性或は線條の押出能力は外部の廣い軟質部が缺けてゐるため、満足すべき程度に至つてゐない。この状態は鋼塊の下部から上部に行くに従つて一層鮮明に現はれる。このやうな外部の軟質部が狭いための影響を度外視すれば、假令徳利型鑄型を利用して偏析の生ずるを抑制せなくとも、強度の緩和が有利である事は勿論である。鋼塊の上部：鐵滓が入り込んで來て、粗い層を作るのを避ける點に於て、これ等鑄型の形狀の本來の意義が有るのである。この方面からしてハンボルンに於て我等は徳利型鋼塊を取入れる事になつたのである。この目的のためにこれが斷然適してゐる事に就いて最近他の諸工場もこれを立證してゐる：

試料番号



第40圖 下注による軟質不鎮靜平爐鋼にて作りたる徳利狀鋼塊素鋼塊の成分; 0.087% C, 0.48% Mn, 0.032% P 及 0.030% S

第41圖 上注による軟質トーマス鋼から作りたる徳利狀鋼塊素鋼塊の成分; 0.068% P 及 0.030% S

このやうな外部の軟質部が狭いための影響を度外視すれば、假令徳利型鑄型を利用して偏析の生ずるを抑制せなくとも、強度の緩和が有利である事は勿論である。鋼塊の上部：鐵滓が入り込んで來て、粗い層を作るのを避ける點に於て、これ等鑄型の形狀の本來の意義が有るのである。この方面からしてハンボルンに於て我等は徳利型鋼塊を取入れる事になつたのである。この目的のためにこれが斷然適してゐる事に就いて最近他の諸工場もこれを立證してゐる：

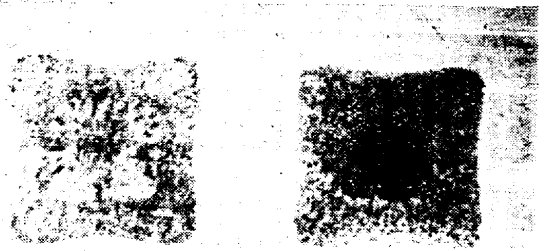
Hagen-Haspe の K. Stein: リストフ氏は鋼の品質をよくするため磷分を餘り少くしようとする事は考へものであり、適當な限度内で多少これを高めても機械的性

質が悪化せられる事はない事を指摘した。「小生自身が 0.1% P 以上の鋼を使はねばならぬ事が多いが、場合に依つては磷は極めて價値の多い合金の要素である事を確認する事が出来る。純粋度による鋼の品質判定は實地經驗上良い事であつて、何等疑ふ餘地はない。純度が多少低下しても、鋼質が悪くはならない。純度の向上に努める餘り發生する異例は好ましくない。多くは生産が不規則になるものである。この不規則のため鋼の性質に不利な影響を與へる事も有り得る。純度を守る事によつて、消費者は鋼の生産が常に念入れに行はれてゐると云ふ保證を受ける事になるが、これがため純度（磷及硫黄含有量）を品質の標準であると全面的に決定してしまふ事は望ましくない。これはリストフ氏の發表の精神に一致せぬと信ずる。」

Rheinhausen の H. Bennek: 磷分高き各種の鋼の破壊試験に就きリストフ氏の發表する所に依れば、磷分の最も低き鋼は纖維狀破面が最も強く現はれ、縁が又他に類例なき纖維狀を呈し磷分高き鋼では粒狀に破碎せられる事が判つた。周知の如く纖維狀破面により特に強靱な鋼は、切欠撓げ試験の際強靱性の一層乏しいものよりも良質である事が認められる。然るに温度を高めて撓げ試験を行ひ、これによつて脆質の鋼にも無理に纖維狀破面を形成せしめるならば、破面が纖維狀になる傾向も多少存在する事になる。切欠撓げ試料の破面形成は結局唯強靱性の相似たる鋼に純度に關する明確な説明を與へるものである。又ここに引用せられた富磷鋼を用ひて諸種の條件を比較し得る適當な試験が行はれたか否か？

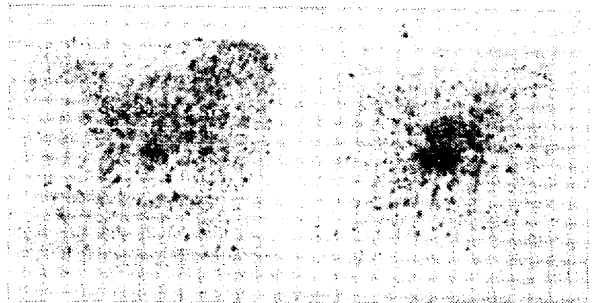
A. Ristow: 撓げ試料の破面組織の剝落に關する實際上の意味に就いてはその意見がそれぞれ大いに異る、この現象が又大に破壊條件と不可分の關係にある事は一般によく知られてゐる。この場合磷の低きチャージに於て剝落は黄色を帯びたる 4mm 以下の介入物のために生じ、磷分が高くなるや否やこの介入物は無くなつて了ふ。これは試料の他のあらゆる條件が平衡状態になつたためであつて、鋼の品質の改良を意味するものである。徳利狀鑄型を完成したのにはアメリカ人であるが、後これに倣つて英國がこれを採用するに至り近年獨逸もこれを採入れてゐるが抑々米國人がこの鑄型を使用したのは歩留りが高い事と鎮靜鋼、半鎮靜鋼に於て上部と下部の間に偏析元素が平均に分布せられるためであつた。純粋な周邊層は先づ適度に偏析元素を増大すれば出来るのであるから徳利狀鑄型に依つて偏析の下壓が加はれば、勿論狭くならざるを得ない。最も外側の純粋なる周邊層と中央部との間の成分の相違は徳利狀鑄型の場合には絶體重要であるが、不鎮靜の軟鋼を實際に使用する場合周邊層の純度が特に最低であるとすれば、その重要性は比較的乏しい。

純粋なる周邊層が希望せられるのは、徳利狀鑄型にあつては鋼塊の大きさ、鋼の種類及温度に従ひ鋼塊の蓋開け迄の時間が加減せられるためである。そして先づ形成せられるのが一般的な開口鑄型の場合と同様所要の厚みを持つ純粋な周邊層である。鋼塊頂部の閉鎖後漸く壓力を高めて偏析を適當に抑制せられつゝ鋼塊内部が凝固するのである。他の側に於ては徹蓋迄の時間が餘りに長過ぎてはならぬ。然らざれば徳利狀鑄型がその本領を發揮する餘地がなくなるからである。其他 42 圖及 43 圖に發表せられた様な偏析圖が生ずる。此處に同一チャージのトーマス鋼塊二つが徳利狀鑄型に依つて鑄造せられ、その一つは (42 圖) 全く完全に注湯せられず、結局唯不十分な壓力の下に凝結して了つた。第 43 圖では正しく注湯せられ、正しく徹蓋せられた鋼塊の同一位置の状態を示してゐる。第一の場合には不鎮靜鋼塊に酷似せる偏析の形成が純粋なる比較的廣き周邊層を伴つて現はれて來る。これが他の側では勿論鋼塊中心部に



鋼片 7 鋼片 3

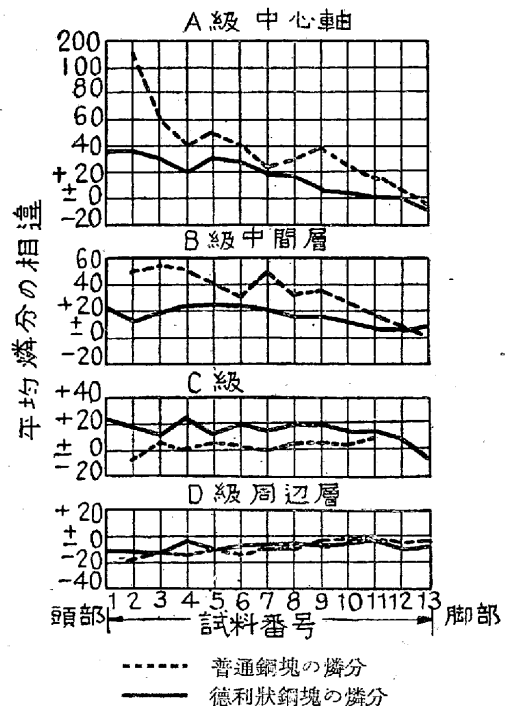
第 42 圖 軟質トーマス鋼の鋼塊が徳利狀鑄型に於て極めて少き壓力を以て凝固せる場合



鋼片 7 鋼片 3

第 43 圖 軟質トーマス鋼の鋼塊が徳利狀鑄型に於て正しく鑄込まれた場合

於て相當程度の偏析元素の増大を起す結果となる。これに反して注ぐ、湯及徹蓋の妥當なりし鋼塊では、(43 圖) 純粋な周邊層は比較的狭之がため断面の他の部分が殆ど等質となる事は素鋼塊及小鋼片の全部に涉つて多數の分析が示す通りである。徳利狀鑄型の本領は内部に於てガスの壓力が高められる事にある。尙徳利狀鑄型の中では一酸化炭素の發生が中止するため、炭素分は 0.02% だけ高くなるのが普通であるから注意せねばならない。實際問題として頂部と



第 44 圖 同一の軟質トーマスチャージから作りたる普通鋼塊と徳利狀鋼塊との比較

底部との間に於て磷の偏析が著しく減少してゐる事は第44圖に示す通りであつて、40圖及41圖が Herzog 氏に依つて描かれたと同じ筆法であり、尙且比較に便ならしめるためである。A級は Herzog 氏の圖に於けると同様にこの場合も鋼塊の中心軸に一致する。けれども尙この圖では同時に同じトーマス鋼のチャージから注湯し普通の鑄型で鑄造した45t鋼塊が列べられてある(曲線に依る)。鋼塊の底部と頭部との間の總ての部分に於て、中央の軸及中間の層内では一般の鋼塊の偏析は徳利狀鑄型の場合よりも一層高い事が判る。故に周邊層にあつてはその配合割合が全く反對になる。若しこの二種の鑄型で各個所の穿孔を見合せ、鉋を用ひて稍大きい面から分析試料を得ればこの改良は一層明瞭になるの。

Dortmund の E. U. Schulz: この討論に於て始めて純度の觀念が現れて來た。所謂純度なるものは決して實際の鋼の使用上の性質の表示とはならぬ事、又純度を磷及硫黄の割合のみ解すべきでない事等を我々が以前から他の理由で主張したが、リストフ氏の發表

は我等の立場に對して極めて注目に價する廣範な證明を與へてゐる譯である。如何なる場合にも磷及酸又は酸化第一鐵の相互作用が或程度鋼の内に存在する事が彼の調査によつて極めて明瞭になつた。磷分を抑えると酸素分がこれに應じて明かに上昇を始める、尙多量に送風を行ふトーマス鋼を使用するものは何人も鋼中に酸素分が高きときは磷が高い場合より不利である事を認めてゐる。これと相似たる事情が平爐鋼にも當嵌る事は當然である。

リストフ氏の報告は以前から鋼中の磷に對して非常に偏頗な判斷が加へられてゐた事を證明してゐる、この論文では或者の考へでは既に解決済みと見做されてゐた問題を總括的に且計畫的に研究して幾多斬新なる着眼が發表せられ、特に從來の判斷が全く顛倒する場合も非常に多い事を明示してゐる。故に近代の武器を用ひて斯の如き解決済と思惟せられた問題にも一度突當つて見る事は確に有意義である。

本誌寄稿者へのお願ひ

原稿、表、線圖、圖面、寫眞は別々に假綴して下さい

線圖は次の割合でお願いします。投稿規定にありますやうに文字は鉛筆で書いて下さい。

	割合	例	
		mm	
線圖の横幅	500~1000	50~100	100~200
文字の高さ	20	2.0	4.0
太線	3	0.3	0.6
中線	2	0.2	0.4
細線	1	0.1	0.2