

る鋼塊は單なる實體鍛鍊のものに比し、爾後の鍛鍊に於て機械的性質の向上速かなるものゝ如し。通常適當なる据込量は全長の 40% 前後とす。

c. 内壓鍛鍊 内壓鍛鍊は横方向の機械的性質を改善向上せしめ Ni-Cr 鋼材の鍛鍊に有効なるものゝ如し

B. 組織の均一化を目的とする鍛鍊 不均一なる組織の濃度を平均せしめ以て白點を防止せんが爲には、低温度にて鑄込まれたる鋼塊を赤材の儘適當に長時間加熱したる後据込鍛鍊に附す。此の場合鍛鍊係數の適切なる増加は有効なり。(以上)

鑄鐵の磨耗作用と磨耗に對する諸元素の影響

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

楠 瀨 四 郎*

ABRASIVE EFFECT OF CAST IRON AND THE EFFECT OF VARIOUS ELEMENTS ON ITS ABRASION.

Shiro Kusunose.

SYNOPSIS:— Many papers had been written by various authors on the abrasion of cast iron; but the manner and the inclusion of the tests are either incompetent, obscure, or inconclusive in many respects; as a result they are incomparable with each other or in many cases they seem inconsistent in their results. In view of these prevailing situations, the writer has particularly in mind to ascertain the relations between the abrasive manner and the abrasion of cast iron. For this purpose the S. K. type machine has been devised which enabled to obtain precise results on abrasion. With this device (apparatus) and at the most reliable manner of test the investigation has been proceeded by combining cast irons of varying element contents in view to ascertain the effect on the abrasion resistance and the element contents.

I. 緒 論

鑄鐵は可鑄性に富む事、原料が豊富である事、價格が非常に安い事等に依て其の應用範圍が非常に廣いものであるが、此の應用される中でも機械部分品の主要なる材料として隨分使用されて居る。例へば各種 蒸氣機關 重油機關 ガソリン機關 瓦斯及空氣壓縮機 空氣制動機等の氣筒並に詰輪等は殆んど全部鑄鐵を用ひて居る。

茲に研究した問題は主として上述の諸機械用の氣筒材と詰輪材との良材を撰擇せんとするに際し此等の機械の作用状態に最も効果あらしめ且つ耐久性を最も永く保たしむるには如何なる種類の鑄鐵が良いかと云ふ事である。普通には其の撰擇項目としては 抗張力 耐衝擊力 硬度 抗折力 等の性質を調べて居るが、機械の使用の中其の効率を低下せしめ又其の壽命を短縮する主なる原因を問へば上述の諸機械にありては氣筒内面及詰輪の磨耗の遲速大小に係るものである。かるが故に上述の物理的試験以外に鑄鐵の磨耗及摩擦に對して優秀なる材質を研究撰定する事は極めて重大なる研究問題である。

元來磨耗試験に對しては諸大家の種々の發表があるけれども、其の試験範圍及試験條件が不明若しくは區々である爲め甲の議論と乙の議論とを比較する事が出來ず、且又一見相反する結果ともなり、此等重要部分の材質撰定に當り皆等しく迷はされて居るのである。

結局如何なる鑄鐵が最も經濟的にして且耐磨耗性を有するかを明にする目的を以て、下記の試験機を設定し、磨耗摩擦と他の諸條件との關係を精密なる測定によつて明にし、其の最も信頼度高き條件に於て種々の配合の鑄鐵を組合はせ實驗する事に依り鑄鐵に含まれる元素が耐磨耗性に及ぼす影響を比較、研究したものである。

II. 試験に使用したる試験機

(A) S・K 式摩擦磨耗試験機

(1) 構造 第 1 圖に示す E なる鍛鋼製圓板は 4 個の止螺子に依つて其の外周に同心圓の環を取付け得る。

この環は試験の對照となる材質にて製作したものである E の軸は調車に依り、若しくは直接に電動機に連結して矢の方向に任意の速度で回轉する。AB なる積桿は A 及 B に於てナイフエッジを有し、長い棒 AD の A 點に於て

* 三菱重工業株式會社神戸造船所

支へられる。更に此の AD は D 點に於て球軸承により土臺に取付けられる。B 點には皿臺を釣しこの上に分銅 W を載せる。C 點には試験片を第3圖に示す保持器に依て取付ける。試験片の下面は上記の同心環の外周面と密着し試験片が圓筒環を壓する重量を P とすれば

$$P = (b/a) W + K,$$

となる。但 b は AB, a は AC の距離、W は B にかかる荷重の總量、K は AB なる棒自體の C 點にかかる重量及試験片並に其保持器の重量である。

又槓桿 AB 上の小分銅 w を動かして上記重量 P を僅かの範圍でかへることが出来る。此際は

$$P = (b/a) W + (b'/a) w + K,$$

であるが、茲に b' は A より w までの距離とする。今 A B の左の方に m, n なる半徑を有する細い齒を切つた小齒車と扇形齒車とがある。之は H J なる垂直の中心線上にある二つの軸を中心として m, n の比を以て嚙合ふ。又 JL なる桿は小齒車 J と共同の軸上に楔止めされ小齒車と運動を共にする。桿はデュラルミン製で其の下端に長い指針を付けてある。

依て小齒車の回轉角は針の先が示す度盛に依て明瞭に見得る様にする。J, H なる軸は試験機のフレームに取付けられた軸承に依て支へられる。又大齒車 HK の中心線上 G 點 (GH=l) に此の大齒車に固定した半徑 l なる座を設けこれと AB の左端とを水平に取付けられた軽い鎖に依て連結する。此の鎖の長さは A 端にあるネジに依て調節する様にしてあるから試験片が試験環と接觸する點は常に一定させる事が出来る。指針 JL のデュラルミン部分に沿ふて移動出来る分銅 (重量 v) を取付け且指針の先端が運動する周圍には分度器を裝備し指針が垂直に垂れた位置を以て零度とする。

猶第2圖に示す如く小齒車軸 (J) に固定された槓桿の先端にインク容器付ペンを付し時計仕掛で運動する記録用紙上へその回轉角を自記する様にしてある。

(2) 摩擦係数の測り方 第1圖の圓筒 E を矢の方向に回轉する時は試験片は同じ方向に引かれて振子は或角度 θ を保て平衡する。此の角度から下式に依て摩擦係数を算出する。

$$F = mYv \sin\theta / ln,$$

但し F は摩擦力である。依て摩擦係数を f とすれば

$$f = F/P$$

となる。 θ を直接に測定せず自記装置の記録用紙から $\sin\theta$ を求め得る事は前述構造の項に記した所により明である。

(3) 磨耗量の測定法

(イ) 50mm 徑試験環を用ひる場合 試験環として直徑 50mm 及 200mm の2種を用ひた。50mm 徑試験環を用ひた場合は一定時間の試験前後の重量差を化學天秤に依て求めこれに依て磨耗量を定めた。

又此場合試験片の磨耗量は下記 (ハ) 項に示す方法も用ひて測定することも出来る。

(ロ) 200mm 徑試験環を用ふる場合 試験片の磨耗量は2種の方法で測る。即ち、其の一は重量法で 50mm 徑試験環を用ひた場合と同様一定時間の試験前後の重量差を測る。第2は、第3圖 (b) に示す如く保持器に付したマイクロメーターにより、試験前後に於ける試験環の半徑の減少と試験片の高さの減少との和を測り、又第2圖に示すダイヤルゲージ装置に依て別に試験環の半徑の減少を求め。これに依て試験片及試験環の磨耗量を“長さ”の單位で決定する。

(ハ) 試験片の磨耗測定法 試験片の摩擦面を最初平面に磨き試験後其の面が圓筒環に沿ふて磨り減らされた部分の投影面積を以て磨耗量を表す。これは磨耗量が極めて僅かな場合に特に有效である。

(4) 磨粉の除去法 第2圖に示す如く回轉する試験環の下方にブラッシュを取付け、此のブラッシュは試験環の表面に接觸しつつ之と反對方向に回轉し、摩擦面に附着する磨粉を完全に拂ひ落す。

(5) 試験片及試験環 試験片及試験環の材質及其の鑄造法は各項に於て夫々記す事とし、寸法のみを第4圖に示す。

(6) 試験機の性能 S, K 式摩擦磨耗試験機は試験片に加ふべき荷重 120kg, 試験環の廻轉數 30~1,000 r.p.m の範圍を有し、荷重、回轉數共に任意に變化せしめ得る。

第1圖に示す槓桿 AD の長さを充分長くし、槓桿 AB と扇形齒車 K との連結には上記の如き特殊の鎖装置を用ひ、同圖の G, r, t が水平なる一直線上に在る如くし、且つ全機構を精確に工作、組立てあるから、前記摩擦係數と振子の振れ角との關係は、上述の關係式によく一致してゐる。

試験中荷重及速度を増加して行く場合と、此等を減少して行く場合とは同一條件に對しても多少變化する。之は各部機構運動部分の摩擦に基くものであるが、此等運動部分を充分調整すればその差は±1%以内に保つ事は容易である。且つ荷重及速度の上昇、下降の際の測定値を平均して補正する事が出来る。

振子の桿はデュラルミンで作り、其の一端に指針を附し完全に釣合をとつてある。振子の桿は斯くすることに依て慣性力に依る鈍重性を出來得る限り避け刻々に變化する摩擦力に應じ得る様にしてある。

猶試験機の構造上、試験開始に際し、注意すべき點をあげれば次の如くである。(第1圖参照)

- (イ) 槓桿 AD を垂直ならしむる事。此がため分度器 P 及調整螺を備へてある。
- (ロ) 第1圖 G, r, t を水平なる一直線上にある様に調整する。
- (ハ) 振子の針は分度器 S の零點に合はす事。
- (ニ) 振子の重錘 v は測定すべき摩擦力に應じて適當なる位置に定め、振子の振れ角を適當にする事。

又試験に際し、その試験條件に依て磨耗量の測定結果に對する信頼度を異にするが、之に關して後に記す事にする。

(B) 往復式磨耗試験機

(1) 構造 第5圖に於て鑄鐵製圓板 A は軸 O を中心として回轉し、その外周に近く曲肱ピンを有する。機床 D に嵌合された運動桿 C は連接桿 B に依て曲肱ピンに連結せられ A の回轉に従つて D の上を往復する。試験の對照となる材質で作られた試験桿 T は運動桿 C 上に螺締され C と共に運動する。試験片 P はブラケット E に依り上下の方向にのみ動き得る如く裝備せられ、その上面には重錘 W に依つて荷重された重量 P を受け、下面は試験桿に接し試験桿の運動に依て摩擦を起す。圖に依て明なる如く、

$$P = (cd / cl) W + K,$$

但 P は試験片に加はる重量 kg. W は重錘の重量 kg. K は荷重装置の試験片に加はる重量である。

(2) 性能 曲肱半徑 oa は 150mm, 100mm, 50mm の3種とし、軸の回轉數は現在毎分150回轉を標準として居るが調車を交換すれば任意に變へる事が出来る。荷重は試験片に對して 50kg まで掛け得られる。

本試験機に依て乾燥磨耗試験を行ふ際は運動部分の滑油

が飛散して磨擦面に附着し易い爲めに試験結果の信頼性を減する事になる。故に本試験に於ては特に試験桿及試験片を函内に納め、連接桿がこの函を貫通する部分には特殊の防油布を取付け、滑油が摩擦面に掛らぬ様にしてある。

又ブラケット E が試験片の上下のみの運動を許し左右方向の運動を許さぬ様に試験片とブラケットとの接觸面を大にし、且つブラケット材として特殊鑄鋼を用ひた。

試験に際しては荷重桿を水平に位置せしめる事が必要であるが、猶試験桿の磨耗が相當な値に達すると重錘が跳ね出す(理由は後述する處により明となる)ため測定値は稍不正確となる。

第6圖は往復式磨耗試験機の寫眞である。

(3) 磨耗量の測り方

- (イ) 試験片 一定時間試験しその前後の重量差に依て測定する。
- (ロ) 試験桿 試験前摩擦面を平面に仕上げ置き一定時間後その磨耗せる高さをダイヤルゲージに依て測る。

この目的を以て第7圖に示す如き装置を用ひる。

(4) 試験片及試験環の寸法 第8圖に示す如くである材質及鑄造方法等は各試験項目毎に記することにする。

III. 摩擦磨耗と荷重其他諸條件との關係

(A) 荷重と摩擦磨耗との關係

(1) 試験法 200mm 徑試験環と 11.2mm 徑試験片とを組合はせ第1表に示す材質に就て試験した。但し試験環と試験片は同種材質を組合はせた。試験材の鑄造方案は第9圖に示す如くである。

試験速度は 3.1m/sec で試験時間は5時間とし、試験片の磨耗を測定した。

(2) 試験結果 摩擦のために消費せられた仕事量を摩擦力と速度と試験時間とから算出し、之で磨耗量を除し、即ち單位仕事量當りの磨耗量を求めると第10圖に示す結果を得た。之に依て見れば全炭素 3.42% を含む HP 42 が全體として最も磨耗多く、全炭素 2.97 で低珪素の HP 32 が最も少いのであるが磨耗と荷重との關係を表す曲線は材質によつて種々なる傾向を示してゐる。本試験の範圍内で最も確實性に富む曲線を求めると圖中太線を以て示すものが得られる。即ち磨耗量は最も多くの場合荷重の増加に従つて直線的に増加する。併し個々の曲線に就て見れば、

荷重に殆んど比例するもの、極大點をもつもの、若は或る荷重以上に於て急激に磨耗を増加するもの等ある。

従て鑄鐵の磨耗性を云々する爲めには荷重を指定しなければ、實際上無意味であるけれども、前述の如く最も多くの場合荷重に比例する結果を取入れ、且試験荷重を適當に定める事によつて或る荷重範圍の耐磨耗性の比較を誤りなからしめる事は出来る。本試験の結果から考へて荷重 10 kg/cm^2 以下を採る場合最も普遍性ある試験結果を得るものと信ずる。

(B) 速度と摩擦、磨耗との關係

(i) 試験第 1:—

(イ) 試験法 S·K 式摩擦磨耗試験機に 200 mm 試験環を裝備し 11.2 mm 径試験片と組合はせ荷重 2.65 kg/cm^2 乃至 7.15 kg/cm^2 の範圍で荷重を一定にし、速度を種々變へて試験した。此の際試験時間は 3 時間としたが後に記す異常磨耗を起すものは $10\sim 30$ 分に止めた。是は餘り磨耗が多い故である。又磨耗量は試験片のみを測定した。

(ロ) 試験結果、荷重の如何に係らず速度 $0.5\text{ m/sec}\sim 1\text{ m/sec}$ 附近で磨耗量は非常に大となることを認めた。その磨耗量は他の速度に比較して問題にならぬ程大きい。

併し、後述する如く試験時間が稍短きに過ぎる事と試験速度の刻みが大き過ぎる故單に比較的低速度に於て磨耗が異常に増大する事を記すに止める。

(ii) 試験第 2:—

(イ) 試験法、往復式磨耗試験機を用ひ 12.25 mm 角の試験片を用ひて試験した。試験片の性質及鑄造方案は第 11 圖と第 2 表に示す通りである。

荷重は 3.6 kg/cm^2 曲軸回轉數は毎分 150、試験時間は約 4 時間である。此の試験時間は後に記す(試験第 3) 50 mm 試験環を用ひた場合の走行距離と一致させる爲めに決定したものである。

(ロ) 試験結果 試験は既に 30 種の材料に就て種々の組合はせて試験したが何れも殆んど同様の結果を得たので茲には第 12 圖のものを例示する事にする。圖に示す如く試験棒の両端に近く比較的低速度の部分の磨耗は頗る大であつて、此の最大磨耗部分の摩擦速度は約 0.85 m/sec に相當する。即ち、試験第 1 の結果と合致するのである。

(iii) 試験第 3:—

(イ) 試験法 S·K 式摩擦磨耗試験機に 50 mm 試験環を裝備し 11.2 mm 径試験片と組合はせた。試料の性質

及鑄造方案は第 12 圖及第 2 表の通りである。

荷重は $5.95\text{ kg/cm}^2\sim 9.70\text{ kg/cm}^2$ の範圍で 4 種とし、試験時間は試験片速度に逆比例せしめ結局の走行距離が一定になる様にした。而して走行距離は摩擦速度 2 m/sec で 5 時間の試験を標準とした故に約 $36,000\text{ m}$ であつた。

本試験に當つては試験環及試験片の磨耗量を重量差に依て測定した。

(ロ) 試験結果 本試験も約 20 種の材料に就き種々の組合はせを行つたのであるが、何れも同様な結果に到達してゐる。第 13 圖はその一例である。即ち荷重 9.7 kg/cm^2 に於ては速度 0.85 m/sec 附近に於て極度の磨耗があり、その磨耗は試験片、試験環共に認められ、その量は 2 m/sec 以上の場合の 10 倍に達してゐる。荷重 5.95 kg/cm^2 に對してもその量は 5 倍程度であるが、速度と磨耗との關係は全く同様である。

(iv) 試験結果の總括:— 摩擦速度が比較的低い場合、鑄鐵の磨耗が非常に促進される事は上記 3 種の試験に共通に認められる現象である。而して既に數 10 種の鑄鐵に就て試験してゐるのであるから、本試験に採用した荷重に於ては鑄鐵の材種、試験法の如何を問はず此の關係が認められると云ふべきである。

更に蒸氣機關車氣筒入籠數種に就て調査した處、上記試験第 2 に記した試験棒の磨耗状態と一致することを確め得た。唯此の場合は現車試験であるから速度の影響のみでなく溫度、潤滑油等の影響もあるが、重要な因子として、速度の影響を見逃す事は出来ない。

而して此の現象は試験機に依る鑄鐵の耐磨耗性の比較に際して重大な制限を與へるものである。即ちこの異常磨耗速度附近に於て試験すればその得られたる結果は速度の影響を敏感に受け、速度の僅少な差異に依て磨耗量は非常に増減し、従て試験結果に對する信頼性は極度に尠いものとなる。依て上記の理由により、材料の比較試験に於ては少くとも 2 m/sec 以上の速度を採用するを至當と考へてゐる。

(v) 低速度に於ける異狀磨耗に對する考察:— 固體が磨耗する原因は物質の表面の微細なる凹凸の嚙合を押し進める時に其の凹凸間に剪斷或は壓縮破壞作用が生じて磨耗を生ずるを以て、磨耗は其の凹凸の状態の形狀に多大の關係を有する事は勿論である。又速度は此れが増大すると共に其の凸起部に多大の衝撃を與ふるものなるも、然れども、

此の衝撃は返つて反撥作用を起して、或る距離空間を走る事になり其の間物質間の摩擦を起さざる部分を生ずるを以て、速度は一定の限度までは表面摩擦の Energy の消耗に働くものなるも、ある限度以上に達する時は返つて作用せぬ事となる。又一方速度緩き時は凹凸の噛合ひに於て緩なる程其の噛合ひが深くなるを以て、此の點磨耗に對して有利なる状態となり、此の兩方面よりして比較的低速度部分に異狀磨耗の點を有する事となる。

(C) 摩擦面の状態と摩擦、磨耗との關係

(i) 摩擦面の仕上程度

(イ) 試験法 S・K 式摩擦磨耗試験機に 200 mm 径試験環を裝備し、之と 11.2 mm 径試験片とを組合はせた。先づその摩擦面を仕上バイトで仕上たものに就き試験し、次に同じ環及片をグラインダーにて削正して試験し、最後に同じものをグラインダーにて削正した上エメリーペーパー(シャトー 000 番まで使用)で仕上たものを用ひて試験した。材料は HP 4 及 HP 7 でその性質、鑄造法は第 1 表及第 9 圖に示す通りである。試験條件は荷重 5.0 kg/cm² 速度 2.14 m/sec 試験繼續時間 3 時間である。

(ロ) 試験結果

(a) 摩擦係數及其の變化 第 14 圖は摩擦力の變化を自動的に畫かせたものである。即ち摩擦力は最初尠く時間の経過と共に次第に増加し遂には殆んど一定となる。圖及第 3 表に示す如く摩擦力に従て摩擦係數が一定となる時間は仕上程度の良好なもの程長く、且つその達せられた一定摩擦力は仕上程度の良好なものの方が稍大となつて居る。これは最初仕上られた面から初り、次第に摩擦面が磨耗によつて變化し遂に一定の摩擦面に到達する爲であるが、その到達せる摩擦面は最初の仕上程度に依つて異なることを示すものである。

(b) 磨耗量 試験片の磨耗量は第 3 表に示す如く仕上程度の良好なもの程尠く現れる。之は摩擦面が時間の経過と共に増加する過程に於ける磨耗量の差と到達せられたる摩擦面に於ける磨耗量の差との綜合されたものである。

(ハ) 試験結果に對する考察 摩擦面の最初の仕上はその後の摩擦係數及磨耗量に大いに關係ある事が立證されたのである。實際の重油機關氣筒入籠の磨耗が、その最初の仕上程度によつて非常な影響をうける事は既に經驗の示す處であつて、平滑に仕上たものは磨耗に起因する耐久力を増加し、この爲めにはグラインダー仕上のみでは不充分

であるとされ、實際上はその仕上程度に應じて適當なる時間丈け輕負荷運轉を行ひ一種のラッピングを施す状態であり、この期間中の取扱法の巧拙は耐久力に重要な關係を有するのである。此の點から考察すれば本試験の結果はよく實際と一致する。

斯くの如く表面の最初の仕上程度如何は材料の磨耗に對し影響を與へる故に、耐磨耗性に關する材質の比較は常に一定の仕上面から出發されなければならぬ。而して仕上面の檢定に際しては直接或は間接(スンプ法による)に仕上面を檢鏡すれば宜しいが、猶簡單にして比較的正確な方法として標準仕上面に對する靜的摩擦係數を測定して目的を達する事が出来る。筆者は此等の方法によつて試験した結果、最初の仕上法としてはグラインダー仕上した上研磨紙(シャトー 0000 番まで使用)にて仕上げたものが最も適當である事を認め、本報告に記す總ての試験に際し、上記仕上を施す事にした。

(ii) 磨粉の處置

磨粉(abrasion product)が摩擦面に存在する場合と此を拭ひ落した場合とでは、材料の磨耗が異なるであらうことは容易に想像出来る。試験結果によれば磨粉が存在する場合概して磨耗は多く現れるが磨粉が存在する場合の測定値が區々としてゐるため確實な結論を得るに至つてゐない。磨耗量の多寡は別としても一定條件の下にあつては常に均一な結果が得られると云ふ理由から磨粉はブラッシュで拂ひ落すことにした。

(D) 試験時間と磨耗との關係 試験を繼續すべき時間の決定に當ては、前項に述べた表面状態の影響、その他の最初の條件を顧慮しなければならぬ。而して最初の仕上面から一定の摩擦面に到達する時間は荷重、速度、材質等の差異に依て影響せられ非常に複雑なものとなる。従てこの期間内に起る磨耗も又頗る複雑なる因子に左右されるものである。因てこれが試験結果に及ぼす影響を除去する爲めには相當長時間の試験を繼續しなければならぬ。

又一方速度に依る異常磨耗の現象(既述)の如きはその現象が可成りデリケートなもので、最初から起ることなく、或る時間後に始めて認められる事も經驗されてゐる。

此等の理由に依て 2 m/sec 以上の速度で荷重 2~10 kg/cm² の場合試験時間は 5 時間以上とすべきである。

(E) 磨耗試験に於ける試験條件 以上 4 項に亘つて述べた事を總括して磨耗試験に對する試験條件を記せば次記の

如くである。

- (i) 荷重 10 kg/cm^2 以下とする事。
- (ii) 摩擦速度 2 m/sec 以上とする事。
- (iii) 摩擦面の最初の仕上はグラインダー仕上したものを更に研磨紙で仕上げする。研磨紙はシャトー 0000 番で最後の仕上を行ふ事。
- (iv) 磨粉は充分に拂ひ落す事。
- (v) 試験は 5 時間以上繼續して行ふ事。

IV. 鑄鐵の機械的性質と磨耗との關係

(A) 抗張力と磨耗との關係

(1) 試験法 S・K 式試験機に 200 mm 径試験環を裝備し、之と 11.2 mm 径試験片とを組合はせた。試験片は第 9 圖 (a) に示す如き K 型鑄物から仕上げたものであり試験環は HP 系試験環と同じ方法 (第 9 圖) に依てその素材を作ったものでその性質は第 4 表に示す通りである。この試験に用いた材料の全炭素量は $2.9\sim 3.1\%$ の範囲内にある。試験条件は荷重 5.66 kg/cm^2 速度 3.2 m/sec 、試験時間 6 h で試験片の磨耗のみを測定した。

(2) 試験結果 第 15 圖は環の抗張力 27.5 kg/mm^2 の場合である。試験片の抗張力が 23 kg/cm^2 附近まではその増加と共に磨耗量は激減する。 25 kg/cm^2 と 30 kg/cm^2 との間に磨耗量の極少點があり 30 kg/cm^2 以上では此の種の普通パーライト鑄鐵にありては稍磨耗量が増加する傾向を有する。試験片と試験環の抗張力の比を採れば磨耗量は抗張力比 0.8 まで激減し $0.9\sim 1.1$ の範囲で極少となり 1.1 以上で再び増加の傾向を持つことになる。

第 16 圖は試験環の抗張力 23.1 kg/mm^2 の場合である。圖に明な如く、磨耗量は試験片の抗張力が 23 kg/cm^2 以下で大となり 25 kg/cm^2 以上では殆んど一定する。抗張力が大なる場合に磨耗量が増加する傾向は殆んど認められない抗張力に就て見れば抗張力比 1.0 以下で磨耗多し 1.08 以上で殆んど一定することになる。

(3) 試験結果に対する考察 以上の結果として抗張力は 23 kg/mm^2 以上であれば良好であるが 20 kg/cm^2 以上であれば特に甚しい缺陷を見出し得ない。然るに磨耗は材料の組合はせによつて異なるものであつて、耐磨耗性に富む材料と雖も組合せが不適當なる時は決して優秀な結果を與へない。従つて組合はせはさるべき材料の抗張力比との關係を求めざるを得ないのである。此の試験の結果に於ては抗

張力比 1.0 附近が最も良いと云ふ結果になつてゐる。

抗張力比に關して蒸氣機關車の氣筒入籠及詰輪に就て實地試験を行つた結果第 17 圖及第 18 圖に示す如く氣筒入籠は組合はされた詰輪の抗張力が稍低い時に於て最も磨耗少し、詰輪の磨耗は之と組合はされた入籠の抗張力が殆んど等しい場合 (抗張力比 1.0) に最も良好である。

即ち抗張力は 20 kg/cm^2 以上の鑄鐵 ($3.0\% C$ 附近) であれば大なる缺陷はなく、しかも組合はさるべき材料の抗張力比は殆んど等しい場合がよく、氣筒入籠及詰輪にあつては詰輪の方に稍少なるものを採用すべきである。

(B) 硬度と磨耗との關係 硬度と磨耗との關係は判然とした結果を得難い。これは硬度が材料の局部的な部分の性質を現し易い爲めとも考へられる。本報に示す諸種の試験材に就て硬度と磨耗量との關係を求めて見ると一定の傾向を認め難い。又特種の添加元素を加へた場合には特に一般的な傾向を得られない。

然しながら特殊の添加元素による影響と鑄造條件の影響とを除外すれば材料の抗張力と硬度との間には殆んど直線的な關係があると考へて宜しい。故に適當な條件を附すれば磨耗に關しては硬度は抗張力と同様の關係にあると考へる事が出来る。

硬度と磨耗との關係に對する古來の説を調べて見ると、硬度が増加すれば磨耗は減する (例へば Kuhnel) が B# 260 以上では一定する (Coye) と云ふものもあり、或は硬度と磨耗とは關係を有しない (Lehman) と云はれてゐる。又機關車用氣筒入籠の抗張力は詰輪のそれよりも稍硬くした方が良い (獨逸國有鐵道現車試験) と云ふ結果も報告せられてゐる。硬度差殆んどなき場合磨耗量が少い、(Klingenstein) と云ふ結果も呈出されてゐる。この後の二つの結果は上記の考察に従へば本試験の結果とも一致するものである。

V. 鑄鐵の成分と磨耗との關係

(A) 試験法 S・K 式試験機に 50 mm 試験環を裝備し 11.2 mm 径試験片と組合はせた。試験材の鑄造方法は第 11 圖に、その機械的性質と分析結果とは各試験毎に記すことにする。

試験条件は荷重 9.7 kg/cm^2 速度 2.13 m/sec で試験繼續時間は 5 h とした。

猶上記試験法以外の方法を用いた場合はその項に於て記

すことにする。

(B) 炭 素

(1) 試験第 1

(イ) 試料 第 5 表に示す如く Si 2% 前後で 3 種の炭素量を有するものを作った。

(ロ) 試験結果 第 19 圖は他の化學的成分を一定とし、全炭素量を種々に變じた場合の結果を示すものである圖に示す如く Si 2% 前後の材料に於ては全炭素量 2.7~3.0% の場合は磨耗量には著しい差を認め得ないが炭素量 3.5% に及べば甚しい磨耗を起すに至る。而して試験環に KP 52 即ち 3.5% C の材料を用ひた場合試験片材として 2.76% C のものを用ひても又 3.11% C のものを用ひても試験片の磨耗が頗る大となつてゐる點に注意を要する。即ち材料の組合はせ如何に依ては比較的優秀な耐磨耗性を有する材料と雖も甚だしくその磨耗が促進されるものである。KP 52 即ち 3.5% C を有する材料の顯微鏡組織は第 21 圖に示す如く、グラファイトも長大でその量多く且つフェライトが現れてゐる。又抗張力も 17.6 kg/cm^2 でこの點から見ても磨耗多き事は豫想せられる。

(2) 試験第 2

(イ) 試験法 第 21 圖及第 22 圖は 200mm 試験環を用ひ試験片の磨耗を測定したものである。本試験に於ては第 6 表に示す材料を用ひたがこれは抗張力 $24 \sim 26 \text{ kg/mm}^2$ の範囲内にあるもので全炭素量が種々に變てゐるものである。その鑄造法と試験法は第 9 圖に示すものと全く同一である。

(ロ) 試験結果 圖に於て全炭素量 3.0% までは何れも殆んど大差なく 3.5% に及んで磨耗量を増加してゐる。兩圖共に 2.7~2.8% 附近に極少點を有する様に畫いてあるがこれはむしろ 3.0% 附近までは變化なしとするを至當と考へる。

(3) 試験結果の總括

試験第 1, 第 2 共に全く一致した結果を與へる、即ち全炭素量は Si 2% 程度の場合に於ても又 $24 \sim 26 \text{ kg/mm}^2$ の抗張力を有するものに於ても 2.5~3.0% までは磨耗に大差なく、その後全炭素量が増加するに従つて磨耗を増し 3.5% に達すれば耐磨耗性は全く不良となる。

(C) 珪 素

(イ) 試料 第 7 表に示す材料を用ひた。

(ロ) 試験結果 全炭素 3.0~3.3% の範囲であれば

Si 1.3~1.9% では磨耗量に大差なく 3.5% に至て著しく磨耗を増す事第 23 圖に示す如くである。この傾向は前項炭素の場合と殆んど同様である。

Si 3.5% を有する試料 KP 47 の顯微鏡組織は第 24 圖に示す如く、フェライトが可成り現れてゐることも炭素多き場合と一致する。又第 23 圖に示す如く Si 量が斯くの如く多くなるとその材料の機械的性質も低下し、例へば抗張力の如きは 13 kg/mm^2 以下となり、此の方面からも使用上の制限を受ける事は明である。

(D) マンガン

(1) 試料 第 8 表に示す如く全炭素 2.8~3.0%、 Si 約 2% を有する鑄鐵の Mn 量を 1~3% の範囲で變へたものである。試料の鑄造方法は第 11 圖の方法に従た。

(2) 試験結果 第 25 圖に示す如く Mn 量を増加すれば耐磨耗性は改善される。最も極端な場合として KP 7 (1.03% Mn) と KM 4 (3.01% Mn) の同種材を組合はせた場合試験片及試験環の磨耗量は KP 7 が 12 mgr/km 及 10 mgr/km であるに對し KM 4 は 5 mgr/km 及 7 mgr/km で約半量である。併し Mn 量 2% 以上では Mn 量の増加に對する効果は餘り顯著ではない。

(E) 磷

(1) 試料 第 11 圖に示す方法に依り第 9 表に示す如く、全炭素 3.1% のもの及全炭素 3.6% を含む 2 種の鑄鐵に對し、その P 含有量を種々に變化したものである。第 26 圖は全炭素 3.1% を含む試料の P 分布を示すもので腐蝕液としては硝酸を用ひたものである。

(2) 試験結果 第 27 圖は試験結果を示す。

(イ) 同圖 (a) は、全炭素 3.1% 系の試料に對する結果である。試験環の P 含有量が一定なる場合の試験片の磨耗はその P 含有量増加と共に減少する。併し、此の場合試験環の磨耗量は増加の傾向にある、又試験環と試験片との組合せに同種材料を用ひた場合には試料の P 含有量の増加と共に磨耗は減する。

(ロ) 同圖 (b) は、全炭素 3.6% を含む試料に對する結果を示す。既に記した通り、此種の鑄鐵に於ては P 含有量が 0.2% 程度にあつては磨耗は頗る大である。然るに P の含有量を 0.5% 以上にすれば、磨耗量は減少して普通パーライト鑄鐵の磨耗と殆んど同程度若しくは以下ともなる。

即ち P はかゝる高炭素鑄鐵の耐磨耗性の改善に對して

は顯著な効果を與へることが認められる。

(F) ニッケル

(1) 試料 第 11 圖に示す方法に依つて製作したものでその組成及機械的性質は第 10 表の通りである。表に示す如く 3% *T.C* 1.6% *Si* 1% *Mn* で *Ni* は 0~3% までかへた。

(2) 試験結果 第 28 圖は試験結果を示す。KP7 (0% *Ni*) の組合せに比較すれば KN3 (2.92% *Ni*) の組合せは約 1/2 の磨耗をなすに過ぎない。又圖の傾向は *Ni* を増すに従て磨耗を減するが *Ni* が 1~2.92% の範囲では 15% 程度の改善が認められるに過ぎない。即ち *Ni* は 1% の添加に依て顯著な効果を現し爾後 3% 程度まで漸次耐磨耗性を増す。

(G) クロム

(1) 試料 全炭素約 2.9%, *Si* 約 1.9%, *Mn* 約 1.6%, *Ni* 約 1.5% を含む鑄鐵に *Cr* を 0~0.95% 加へた。試料の性質は第 11 表に、又その鑄造方法は第 11 圖に示す如くである。

(2) 試験結果 第 29 圖に示す如く、試験環の *Cr* 含有量が一定ならば試験片の磨耗はその *Cr* 含有量の増加と共に減少する。然し試験環の磨耗量は増加の傾向をもつ。同じ材料の組合せに就ては *Cr* の増加は磨耗量を減じ *Cr* を含まざるものと 0.95% の *Cr* を含むものとは磨耗量は約 35% の差を示してゐる。

VI. 詰輪材及び氣筒材の選定に就て

(A) 撰定に際し考慮すべき事項 緒論に述べた如く、氣筒(氣筒入籠)及詰輪材の撰定に當つては材料の摩擦及磨耗に關する性質は最も重要條件として先づ考慮の對象となるものである。然し此等は總て機械を構成する部分品である以上その材料の機械的諸性質を等閑に附す事は戒めなければならぬ。又鑄造作業の難易は製品の諸性質に非常な影響を與へ且製作費を左右するものであり。鑄造原料の貧富も又當然研究を要する事項の一つである。以下例を高磷鑄鐵にとり上述の見地より論ずる事にする。

(B) 氣筒(氣筒入籠)材として高磷鑄鐵使用に對する考察

(1) 耐磨耗性 前述の如く *P* 含有量が 0.3% 以下に於ては概して磨耗は大である故耐磨耗性のみ見地よりすれば高磷鑄鐵を可とする。然しながら詰輪材の *P* 含有量を大にすれば之に組合はさるべき氣筒(氣筒入籠)を損傷す

ることは試験結果に明である。依て兩者の組合せには充分注意を要する。

(2) 機械的性質 第 30 圖は Wüst u. Stoz, 及著者の試験結果より例を求めたもので鑄鐵の磷含有量と機械的性質との關係を示すものである。

(イ) 抗張力 P 0.3% 附近に極大點を有し 1.0% P に於ては極大値に比し 7~35% の減少がある。

(ロ) 抗折力 概して抗張力と同様の傾向にあり 1.0% P を含むものは極大値に比し 10~30% の減少を認める又低炭素の鑄鐵程此の減少は顯著であるとの結果も報告されてゐる。

(ハ) 撓量 鑄鐵の撓量に對しては決定的な影響を與へると云はれるが圖によれば 0.3~0.4% P までは大差なくそれ以上に含磷量を増加すれば減少し 1% P に至て 30~40% の減少となる。

(ニ) 耐衝擊値 P の増加と共に減少し 1% 以上に及べば殆んど一定する。而して 1% 以上では耐衝擊値は非常に小さなものである。

(ホ) 硬度 P の増加と共に増加し 1% P に於ては B#10~20 の増加がある。

以上により P 含有量の増加は硬度を除く他の機械的諸性質を低下する。従て高磷鑄鐵の使用は強度の見地よりすれば不利である。

蒸氣機關車の現車試験に際し著者は 0.4% P を含む詰輪の折損を経験した。これは高磷鑄鐵が脆弱である事が最も大なる原因となつてゐる。又詰輪溝と詰輪との間隙は使用中漸次擴大されるが、この様な場合詰輪の取換は磨耗に起因するよりはむしろ折損に起因する事が重油機關に於て屢々經驗される。即ち耐磨耗性よりは其の強度が問題となる場合が往々起るのであつて、これに對して高磷鑄鐵の使用は却て不利である。又詰輪と氣筒材との組合せに於て詰輪の硬度が増せば氣筒の詰輪溝は一層擴大される事も豫想せられ詰輪材のみ高磷鑄鐵を用ひる事は一層不利益を招く。

(3) 鑄造作業

(イ) 高磷鑄鐵の多孔性 英國技術協會分科委員會の報告によれば P を増加すれば鑄物は porous になり易く 0.4% P 以下に於ては C 量及 Si 量を比較的廣範圍に變化しても製品は Sound であるけれども 0.6% まで P 含有量を引上げるためには C 量を制限しなければ製品に缺

陥を生じ易いとされてゐる。即ち高磷鑄鐵は炭素量其他に適當な制限を加へなければ鑄造上の困難を伴ふ故鑄造作業はそれだけ困難になる。

(ロ) 原料銑鐵 本邦製銑鐵は外國製のものに比し P の含有量が少く従つて特別に P を添加しない以上 0.3% 以上の P 含有量を有する製品は得難い。従つて原料費も幾分増大し、且作業工程が増加する。

(5) 結論 以上述べた處に依て、詰輪材及氣筒（氣筒入籠）材として P の含有量に関する下記の結論に達する。

(イ) 氣筒（氣筒入籠）及詰輪材に対しては P 含有量 0.3% 以上にして、詰輪は 0.6% 以下を可とし、氣筒（氣筒入籠）はその設計及構造により機械的性質と鑄造作業とを考へて最大含有量を決定するを可とする。

此際 $T.C.+Si$ は 5% 以下に制限するを可とする。

(ロ) 詰輪材に対してはこれを一種の消耗品と見做し、 P 含有量を減じ（例へば P 0.22% 以下として）製造を容易にする事も一策である。

VII. 結 論

(1) 摩擦 磨耗の作用には表面の状態 速度 荷重の型式及量 磨粉の有無 試験時間 等の諸條件に對して嚴密にその範圍を決定せざれば比較すべき試験結果として信頼するに足らぬ。

(2) 鑄鐵の磨耗には C 量約 3.5% 以上 ($Si+C \geq 5.5\%$) のものは C 量 3% ($Si+C \leq 5\%$) のものに比して桁違ひの磨耗を生ず。

(3) 普通パーライト鑄鐵は抗張力の増加と共に耐磨耗性は増加するがその組合せが大切である。略同程度の強度のもの同志の組合せは良き結果を示す。強度高き小片が強度低き廣き表面を摩擦する場合は面の強度に比し小片の強度高き程磨耗多し。

(4) 3.5% C 程度の高炭素鑄鐵に磷を添加する時は非常に耐磨耗性を増す。

低炭素鑄鐵にありては磷の増加量に對する耐磨耗性の増

加は著しくない。

(5) Ni , Cr は耐磨耗性を増す。

(6) 氣筒（氣筒入籠）及詰輪用材質に關し其撰擇の方針は下記の如くである。

(a) 普通パーライト鑄鐵

(i) 普通パーライト鑄鐵は特に高負荷を受け且高温にさらさるるものを除き氣筒（氣筒入籠）及詰輪材として充分使用に耐へる。その組成は鑄物の肉厚の大小、鑄造方法如何によつて異なるけれども $T.C.$ 2.7~3.3, Si 1.7~2.2, ($T.C.+Si \leq 5$), Mn 0.8~1.2 程度のもを標準とすれば抗張力 23 kg/mm^2 以上のものは良好である。又顯微鏡組織にフェライト或は共晶、擬共晶黒鉛を顯すものは耐磨耗性不良である。

(ii) 普通パーライト鑄鐵はその Mn 又は P 含有量を増加せしめる事に依てその耐磨耗性を改善する事が出来る然れども機關用入籠及詰輪として重要な他の物理的性質を失ふを以て一定の條件の限度が必要であるが特に詰輪材には 0.6% 以下の磷含有量に止むべきである。

(b) 合金鑄鐵 Ni , 及 Ni , Cr 等の特殊元素を添加したる合金鑄鐵は高負荷を受け或は高温にさらさるる氣筒（氣筒入籠）及詰輪材として高度の耐磨耗性を有するのみならず、機械的諸性質 機械加工性 等も優秀である故賞用す可きである。

Ni を單獨に加へる場合は 1.5~3.0% の範圍に於ては 1.5% の添加に依て著しい効果があり爾後漸次効果を増す。

Ni と Cr とを併用する際は Ni 1.5% に對し Cr は 1% 加へた時約 35% の改善が認められた。但斯く Cr を添加せる材料は組合さる可き相手方材料の磨耗を促進する傾向がある故組合せに注意を要する。

近年 Mo , V , Ti , Cu 等の適量を加へた合金鑄鐵が更に優秀なる耐磨耗性材料として使用せらるる傾向にあり、これに對する試験結果も種々發表されてゐるがこれ等に關しては目下研究中であるからその結果は他日機會を得て報告したいと思ふ。

第 1 表 H.P.-系 試料 の 性質 表

試験片 符 號	組 成 分 %						機 械 的 性 質			
	T. C.	G. C.	Si.	Mn.	S.	P.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg.	撓 量 mm.	硬 度 ブリネル
H. P. 4	2.62	1.87	1.78	2.00	0.032	0.383	26.13	1,745	2.65	200
H. P. 7	2.33	1.67	1.72	1.83	0.050	1.024	23.85	1,415	1.95	218
H. P. 10	2.71	2.17	1.74	1.40	0.034	0.206	24.33	1,820	2.10	173
H. P. 14	2.36	2.05	1.75	1.33	0.017	0.879	23.00	1,500	2.10	200
H. P. 15	2.60	2.10	2.60	1.64	0.028	0.219	25.17	1,720	2.15	180
H. P. 19	2.62	2.24	2.66	1.45	0.034	0.938	25.40	1,245	2.50	200
H. P. 20	3.16	2.50	1.42	2.47	0.032	0.226	27.10	1,155	2.20	189
H. P. 24	2.97	2.17	1.37	2.54	0.036	0.999	24.10	1,730	1.75	203
H. P. 25	3.10	2.57	1.49	1.58	0.048	0.399	25.40	1,805	2.75	184
H. P. 29	3.08	2.17	1.36	1.56	0.046	0.992	25.20	935	1.85	198
H. P. 32	2.97	2.23	0.82	0.57	0.046	0.136	26.50	—	—	168
H. P. 36	2.93	2.36	1.06	0.57	0.058	0.200	28.20	2,085	1.95	203
H. P. 37	3.03	2.45	2.26	0.81	0.055	0.200	22.97	2,140	2.65	176
H. P. 41	3.03	2.47	2.16	0.88	0.041	0.949	21.60	1,605	1.80	203
H. P. 42	3.42	2.91	1.12	0.90	0.045	0.226	20.23	1,980	2.90	163
H. P. 46	3.17	2.57	1.52	0.92	0.014	0.946	22.60	1,720	2.00	180

第 2 表 K. P. 系 試料 の 性質 表

試験片 符 號	組 成 分 %						機 械 的 性 質				備 考
	T. C.	G. C.	Si.	Mn.	S.	P.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg.	撓 量 mm.	硬 度 ブリネル	
K. P. 10	2.99	2.32	1.18	0.87	0.030	1.062	22.1	1,540	2.0	242	
K. P. 31	2.73	2.13	1.96	0.97	0.017	0.060	34.4	2,310	3.7	258	

第 4 表 A 系 試料 の 性質 表 (磨耗と抗張力との關係)

材 質	符 號	組 成 分 %			機 械 的 性 質		材 質	符 號	組 成 分 %			機 械 的 性 質	
		T. C.	Si.	Mn.	抗張力 kg/mm ²	硬 度 ブリネル			T. C.	Si.	Mn.	抗張力 kg/mm ²	硬 度 ブリネル
環材	DFC-11 C S	3.02	1.61	1.13	27.5	165	片	A-25	2.68	1.49	0.96	24.5	178
		2.83	1.53	1.02	23.1	178		A-26	3.00	1.86	1.05	20.98	200
片	A-7	2.99	1.71	1.04	33.0	218	A-27	3.06	1.90	1.28	19.4	165	
	A-9	3.06	1.53	1.09	18.31	159	A-32	3.08	1.87	1.08	20.7	165	
	A-10	3.08	2.14	1.24	22.0	171	A-34	3.01	2.14	1.20	22.9	178	
	A-11	2.97	1.73	1.13	18.38	171	A-35	3.06	1.57	1.02	12.3	178	
	A-12	3.01	2.13	1.20	23.9	173	A-36	3.03	2.46	1.20	20.88	200	
	A-13	3.18	1.80	1.17	24.4	178	A-37	3.09	1.80	1.20	21.00	178	
	A-14	3.07	1.74	0.89	23.15	193	A-38	3.00	1.94	1.22	27.25	200	
	A-15	3.08	1.88	0.99	25.1	198	A-39	2.90	1.67	1.14	30.74	200	
	A-17	2.92	2.24	1.41	28.9	218	A-40	2.99	1.88	0.93	26.1	171	
	A-18	2.82	1.53	1.17	25.58	209	A-41	3.07	1.56	0.99	29.56	200	
材	A-20	3.00	1.05	0.68	24.2	148	材	A-42	2.91	1.66	1.15	26.18	185
	A-21	2.99	2.06	1.00	25.07	178		A-43	2.94	1.46	0.48	29.6	185
	A-22	3.02	2.00	1.32	17.1	178		A-44	3.06	1.68	1.61	30.05	209
	A-23	2.97	1.70	1.13	32.25	200		A-45	3.02	1.95	1.15	26.76	197

第5表 K.P.系試料の性質表

試験片 符 號	組 成 %						機 械 的 性 質				備 考
	T.C.	G.C.	Si.	Mn.	S.	P.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg.	撓 量 mm.	硬 度 ブリネル	
K. P. 37	3.11	2.48	1.92	0.74	0.038	0.219	24.6	1,800	3.3	209	
K. P. 52	3.51	3.02	2.00	0.82	0.021	0.139	17.6	1,360	4.2	170	
K. P. 57	2.76	2.09	1.92	0.95	0.02	0.205	31.8	2,210	3.0	245	

第7表 K.P.系試料の性質表

試験片 符 號	組 成 %						機 械 的 性 質				備 考
	T.C.	G.C.	Si.	Mn.	S.	P.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg.	撓 量 mm.	硬 度 ブリネル	
K. P. 37	3.11	2.48	1.92	0.74	0.038	0.219	24.6	1,800	3.3	209	
K. P. 42	3.29	2.60	1.30	0.83	0.019	0.206	26.6	1,875	4.1	204	
K. P. 47	3.01	2.81	3.50	0.84	0.015	0.272	12.9	1,200	2.6	149	

第3表 表面の仕上げ程度と磨耗量との関係

試符 驗 片 號	試 驗 條 件			仕上げ程度	摩 擦 係 數		磨 耗 量 Mgr/km
	荷重 kg/cm ²	速度 m/sec	時間 hor		値	一定とな る時間分	
H.P. 4	5.0	2.14	3.0	バイト仕上	0.54	3	3.1
				グライ ン ダ ー 仕 上	0.57	11	2.6
				エメリ ー ペ ー パ ー 仕 上	0.57	25	2.4
バイト仕上				0.46	5	1.7	
グライ ン ダ ー 仕 上				0.48	8	1.3	
エメリ ー ペ ー パ ー 仕 上				0.54	25	1.0	
H.P. 7							

第6表 A系試料の性質表(磨耗と炭素との関係)

符 號	組 成 %			機 械 的 性 質		
	T.C.	Si.	Mn.	抗張力 kg/mm ²	硬 度 ブリネル	
環材	DFC-11	3.02	1.61	1.13	27.5	165
	C S	2.83	1.53	1.02	23.1	178
片 材	A-8	2.37	1.84	0.96	24.8	193
	A-13	3.18	1.80	1.17	24.4	178
	A-15	3.08	1.88	0.99	25.1	198
	A-16	3.21	1.93	1.15	24.49	200
	A-18	2.82	1.53	1.17	25.58	209
	A-19	2.80	2.03	1.13	24.7	159
	A-20	3.00	1.05	0.68	24.2	148
	A-21	2.99	2.06	1.00	25.07	178
A-24	3.46	1.88	1.62	24.55	178	

第8表 K.M系試料の性質表

試験片 符 號	組 成 %						機 械 的 性 質				備 考
	T.C.	G.C.	Si.	Mn.	S.	P.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg.	撓 量 mm.	硬 度 ブリネル	
K. P. 7	3.07	2.18	1.78	1.03	0.040	0.245	24.8	1,840	3.0	226	
K.M. 1	2.87	2.29	1.99	1.59	0.043	0.224	28.1	1,960	2.9	229	
K.M. 2	2.95	2.33	2.03	2.04	0.038	0.227	28.5	1,880	3.0	241	
K.M. 3	2.93	2.25	2.02	2.56	0.035	0.234	30.2	1,950	2.9	245	
K.M. 4	2.89	2.25	1.98	3.01	0.039	0.225	30.4	1,900	3.4	245	

第10表 K.N.系試料の性質表

試験片 符 號	組 成 %						機 械 的 性 質				備 考
	T.C.	G.C.	Si.	Mn.	P.	Ni.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg.	撓 量 mm.	硬 度 ブリネル	
K. N. 10	3.02	—	1.58	0.98	0.234	—	25.1	1,850	3.0	220	
K. N. 11	2.99	—	1.62	1.05	0.221	0.95	27.5	1,900	2.9	230	
K. N. 12	3.08	—	1.54	1.03	0.218	1.86	28.4	1,950	3.1	243	
K. N. 13	3.05	—	1.60	0.97	0.228	2.92	30.5	2,110	3.4	245	

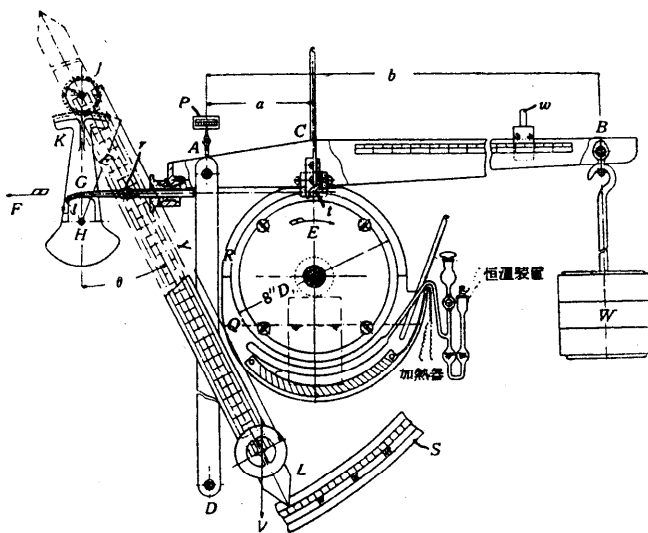
第 11 表 K. N. C. 系 試 料 の 性 質 表

試 驗 片 符 號	組 成 %						機 械 的 性 質				備 考
	T.C.	G.C.	Si.	Mn.	Ni.	Cr.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg	撓 量 mm	硬 度 ブリネル	
K.N.-1	2.86	2.38	1.98	1.63	1.48	—	28.9	1,780	2.3	252	
K.N.C.1	2.96	2.33	1.94	1.63	1.43	0.27	29.3	1,705	2.5	255	
K.N.C.2	2.93	2.20	1.89	1.59	1.45	0.64	28.3	1,845	2.4	259	
K.N.C.3	2.95	2.11	1.93	1.93	1.41	0.95	27.3	1,680	2.6	266	

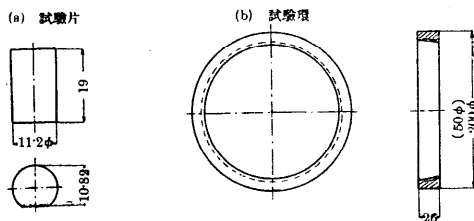
第 9 表 K. P. 系 試 料 の 性 質 表

驗 驗 片 符 號	組 成 %						機 械 的 性 質				備 考
	T.C.	G.C.	Si.	Mn.	S.	P.	抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg	撓 量 mm	硬 度 ブリネル	
K. P. 2	3.62	2.88	1.60	0.81	0.049	0.174	19.9	1,560	4.40	236	
K. P. 13	3.13	2.40	1.60	1.05	0.016	0.505	24.3	1,770	3.40	214	
K. P. 15	2.93	2.25	1.57	0.85	0.054	1.079	24.8	1,635	2.25	245	
K. P. 19	3.59	2.33	1.68	1.02	0.044	0.835	26.3	1,815	2.75	235	
K. P. 22	3.16	2.38	1.75	0.83	0.039	0.240	28.0	1,900	3.70	217	
K. P. 39	3.17	2.63	1.47	0.67	0.021	0.669	25.45	1,650	3.05	223	
K. P. 51	3.70	3.01	1.59	0.82	0.012	0.059	17.30	1,265	3.50	165	
K. P. 85	3.60	—	1.60	0.80	0.04	0.50	—	—	—	—	豫 定 成 分
K. P. 86	3.60	—	1.60	0.80	0.04	1.10	—	—	—	—	豫 定 成 分

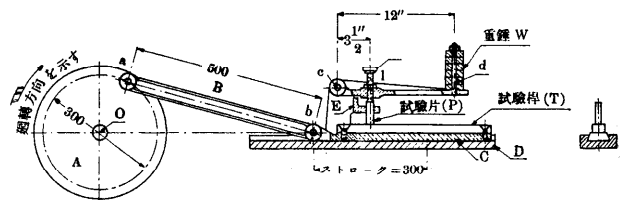
第 1 圖 S.K. 式 摩 擦 磨 耗 試 驗 機 の 構 造



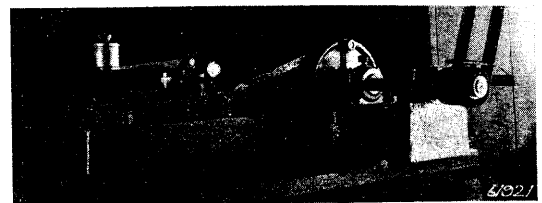
第 4 圖



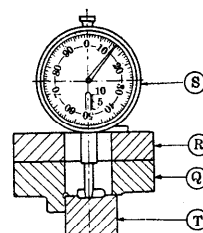
第 5 圖 往 復 式 磨 耗 試 驗 機



第 6 圖 往 復 式 磨 耗 試 驗 機

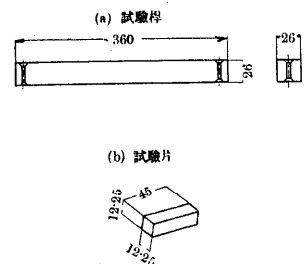


第 7 圖

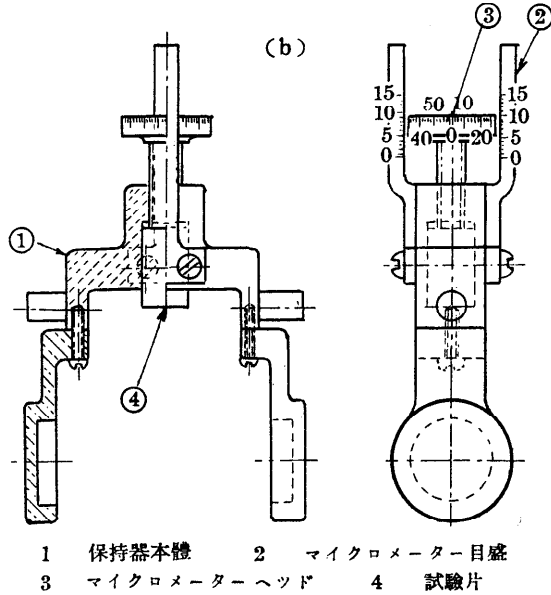


T: 試 驗 棒 Q: 定 盤
R: ダイヤルゲージを固定する定盤
S: ダイヤルゲージ

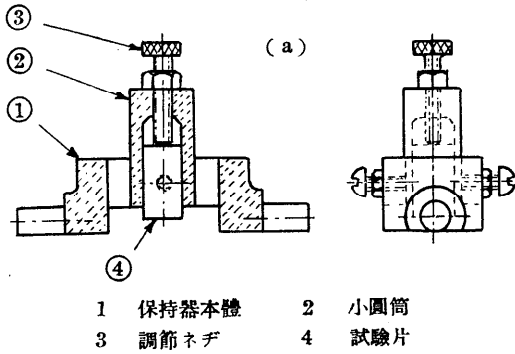
第 8 圖



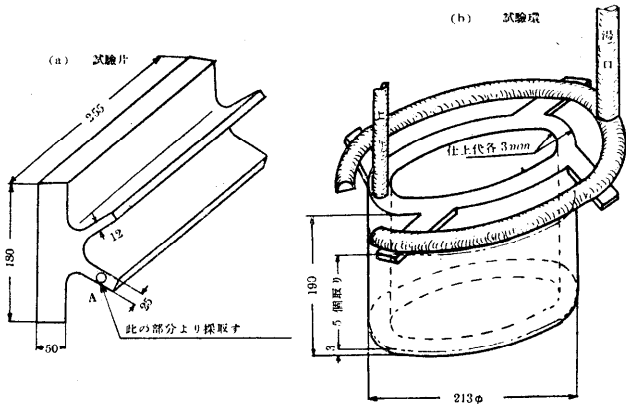
第2圖 S.K. 式摩擦磨耗試験機の装置寫眞



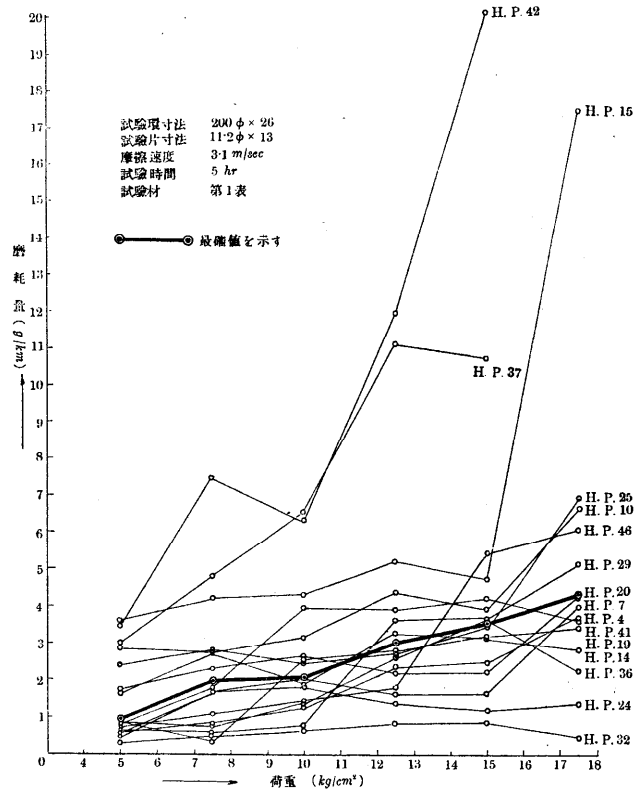
第3圖 試験片保持器



第9圖 H.P.系試料鑄造方法

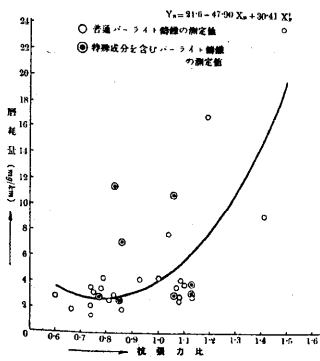


第10圖 荷重と磨耗との關係



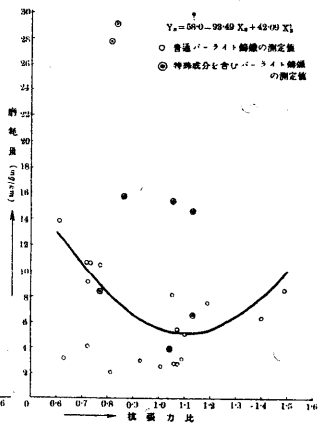
第17圖

抗張力比と氣筒入籠の磨耗との關係

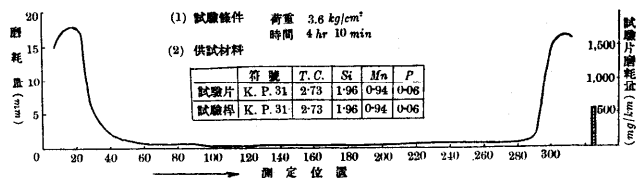


第18圖

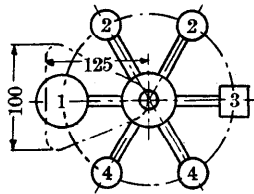
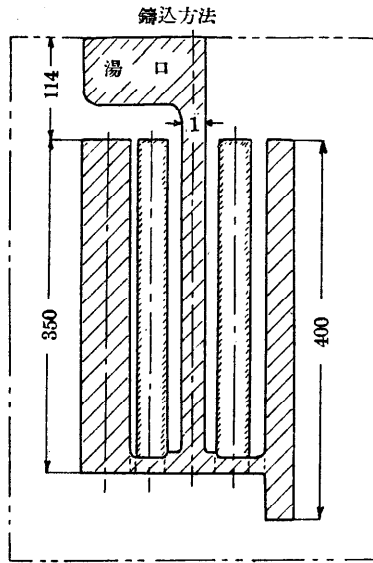
抗張力比と詰輪の磨耗との關係



第12圖 速度と磨耗との關係



第 11 圖 K.P. K.M. K.N. 及 K.N.C. 系試料鑄造方案

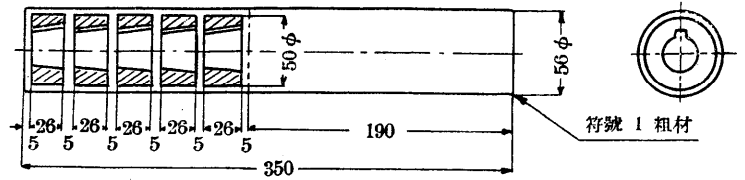


型の温度 50°~60°C とす

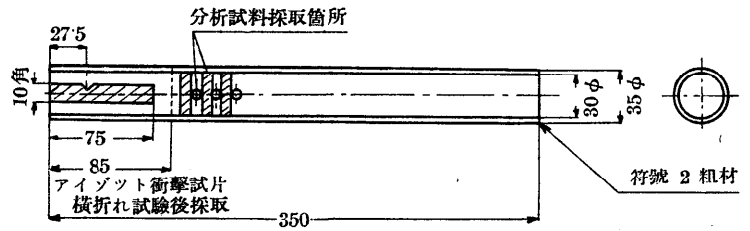
粗材表

符 號	用 途	粗材寸法
1	迴轉式磨耗試驗環	56 φ × 350
2	橫折れ試験片	35 φ × 350
3	往復式磨耗試驗片	32 角 × 400
4	抗張力試験片	30 φ × 350

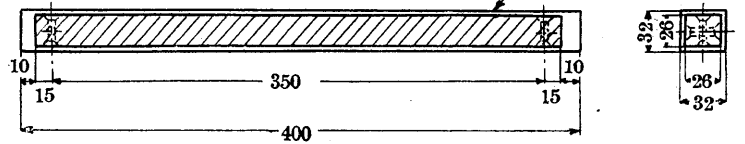
迴轉式磨耗試驗環



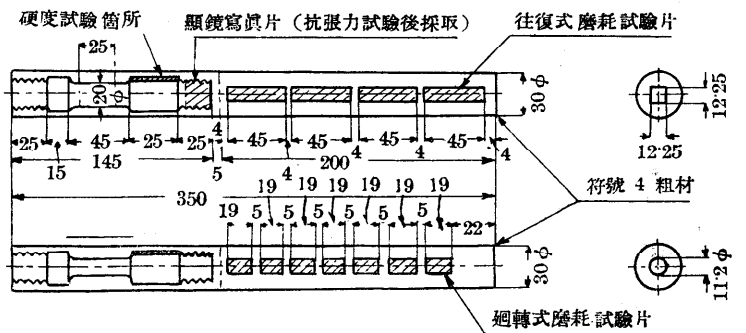
橫折れ試験材



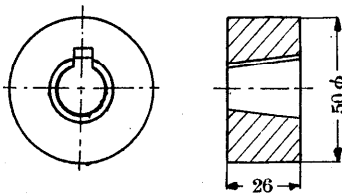
往復式磨耗試驗棒



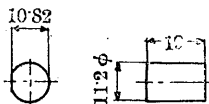
抗張力試験片



迴轉式磨耗試驗環



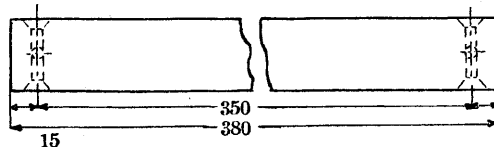
迴轉式磨耗試驗片



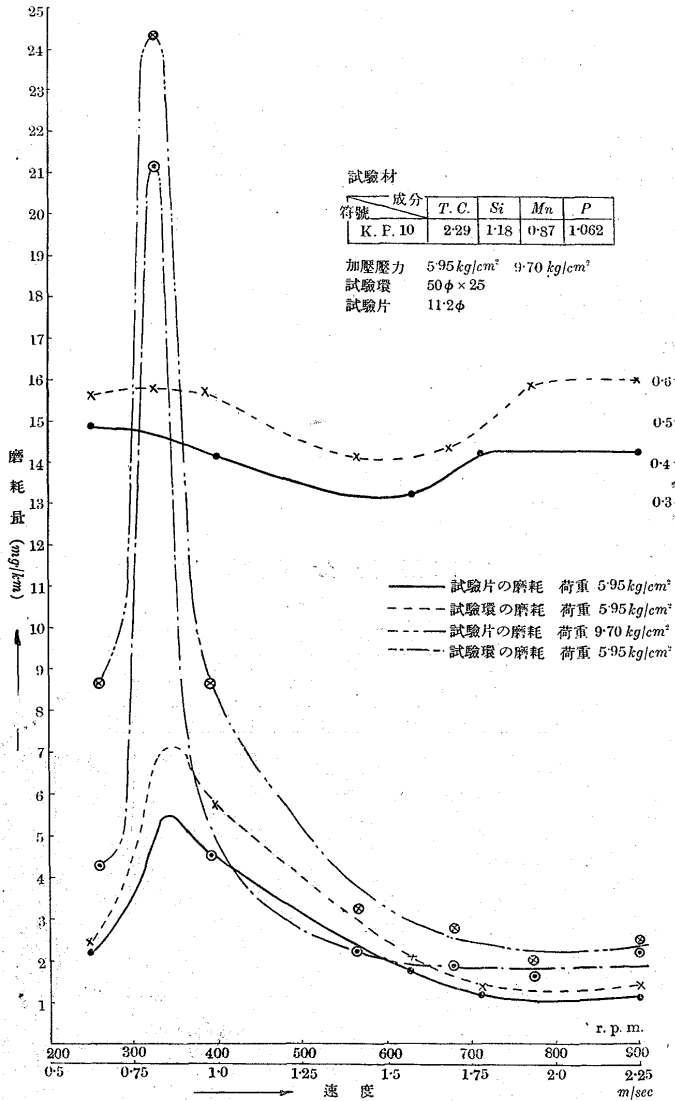
往復式磨耗試驗片



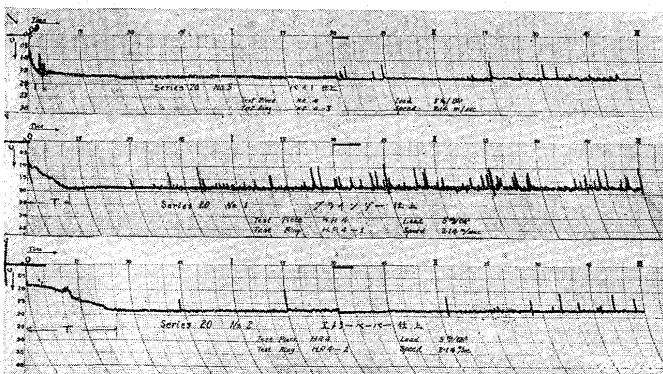
往復式磨耗試驗棒



第13圖 速度と磨耗との關係



第14圖 表面の仕上程度と摩擦力との關係

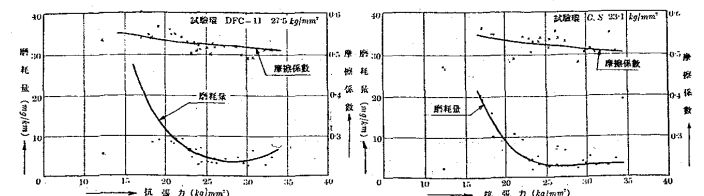


第15圖

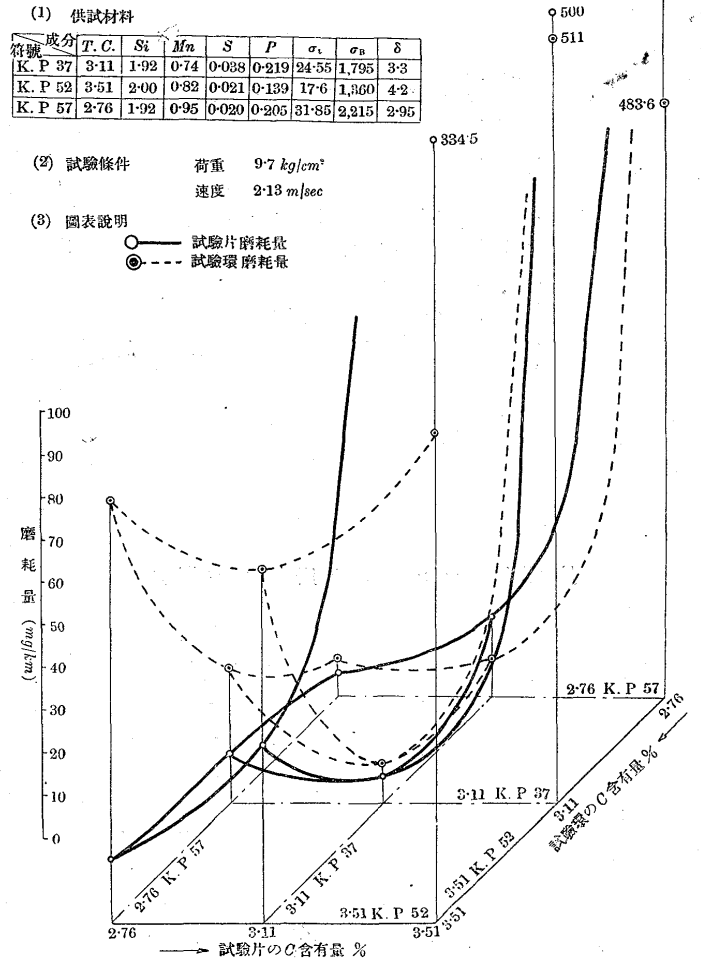
第16圖

抗張力と摩擦係數及磨耗との關係

抗張力と摩擦係數及磨耗との關係

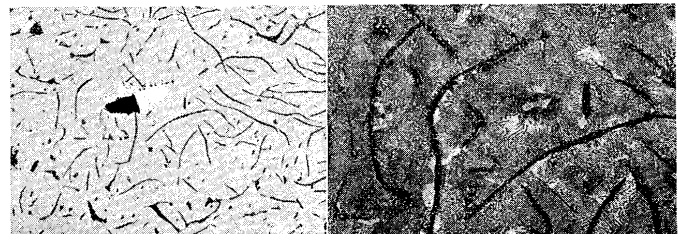


第19圖 炭素量と磨耗との關係



第20圖 顯微鏡組織

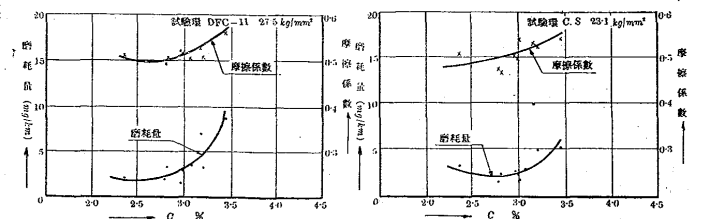
符號	T.C.	Si	Mn.	P.	S.
K.P. 52	3.51	2.00	0.82	0.139	0.021



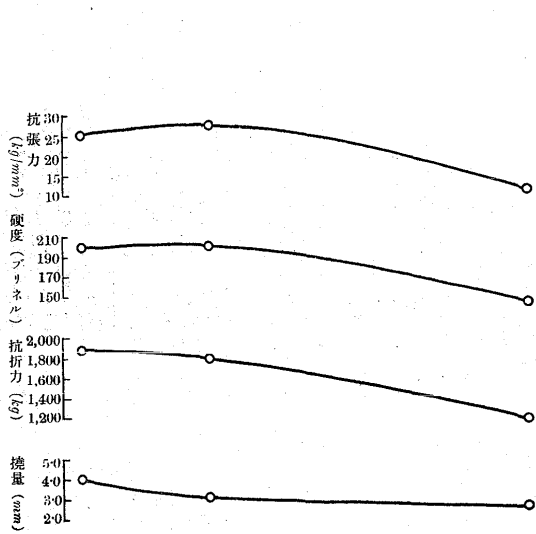
第21圖

第22圖

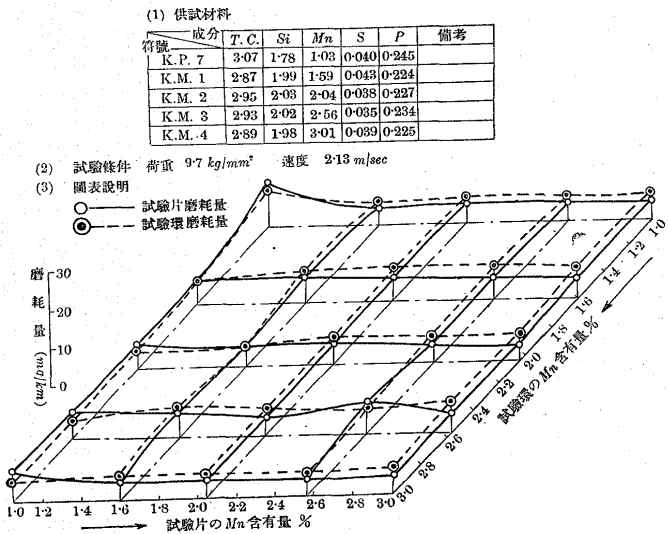
炭素量と摩擦係數及磨耗との關係 炭素量と摩擦係數及磨耗との關係



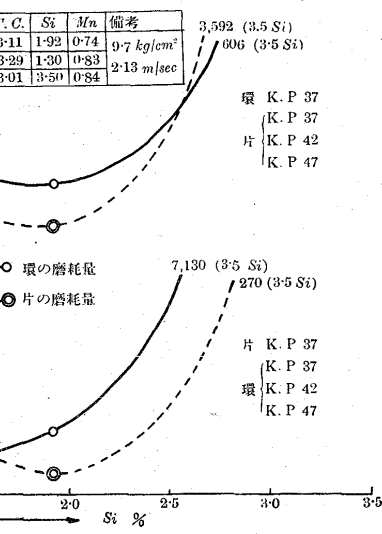
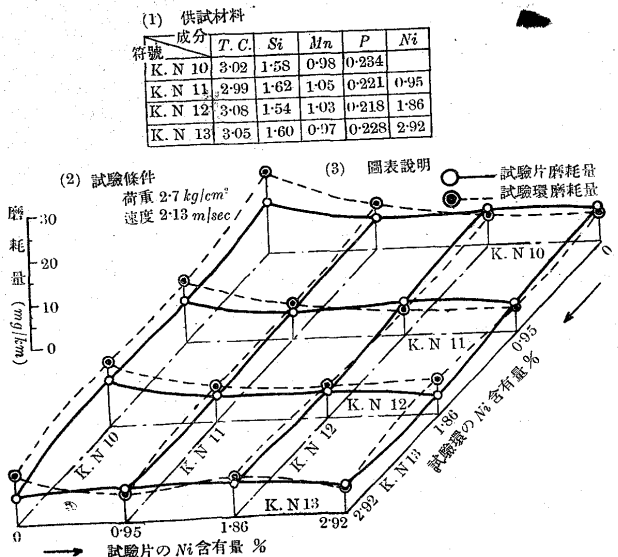
第 23 圖 珪素と磨耗との關係



第 25 圖 マンガンと磨耗との關係

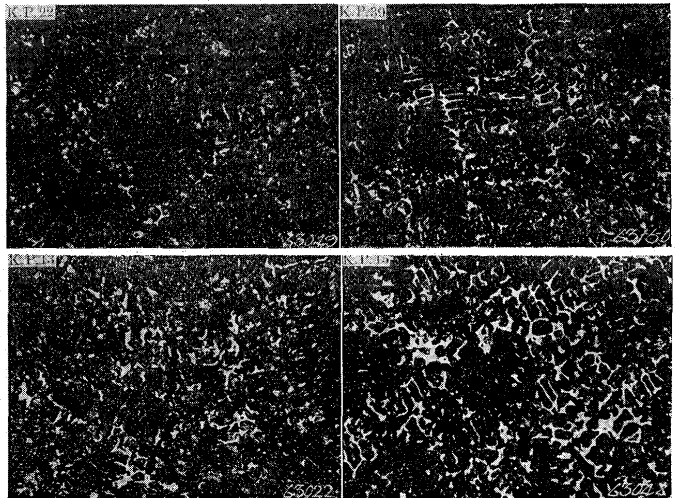


第 28 圖 ニッケルと磨耗との關係

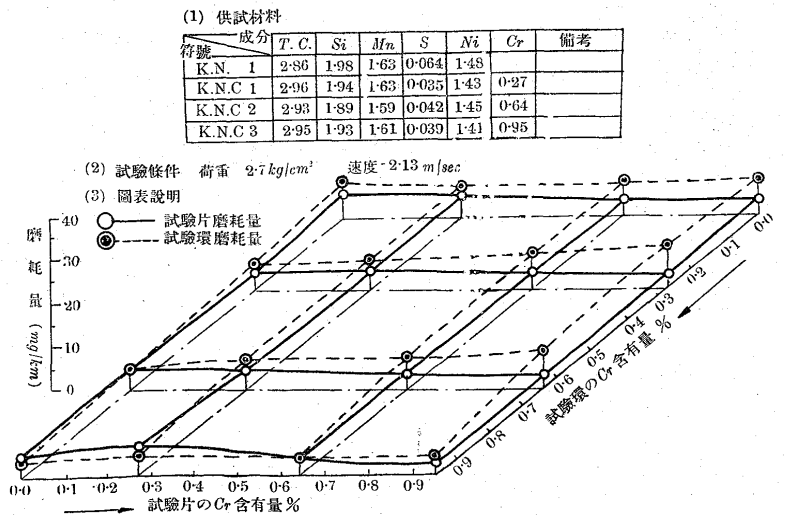


第 26 圖 磷分布寫眞

符號	T.C.	Si	Mn	P	S
K.P. 22	3.16	1.75	0.83	0.240	0.039
K.P. 13	3.13	1.60	1.05	0.505	0.016
K.P. 39	3.17	1.47	0.67	0.669	0.021
K.P. 15	2.93	1.57	0.85	1.079	0.054



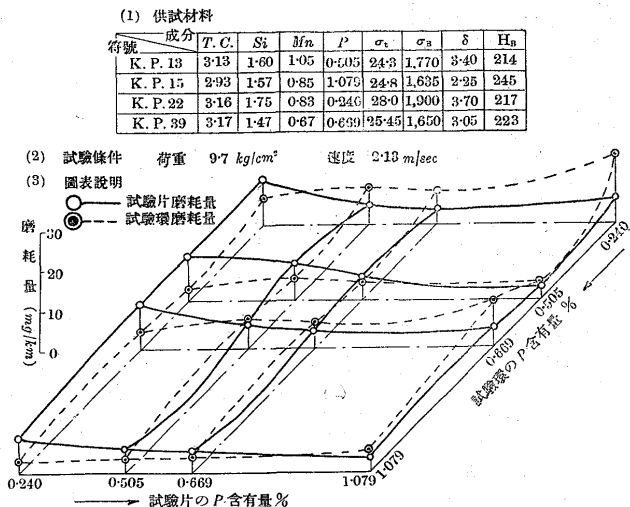
第 29 圖 クロムと磨耗との關係 (Ni-Cr 鑄鐵)



第24圖 顯微鏡組織

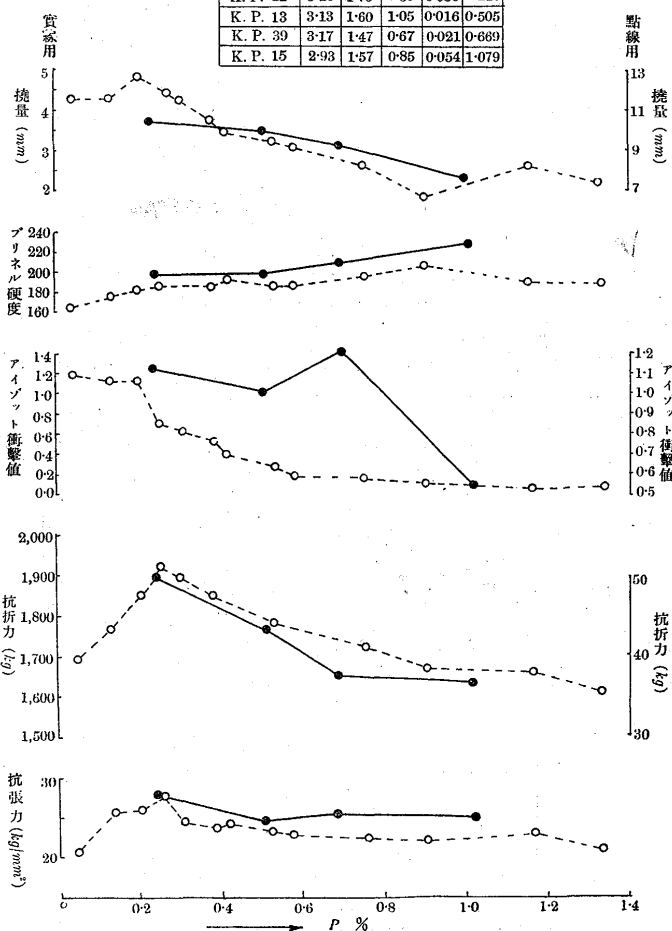
符號	T.C.	Si	Mn	P	S
K.P. 47	3.01	3.50	0.84	0.272	0.015

第27圖 (a) 磷と磨耗との關係



第30圖 磷と機械的性質との關係

符號	成分	T.C.	Si	Mn	S	P
Wast & Stotz V1		3.22	1.94	1.04	0.010	0.04~1.3
K. P. 22		3.16	1.75	0.83	0.039	0.240
K. P. 13		3.13	1.60	1.05	0.016	0.505
K. P. 39		3.17	1.47	0.67	0.021	0.689
K. P. 15		2.93	1.57	0.85	0.054	1.079



第27圖 (b) 磷と磨耗との關係

符號	成分	T.C.	Si	Mn	S	P	備考
K. P. 2		3.62	1.60	0.81	0.049	0.174	
K. P. 19		3.59	1.68	1.02	0.044	0.835	
K. P. 51		3.70	1.59	0.83	0.021	0.059	
K. P. 85		3.6	1.60	0.80	0.040	0.50	豫定成分
K. P. 86		3.6	1.60	0.80	0.040	1.10	豫定成分

