

鋼材の火花試験に関する研究¹⁾ (第1報)

三島 徳七²⁾・三橋 鐵太郎³⁾

BEITRÄGE ZUR FUNKENPROBE VON STAHL UND EISENLEGIERUNGEN (I)

Tokusiti Misima, Kōgakuhakusi und Teitarō Mituhasi.

Zusammenfassung:— Die Schleiffunken der allen Stahlarten haben kennzeichnende Merkmale. Die Funkenprobe bildet daher ein einfaches und weitverbreitetes Mittel zur Feststellung der Werkstoffzusammensetzung und zur Vermeidung von Werkstoffvermischung.

Ein Teil dieser Arbeit, über den hier berichtet wurde, sollte Genauigkeit dieser Funkenprobe für C-Stähle, auch die Zusammenhang zwischen die Funkenformen und die Menge der speziellen Elementen, wie Ni, Cr, Mn, Si, feststellen.

In Fe-C-Mn Legierungen befindet sich ein schwerfunkbares Gebiet. Die Abhängigkeit von der Härte und dieser Schwerfunkbarkeit wurde nicht festgestellt.

Karbide im Gusseisen ist immer schwerfunkbar, welches nach Graphitisation beim Ausglühen wieder wesentlich funkbar wird. Das Gleiche wird auch im Cr-Gusseisen festgestellt, welches in Abhängigkeit von der steigenden Al Gehalten allmählich schwerfunkbar wird.

Das Gefüge der amerikanischen handelsüblichen nichtfunkbaren Legierungen, die zu Ni-Cr- und Fe-W-Cr-V Legierungen (z. B. 18-4-1 Typus) gehören, besteht aus Austenit und Karbide.

目 次

I. 実験の目的

- I. 実験の目的
- II. 火花試験研究史概要
- III. 火花の理論
 1. 酸化現象としての火花発生及び發火點
 2. 枝分れの現象
 3. 火花発生と硬度の關係
 4. 火花の速度
 5. 火花の電氣的性質
 6. 火花の形態
 7. 火花と燃燒生成物被膜との關係
 8. 火花と組織
 9. 燃え屑 (Pellet)
- IV. 火花の色
- V. 振動する火花
- VI. 研磨車について廻る火花
- VII. 実験方法及び実験装置
- VIII. 諸外國の實驗装置
- IX. 火花発生に関する通則
 - X. 火花の形態とその名稱
 - XI. 炭素鋼の火花
 - XII. 硬鋼の火花形態と炭素含有量との關係
 - XIII. 中炭素マンガン鋼の火花
 - XIV. 高炭素マンガン鋼の火花
 - XV. 珪素鋼の火花
 - XVI. 珪素マンガン鋼の火花
 - XVII. ニッケル鋼の火花
 - XVIII. クロム鋼の火花
 - XIX. Fe-Cr-Mn 合金の火花
 - XX. 鑄鐵の火花
 - XXI. クロム鑄鐵の火花
 - XXII. 非發火性合金
 - XXIII. 結 論
- 文 獻

鋼材を研磨機にて研磨する時に發生する火花の色及び形態によつて鋼種を判定する事は今迄も現場で廣く行はれてゐた。この火花試験と呼ばれてゐる鋼種の判定法は化學分析、スペクトル分析等の方法に比して著しく簡便である爲屢々行はれてゐたが從來あまり研究されてゐなかつた爲その内容が明かでなかつた。火花試験の有する精度を研究する事が本實驗の目的の一である。

硬い物質と衝突する瞬間に火花を發生する合金と火花を出さない合金とが存在する。鑛山機械、化學機械、電氣機器の部分品として火花を發生し難い合金の用途は廣い。かやうな火花を發生し難い合金の存立條件を探究する事も本實驗の目的の一である。

II. 火花試験研究史概要

火花試験研究史の概略に關して既に筆者等は發表した²⁾。この研究史概要は可成り不備であるから、それを補正し併せて其後判明した文獻をも加へ、且火花試験に關する文獻が殆ど見當らないやうであるので、便利の爲に多少詳しく述べて見る。從來の火花試験研究は種々の側面をもつが大體次の如くに分つ事が出来る。

- a) 鋼材の火花の工業的試験の爲の研究—火花と鋼材の組織及び成分との關係。
- b) 火花の物理的研究—火花の物理的性質及び火花の成

¹⁾ 昭和 15 年 4 月鐵鋼協會大會講演に増補せしもの

²⁾ 東京帝國大學教授

³⁾ 東京帝國大學工學部冶金學教室

因.

c) 火花を出さぬベリリウム合金の研究.

今この各に就て述べる.

1. 鋼材の火花の工業的試験の爲の研究 は前世紀初頭から、即ち 1804 年に行はれてゐる¹⁾。

尙茲に注意すべき事はこの試験は 2 種類のものを含んでゐる事である。即ち火花の形態、色の研究、即ち本來の火花試験と火花を硝子板に受けてそこに附着した燃え残りの金属酸化物の色彩から鋼種を判定する所謂 Pellet test がこれである。

M. Bermann²⁾ は炭素鋼、マンガン鋼、高速度鋼、タングステン鋼に就て火花の形態、色のみでなく Pellet test をも行ひ、火花の成因を考へ、成分と火花発生との聯關をも考察してゐる。

O. Thallner⁴⁾ は Bermann の研究を種々の點で批判し「Bermann のマンガン鋼の火花の形態に関する説明には大して根據がない」と云ふやうに述べてゐる。

Metal Industry⁶⁾ の無署名の論文に於ては C 鋼, Mn 鋼, W 鋼, W-V 鋼, Cr-W 鋼, Cr-V 鋼, Ni 鋼等の各種成分の鋼の火花が取扱はれた。

E. Pitois⁷⁾ に至つて始めて火花を寫眞に撮影した。Pitois は以上の諸鋼種以外に Ni 鋼, Ni-Cr-Mn 鋼, Si 鋼, 鑄鐵をも取扱ひ、空氣中のみでなく酸素ガス中に於ての火花をも觀察してゐる。

Pitois の撮影した寫眞の中には我々の實驗では 1 回も現はれないやうな火花が種々寫つてゐる。その原因は未だ不明である。

Pitois は更に Pellet test をも試み、酸素中で燃焼せしめた場合の Pellet をも觀察してゐる。

G. M. Enos⁹⁾ は火花の色、形態と成分との關係に就て詳細な觀察をしたのみならず、組織と火花の形態との關係に就て報告してゐる最初の人である。同一成分の鋼でも焼鈍せるものと焼入せるものとは、火花の形態及び光輝度に差があると云つて居る。

又可鍛鑄鐵の火花を始めて觀察したのも Enos である。

Enos はその他市販の工具鋼、不銹鋼、磁石鋼等の多元の實用鋼種の火花を觀察してゐるが、寫眞を撮らなかつた。

W. Rohland¹²⁾ は研磨車の粒度は微かい方が良くと云ひ、火花束と火花線とを區別し、鋼種判別の爲には後者を觀察すべき事を述べてゐる。

W. Rohland は炭素鋼の火花の形が著しく變化する點は

0.4% C, 1.0% C で、珪素鋼に於ては Si% の増大と共に火花は明るくなり、クロム鋼に於ては Cr 1% 以下では分らないが 1% を超すと一層火花が直線的になり、末端に橙色の小滴を生ずるとした。

タングステン鋼に於ては W 0.2% の存在が火花試験で分り、高速度鋼の火花には 2 種の火花線が混合し、太いものは煉瓦赤色、細いものは暗赤色である。分枝は C% に従つて現はれ又は消失するとした。

ニツケル鋼、ニツケルクロム鋼の火花は純炭素鋼と差別がないとした。而して彼はまだ寫眞は撮つてゐない。

W. C. Hildorf と C. H. McCollam¹³⁾ は H. Brearley の著書¹¹⁾ の現はれた事を述べ、更に自己の研究を述べてゐる。寫眞は撮つてゐない。炭素鋼 (C 0.15%, 0.30%, 0.45%, 1.00%) 及び Ni-Mo 鋼を取扱ひ Ni-Mo 鋼の火花中には Ni 及び Mo の影響が並存するとしてゐる。

火花の發生原因は炭素の存在にあり、その燃焼により CO₂ ガスを發生しその容積が大なる爲に爆發するとしてゐる。又 Ni 及び Mo が鋼材の火花に及ぼす影響を詳細に取扱ひ Cr, Mn 等の合金元素も火花に特徴的な影響を與へると書いてはあるが、その内容には觸れてゐない。

Pellet 試験を始めて詳細に論じたのは Hildorf 及び McCollam¹⁴⁾ である。C 鋼, Cr 鋼, Cr-V 鋼, Ni-Mo 鋼, Ni-Cr 鋼, Mo 鋼, V 鋼を取扱ひ Pellet 試験が火花試験と相補つて始めて優秀な試験法となり得る事を述べてゐる。

Pellet に於ける Cr 及び Mo の影響は獨立的に並行して現はれる事、Ni-Cr 鋼及び Ni-Mo 鋼の區別は滲炭して Pellet 試験を爲すと極めて明かになる事を述べてゐる。

P. Goerens 及び R. Mailaender¹⁵⁾ は鍊鐵、高炭素鋼, Mn 鋼, W 鋼, Cr-W 鋼に就て簡単に述べてゐる。圖面は Bermann³⁾ のものと大差はない。

American Machinist 誌¹⁶⁾ は鍊鐵、軟鋼 (machine steel), 炭素工具鋼、鑄鐵 (白, 鼠, 可鍛), 高速度鋼, マンガン鋼, 不銹鋼 (Cr 鋼), W-Cr 鋼, 窒化せる窒化鋼 (Nitralloy), ステライト, 炭化タングステン, ニツケル, 銅, 黄銅, アルミニウムの火花の形態と色を詳細に取扱つてゐる。

而して窒化鋼, ステライト, 炭化タングステン, Ni, 銅, 黄銅, アルミニウムの火花に觸れた事は注目すべく、ニツケルの火花が波狀運動 (Wavy motion) を爲すとしたのもこの記事を以て始とするやうであるが寫眞は撮つてゐない。

又 Hildorf 及び McCollam¹⁷⁾ は炭素鋼の火花は 0.15

%C, 0.45% C, 1.0% C に於て夫々著しく形態を變ずるとなし, Mo 鋼, Ni 鋼, Si 鋼, W 鋼の火花に就て簡単に觸れてゐる. Mo 鋼の火花に就て詳細に論じたのは氏を以て嚆矢とするやうである. 但 Enos⁹⁾ の研究したダイス鋼の中には C 1.0%, Si 1.0%, Cr 1.0%, Mo 1.0%, V 0.25% のものもあつたが, モリブデン單獨を含む鋼の火花を對象として取扱はなかつた. 氏は炭素鋼の火花の寫眞を4枚示してゐる.

R. W. Buzzard¹⁸⁾ の研究は從來の諸研究中最も包括的且徹底的である. S. A. E. 鋼の大部分の火花寫眞を撮り, 色を論じ, Pellet test を行つて分類し, 最後に火花を發生せぬ市販鋼種を集めてその分析を示してゐる.

又 C 鋼, Cr 鋼, Ni-Cr 鋼, Cr-V 鋼, Mo 鋼, W 鋼, Si-Mn 鋼, Mn 鋼, 鑄鐵の火花を取扱ひ, 且火花流線各部分に名稱を付した.

久保正氣氏²³⁾ は火花に流花, 散花, 尖花, 劍花, 包花等日本語の名稱を付した. 論文の内容は主に Buzzard¹⁸⁾ に依つてゐるやうである.

Iron Age²⁴⁾ 所載の論文も極めて包括的なもので考察も精緻なもので C 鋼, Mn 鋼, Ni 鋼, Cr 鋼, Ni-Cr 鋼, Mo 鋼, V 鋼, W 鋼, Si-Mn 鋼の火花を取扱ひ火花の色に就ても微かく觀察してゐる. この實驗に於ては 13,000~15,000 回轉と云ふ高速度の研磨機を使用してゐる爲, 火花が圖の如く廣がつて見えて居る.

O. Pattermann²⁷⁾ は 12 種の工具の火花を詳細に取扱つてゐる. 火花の形の各部分をも分類し, それに命名してゐるが寫眞は撮つてゐない.

F. R. Palmer²⁸⁾ は Carpenter 會社で發賣してゐる 9 種類工具鋼即ち W 鋼, 高炭素鋼, Mo-Si 鋼, Ni-Cr 鋼, Mn 鋼, 高速度鋼, W-Cr 鋼の火花の圖を掲げ, 今迄無いやうな精密さで火花を論じてゐる.

尙火花試験方法, C, Ni, Cr, Si, Mn, W, Mo 各元素の影響をも別に論じてゐる. 火花に對して熱處理の影響が現はれる事をも述べて居る.

Max Komers²⁹⁾ は材料の混合を判別するに火花試験法が適當してゐるとなし, 炭素鋼(0.15% C 以下, 0.15~1.0% C, 1.0% C 以上), Mn 鋼, 高マンガン鋼, Ni 鋼 (Ni < 5%), Cr 鋼, 構造用 Ni-Cr 鋼, 18/8 不銹鋼, W 鋼, Mo 鋼, Si 鋼, V 鋼の火花の特色を述べてゐるが圖も寫眞もない. Pellet 試験と火花試験を併用して材料の種別を判定する Buzzard の表¹⁸⁾ を改良して轉載してゐる.

G. E. Gordon と E. A. Reid³⁰⁾ は火花試験方法及び Si, Ni, Cr, Mo, W, V, Al の火花に對する影響を論じてゐる. Al の影響を論じたのは兩氏が始めてである. 尙非常に注目すべき新説と思はれるのは, Cr 鋼の火花が平爐鋼と弧光爐鋼とでは形及び色を異にすると云ふ主張であるがその點は猶検討を要するものと思はれる.

三橋³¹⁾ は佐草英雄氏の研究を紹介した. 佐草氏の研究に對する三橋の見解は該論文「まへがき」の中に於て述べた如くである.

佐草氏は火花の各部に久保氏²³⁾ と別の名稱を附した. C 1.2%, 0.5% 鋼の Pellet 中の炭素量は最初の C% に無關係に 0.04% であると云ふのは氏の發見である. 佐草氏は寫眞は撮らなかつたが, 火花の圖解 47 個を示して居られる. 取扱つた鋼種は C 鋼, W 鋼, Mo 鋼, Mn 鋼, Cr 鋼, Ni 鋼, Si 鋼, Ni-Cr 鋼である.

三島及び三橋³²⁾ は既往の文獻の紹介の形式を借りて火花試験研究史の概要を論じた.

2. 研磨車から出る火花の物理的性質の研究 は寺田寅彦, 中谷宇吉郎兩博士に始まる³³⁾.

中谷, 關口兩氏³³⁾ は 0.7% C 炭素鋼の火花を寫眞に撮り, それが線香火花の火花と類似せる事を指摘した.

續いて中谷氏^{34, 35, 37)} は研磨車から出る火花の物理的性質の研究を行つた. 氏は純鐵, 炭素鋼, 高速度鋼, W-C 鋼の火花の寫眞を撮つてゐる.

研磨車に塗つた炭素が鋼材中の炭素と同様の作用をする事を認め炭酸ガス, 酸素, 窒素中に於ての火花試験をも行つて Pellet が熔融する原因が酸化に依る事を確認した.

更に氏は電場内に火花を飛ばして, その帶電の符號を調べ, それと Kunsmann Source との關係に言及した.

又氏は火花の有するイオン量並に火花の速度をも測定し速度と火花の状態との或る種の關係を見出した.

G. Tammann と W. Boehme³⁶⁾ は金屬小片の大きさと發火點との關係を調べ, 電解鐵, マンガン, マグネシウム, セリウム, 鍍銀鐵線の發火點を知つた. 更に砥石車から出る電解鐵, 0.9% C 炭素鋼の火花の Pellet の大きさを測定した. その結果鐵の火花の發生する發火點は 700~1,000°C であると推定した. 且この論文中には鐵の小粒の自己發火性(Pyrophorität)及び酸化鐵被膜の表面張力の問題が論じてある. 又純鐵の Pellet は 1.0% 炭素鋼の Pellet の 10 倍の大きさである事を Tammann は見出してゐる.

W. Baukloh³⁸⁾ は元素の火花發生能力と周期率表との關

係を論じた最初の人である。その結果次の事を確めた。燃焼熱及び硬度と火花發生能力との間には直接的關係はない。燃焼熱の高い事は必要である。爆發(Burst)の發生原因はガス形生成物の發生又は金屬の氣化である。火花發生現象は複雑な異相反應の結果である。

氏の實驗に於て *Ba, Cr, Fe, K, Ca, Co, C, Cu, Mn, Mo, Ni, Ob, P, Si, Sr, Ta, Ti, U, V, W, Ce, Zr*, は火花を發生し, *Al, Sb, As, Be, Pb, Au, I, Cd, Mg, Na, Pd, Pt, S, Ag, Bi, Zn, Sn* は火花を發生しなかつた。即ち火花を發生するのは主に周期率表中3の大周期の第一列に屬してゐる。

3. 火花を出さぬ *Be* 合金 即ち *Cu-Be, Ni-Be* 合金に關しては製品紹介の文獻がある位のものである³⁹⁻⁴³。*Be* 合金が火花を發生せぬ理論に就ては觸れてゐるものは無い。

W. Baukloh⁴⁵ は *Be* が少量 *Mg* に混入すると *Mg* の燃焼性を減少させ又は阻止するのは、燃焼生成物たる酸化物の性質が *Be* に依つて影響されるのであらう、としてゐる。この見解は *Cu-Be, Ni-Be* 合金の非發火性を解釋する上に注目すべき意見である。

III. 火花の理論

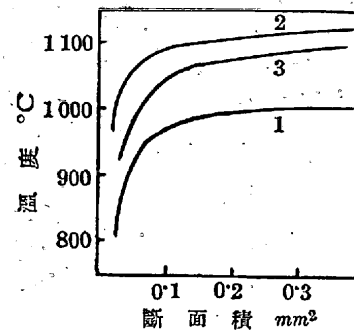
1. 酸化現象として火花發生及び發火點 火花發生に就て理論的に考察した最初の人 M. Bermann³⁾ である。氏は火花發生の爲の熱源を炭素が固溶炭素から炭化物へ變態する點に歸着せしめたが、この點に關する今日の知識に依りその理論の根據が否定せられた。第一に炭素を含有せぬ金屬も火花を發生するので、熱源が炭素のみにあるのではない事は明瞭である。

火花發生が粒子の空氣中酸素の酸化による事を實驗的に證明したのは Pitois⁷⁾ である。氏は炭酸ガス中では火花は弱い光しか發生せぬ事及び所謂 Pellet を硝子板に受けてみると熔融してゐる事を知り、酸化熱によつて赤熱された鐵鋼粉が燃焼して火花を發生する事及び「枝分れ」の原因が炭素の爆發的燃焼による事を確認した。同一の事實を中谷氏³⁷⁾ は O_2, N_2, CO_2 ガス中で實驗を行つて確認した。

火花を發生するエネルギーは何處から來るか。勿論それは研磨機で削られた際に摩擦によつて與へられたエネルギーが大きい役割をする。摩擦熱以外に極めて小さい粒子は表面積が著しく大なる爲自然發火して燃焼すると云ふ路からエネルギーの原因を考へる事も出来る。この意味で粒子の大きさと發火點との關係を調べ、自然發火の現象(Phyrophorität)を追求して或る程度の結論を得たのは G.

Tammann と W. Boehme³⁶⁾ である。且 Tammann 及び Boehme は研磨車から放出される鐵粒子の大きさの分布曲線を測定した。兩氏は電解鐵, マンガン, マグネシウム, セリウム, 鍍銀鐵線の粒子の大きさ, 實驗では針金の太さと發火點との關係を調べ、一般に粒子が小さくなると發火點が著しく低下する事實を認めた。

第1圖は電解鐵線の太さと發火點との關係を示す。



圖中 1) 空氣中の角形線
2) 空氣中の針金
3) 酸素中の針金

第1圖 電解鐵線の發火點
(G. Tammann, W. Boehme)

次に Tammann と Boehme は研磨機より出る電解鐵及び 0.9% C 鋼の Pellet 250 個を集めその直径を顯微鏡下で測定した。

Pellet には熔融して丸くなつたものと、燃えずに角ばつてゐるものとあつたが、兩者の大きさの分布の中心點は同一の場所にあつた。同一の大きさで一方は燃え他方は燃えないのは研磨機の與へるエネルギーの差であらうと著者は述べてゐる。熔融した Pellet の直径は第1表の如くに分布してゐる。

第 1 表

試料の種類	直径の上限及び下限(mm)	最多數現はれた直径(mm)
電解鐵	0.05 ~ 0.24	0.10
0.9% C 鋼(徐冷却)	0.005 ~ 0.14	0.015
0.9% C 鋼(燒入)	0.005 ~ 0.14	0.01

即ち 0.9% C のパーライト鋼の熔融切粉(Pellet)の直径中で最多數現はれたものは、電解鐵のそれに比して 7~10 倍小さい。パーライト鋼に含有せられてゐる炭素の爲に燃焼がより盛に行はれる爲 Pellet が著しく小さく現れる事は推定出来る。

この結果より鐵及び鋼の火花の場合の發火點は 700~1,000°C である事が推定せられた。更に小さい切粉もある理であるから、一層低温で發火するものもあると思はれる。

2. 枝分れの現象 「枝分れ」が多く炭素の燃焼による CO_2 ガスの發生による事は古くから認められてゐる。「枝分れ」の多少が鋼の C% に大體比例する事及び「枝分れ」を生ずるのは主として鋼材に限るからである。

然しながら鋼材以外の金屬又は合金でも火花の中に「枝分れ」を示し、それは高温金屬の蒸發による事も考へられる。この點を最初に指摘したのは Thallner⁴⁾ である。即ち

星形爆發 (Star burst) 及び枝形爆發を生ずる原因として今日考へられるのは C の CO_2 への燃焼及び高温金屬の氣化の2點である。

中谷氏³⁴⁾は研磨車に炭素の細粉をつけこれにて純鐵を削つた場合に、盛に火花の分裂するのを認め、火花の分裂は鐵中の炭素によるものであるが、その炭素は化學的に鐵中に含有せられる事を要せず、機械的に附着して居る場合にも起り得るとした。尙中谷氏は炭素末の代りに砂糖の細粉を用ひて實驗をされたが火花は分裂した。且この現象は鐵に特有な現象らしく、炭素末を塗つた研磨機で、黃銅や銅を削つても火花は出ない。試料の硬度が不足してゐる爲に火花が出ないのかと思ひ、タングステンを試みたが矢張り鐵の場合のやうな火花を發生せぬ。即ち炭素粒の爆發的燃焼には鐵が必要であり、その鐵の熔融してゐる事が重要な意味をもつとした。

金屬でも分裂をする例として、中谷氏³⁴⁾は電氣火花に於ける火花の分裂がアルミニウムの熔融した小粒の爆發的燃焼に歸因する事を實驗的に確認した事を指摘して置く。

3. 火花發生と硬度との關係 火花發生と硬度との間には一義的な關係は無い。Cu-Be 合金は硬くても火花を發生せぬ適例である。

逆に硬度の低い銅、アルミニウム、黃銅は火花を出さない。これは硬度が低いので、研磨車との摩擦によつて粒子の溫度を高めて發火させるに至らぬ爲と思はれる。

即ち硬度が著しく低くても火花は絶體に出ないが、硬度が高いものが必ず火花を發生するとは限らないのである。

W. Baukloh³⁵⁾は一般にブリネル硬度 100 又はそれ以上になると火花を發生すると述べてゐる。即ちこれよりも硬い元素でも K, Ca, Sr, Ba, Ce は火花を發生する。その他の金屬元素はブリネル 100 以上でも火花を發生せぬものがあり、又硬化せしめた Al-Cu 合金はブリネル 110~120 であるが火花を發生せぬ。更にブリネル 30~40 の 25% Ce の Al-Ce 合金は火花を發生する。

4. 火花の速度 中谷氏³⁴⁾は酸素中の火花の光度が大きい點に着目せられ、火花を回轉フィルムと靜止乾板とを並べて同時に撮り、これに依つて火花の速度を測定した。それに依ると大體研磨機からの道に沿つて測つた距離に比例して速度は減少するのであるが途中で急に速度の變化が起る事がある。

即ち小枝を出して燃え續けてゐる間は速度が餘り減少せぬが、小枝を出さなくなると速度は一様に減少し始める。

又途中で火花線が太くなり、即ち光度が急に増すと、その點では減少の度少く、その點から先は速度は急に減少する。

この場合に問題になるのは枝或は刺を出して燃焼を續けてゐる間に速度の減少の割合が少い事の理由である。中谷氏は之を「抵抗の係数が小さい爲か、或は發生する高温ガスの爲によるか、兩者の和によるか、今後の研究に俟つべく注意すべき現象である」とした。

5. 火花の電氣的性質 中谷氏³⁶⁾によると研磨車から出る鐵材の火花は熱イオンを放出し進行中にその帶電は符號を變ずる。

即ち初め負イオンを放射してゐて途中で急に正イオンを澤山出す状態があり、最後に又負イオンを出す。これを火花の寫真と對照して見ると、最初の負イオンを出す所は光の一番強い所に當り、これは熱電子の放射と考へられる。次に正イオンを急に澤山出す状態になるのであるが、これは酸化熱によつて鐵滴が最高溫度に達した次の状態であるので、少くともその表面は酸化鐵になつてゐる事と思はれる。

中谷氏はこの現象を解明する爲に Kunsmann の研究⁴⁴⁾を借りた。Kunsmann は酸化鐵に極少量の不純物を加へて熔融した物は、陽極として用ひると強い正イオンの源となる事を發見した。この時出る正イオンは不純物として入れたアルカリ又はアルカリ土金屬のイオンで、酸化鐵は接觸劑のやうな役目をしてゐる⁴⁵⁾。中谷氏はアルカリ又はアルカリ土金屬の極微量が研磨車から來る事は考へられるとした。

又中谷氏は最後に出る負イオンに就ては單なる熱電子かそれ以外のものか今の所不明であるとした。

尙中谷氏³⁷⁾は以上の點に關聯して酸素を色々の分量に含む空氣中での同様の實驗、熔融滴の分裂の際に出るイオンより二重層の推定、研磨車に各種アルカリを塗つてそれで鐵を削つた場合等種々の實驗を行つたと述べてゐるが、著者の一人に對する私信によれば、發表せられて居られない。

更に中谷氏³⁶⁾は、イオン化作用函により火花の各點から出るイオン量を測定した。それに依るとイオン量は火花の道の進行方向に沿つて段々増し、末端に於て急に減少して α 粒子のイオン化作用曲線と似た形となる。イオン放射の極大の所は光の一番強い所から 1~2 cm 遅れてゐる。これは Kunsmann source 的考察をした時の結果と密接な關係がある。イオン量は初めの所で 0.005~0.01 e.s.u./cm の程度で極大の所で 0.015~0.02 e.s.u./cm 位の程度であつた。

イオン化曲線は形、大きさ共に正負イオン共略同じ模様であつた。

又火花の道の途中で稀に急に光が増す事があるが、その時はそこで電量が急に大きくなる。

又火花が途中から光り出した場合は、肉眼で見えぬ位の光の弱い所はイオンを出さず、寫眞には寫らぬが、肉眼では鈍い赤色に見える部分でもイオンは $0.01 e.s.u./cm.$ 以内位放射して居た。

$C=0.1\%$, 0.2% の試料に就て火花の小爆發の時のイオン化を測定すれば、爆發點又はそれより $1cm$ 位遅れた所で非常に多くの正負イオンを出して居る。

研磨車に KOH を塗つて純鐵を削つた場合の火花も小爆發を起すが、その時にも放射されるイオン量が急に大きくなる。

研磨車にアルカリを塗つた場合として $LiOH$, $NaOH$, KOH を調べたが、正負イオン共大體純鐵の場合と餘り差がなかつた。但し時に異例が出た。

6. 火花の形態 火花の種々の形態の現はれる原因に関しては殆ど誰も論じてゐないやうである。Buzzard¹⁸⁾ は表面酸化膜の性質の各種による變化と火花の形態との關係を考察してゐるが、餘り精密なものではない。

7. 火花と燃焼生成物被膜との關係 火花と燃焼生成物との間に密接な關係のある事は既に多くの研究者が指摘した。

中谷氏³⁷⁾ は火花が進行中に正イオンを多量に放射するは酸化鐵被膜の存在を示すものであるとした。

G. Tammann³⁸⁾ は W. Klelu の研究⁴⁶⁾ を引用し、鐵が空氣中で熔融してゐる場合には表面の酸化物被膜は表面張力によつて勝手に流動し得る程度の粘性を有する事を述べてゐる。

又、酸化生成物の性質が火花の性質に大なる關係のある事を強調したのは W. Baukloh である。氏は次の事實を指摘した。即ちアルミニウムは燃焼生成物のアルミナが固くそれが粒子の表面を被つて燃焼を進行させない爲にアルミニウムと酸素との親和力が大でも火花を發生せぬ。マグネシウムも同様に火花を發生せぬ。Al-Ce 合金では Ce を含む酸化生成物が流動状をもつてゐるので次々と反應が進行して火花を發生する。アルミニウムも Al-Ce 合金も燃焼熱及び硬度の點は大差が無いのであるから、粒子表面の酸化物被膜の物理的性質が火花發生に強く働くのであらうとした。酸化セリウムは微粉状態になつて表面からどん

離れて行くと云ふ。

鐵、セリウムの發火性合金の發火する原因もこゝにあるものと思はれる。

又 Baukloh に依ると、少量の Be が Mg に添加されると Mg の可燃性を減少せしめ、又は全く阻止する。それは Be が Mg の酸化物の流動性を阻止するからである。

Cu-Be 合金が火花を發生せぬ理由の一端は Cu の酸化物の流動性を Be が減少せしむるからであると考へられる。

8. 鋼材の火花と組織 鋼材の火花と組織との關係を論じたのは Enos⁹⁾ である。氏は 0.06% の炭素鋼を種々に熱處理してその火花を調べた。この場合燒鈍せるものよりも燒入せるもの又は燒入燒戻せるものは、火花がより大きく廣がり又は爆發の數が多いと云ふ。

F. R. Palmer²⁸⁾ は大抵の工具鋼の火花は熱處理に無關係であるが、時には燒入鋼の火花は燒鈍鋼の火花よりも、より長く且より大である、と述べてゐる。

この兩氏以外に火花と組織との關係を論じた人は見當らぬやうである。

9. 燃え屑 (Pellet) 火花の燃え屑即ち Pellet の色、形により原鋼材の成分判定を爲す試験方法は既述の如き徑路を経て發達した。

注目すべき二三の結果を挙げれば次の如くである。W. C. Hildorf 及び McCollam¹⁴⁾ は Pellet 試験方法は火花試験の補充となるべきもので、兩者が相補足して微妙なる成分の差を判定し得ると爲した。

又 R. W. Buzzard¹⁸⁾ によると次の如くである。普通炭素鋼及び Ni-鋼から出る Pellet はピカピカして表面上に不明瞭な模様を表はし黝である。又炭素含有量によつては Pellet の表面の特性は變化せぬ。

Cr 鋼の Pellet の面は粗鬆で美しい灰色をなし、Mo 鋼の Pellet は面が非常になめらかで眞黒色である。V 鋼の Pellet の中には長くのびた梨形のもが混じてゐる。Si-Mn 鋼の Pellet は、球狀であるが内部が孔だらけである。

Si-Mn 鋼の内部の組織が孔だらけであると云ふ R. W. Buzzard の發見は筆者の考では次の如くに説明し得る。即ち Si が炭素鋼の火花の爆發を阻止する事は以前から知られてゐる事であるが、その理由は SiO_2 膜の流動性が悪い事に依るものであらう。即ち Si-Mn 鋼に於ても内部に於て發生せる CO_2 ガスが表面の SiO_2 膜が堅い爲に脱けないので孔だらけになるものと思はれる。

又佐草氏³¹⁾ は Pellet の含有炭素量を測定した。即ち鋼

材が $C12\%$ のものも 0.5% のものも共に Pellet に於ては $0.04\%C$ に減少してゐた。

又佐草氏は低炭素高クロム材 ($Cr > 10\%$) の Pellet はその不銹性を發揮し Pellet が美麗なる焼戻色を呈してゐると述べた。

IV. 火花の色

元素の研磨機の火花の色に就て包括的考察を爲したのは W. Baukloh³⁸⁾ である。融點の低い順にその結果を表示すれば第2表の如くである。但融點は測定者に依つて大分差があるので A. E. van Arkel の著書⁴⁷⁾ より任意の測定値を一つ代表に選んだ。

色を赤, 黄, 白の3群に大別してみると, 右端の如くなる。元素の融點と火花の色との間には一定の関係がない

第 2 表

元素	融點(°C)	色 (Baukloh)	區分
K	63.65	dunkelrot	赤
Ba	704	grünlichweiss	白
Sr	757	karmirost	赤
Ca	800	hellrot-karmirost	赤
Ce	815	gelbweiss	白
Mn	1,230	hellgelb-weiss	白
Si	1,440	orange	黄
Ni	1,455	hellrot, dunkelrot	赤
Co	1,478	dunkelrot	赤
Fe	1,535	kischrot-orange	赤
U	1,689	hellgelb	黄
V	1,700	hellgelb, orange	黄
Nb	1,700	orange, gelbweiss	白
Ti	1,795	weiss	白
Cr	1,920	Rot helle strahl	赤
Zr	2,130	weiss	白
Ta	2,770	rot	赤
Mo	2,895	orange-dunkelrot	黄
W	3,650	hellrot	赤

事が明かである。

鋼材の火花の色は筆者の研究に依ると添加元素の酸化熱の多少と關聯を有する如くである。

Gordon 及び Reid³⁹⁾ に依ればアルミニウムがかなり鋼に添加されると火花は白色になる。

筆者の實驗に依ればフェロ・チタンの火花の色は白色である。

周知の如く鐵・セリウム合金はライターの點火用合金に使用するが, その發する火花は白色である。

珪素は火花發生を抑制はするが, 白色の星形爆發を生ずる。

クロムは黄色を發する時と白色火花を發する事がある。

鐵自體は黄色火花を出す。Fe-C 合金は黄色より白色に

移る中間の色の火花を出す。

W, Mo の添加された鋼は赤色, 橙色範圍の火花を生ずる。

Ni 鋼 ($Ni > 1.5\%$) の火花は色が暗橙色である。

以上の結果をみると, Al, Ce, Ti, Si 等の酸化力の旺盛なる元素を含む鋼材の發する火花は白色又はそれに近く, Cr, Ni 等の中位の酸化性を有する元素を含む鋼材の發する火花は黄色, 橙であり, W, Mo 等酸化性の低い元素を含む鋼材の發する火花は赤い。

但酸化熱は生成酸化物の形態で異なるが, 筆者は Guertler の編輯した表⁴⁸⁾ に依つてその大小を定めた。該表中で曲線の上方にある元素の方が酸化力が強いと見たのである。

筆者の實驗に依ると白銑の火花は赤く微かい。Cr 鑄鐵でレデブライト組織をもつ試料の火花は赤く白銑の火花に似てゐる。これを燒鈍して黒鉛を出すと火花束は大きく擴がり火花は長く且黄色を呈する。

これを以てみるに C がセメントタイトの形になつてゐる場合と黒鉛形態の時とでは火花の形態並に色には大差がある。

Buzzard¹⁸⁾ は窒化鋼の火花を研究したが, 窒化の進行につれて火花發生が抑制され遂に皆無になる。筆者はこれを窒化鐵が安定なる爲分解して燃焼するに多大のエネルギーを要する爲に起る現象であると考へる。

鐵が安定なる化合物(セメントタイト又は窒化鐵)を作つた場合に於ては, 先づそれを分解する爲に多大の熱量を要し従つて火花の色は赤いか, 又は火花は抑制せられると考へられる。

又 Buzzard¹⁸⁾ も述べてゐる如く, 炭素鋼の火花の色が 0.45% 迄は C の増す程全體の火花流線が明るくなるが, これ以上 C が増すと次第に流線は暗くなる。そして 0.1% 又はそれ以上の鋼では時に暗さを増す。この事實はセメントタイトが安定であつて火花を發生し難く, 生ずる火花が赤色に傾く事より説明出来る。

高クロム鋼 ($15\sim 30\% Cr$) に於ては殆ど火花を生じない (Buzzard¹⁸⁾) のは炭素が安定なる炭化クロムになつてゐる爲であらう。

高クロム高炭素鋼 (例へば $C2.25\%, Cr13.00\%$) は短い流線を生ずるのも同様の原因で, C が悉く炭化クロムになつてゐる爲であらう。高炭素であるから本來ならば黄色い長い流線を生ずべきである。

V. 振動する火花

火花の中に震へるやうに見えるものがある事を既に American Machinist 誌¹⁶⁾ は指摘してゐる。即ち金屬ニツケルはステライトと似た火花を出す、ニツケルの火花の中には波動状運動 (wavy motion) を爲すものがあり、ステライト火花はすべて直線的に飛ぶとした。

Iron Age 誌²⁴⁾ は Cr 鋼の火花がふらふらする (flutter) と述べてゐる。又低炭素 Cr-V 鋼の火花は只の Cr 鋼よりも火花がふらふらするとしてゐる。



第2圖 振動する火花

筆者は Cr 鋼に於て振動する (wavy motion) 赤い火花を見た。試料にニツケルは入つてゐなかつた。この振動型火花の發生する原因は次のやうに考へられる。切屑が研磨車から飛んでも、燃焼がおそい爲か、又は形が長すぎるのか表面張力が小さい爲か容易に球形にならずにプロペラ形で片端より燃えつゝ長く空氣中を飛行するのであらう。尙その後の筆者の實驗によると C 鋼, Ni-Cr 鋼, W-Cr 鋼にも震へる火花が現はれる。ふるへる火花の色は赤く、枝はない。

VI. 研磨車に附いて廻る火花

試料の成分に依つて火花を出すと共に火花が研磨車に附いて廻る事がある。

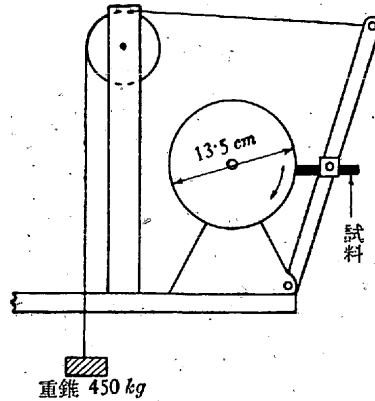
Buzzard¹⁸⁾ に依ると研磨車によく附着して廻る火花を出すのは高炭素 Ni-Cr 鋼, 高クロム不銹鋼である。研磨車の周を廻つてゐる火花を示してゐる成分を Buzzard の論文に就て調べてみると第3表の如くである。最も特色の明かに現はれてゐる鋼種がオーステナイト不銹鋼であるから鋼種が粘い爲にこの現象を呈するものと推定し得るが、Cr 鋼にこの現象がある原因が説明されない。

第 3 表

成分 記号	C	Cr	Ni	V
C 7	0.92	1.68	—	—
C 11	0.90	3.40	—	—
NC 16	0.10	18.82	8.26	—
NC-20	0.15	21.00	11.00	—
NC 8	0.15	13.00	11.80	—
SAE 6,150	0.50	0.90	—	0.17

VII. 實驗方法及び實驗裝置

筆者等の實驗に於ては第3圖の如き研磨機に直径 10 mm の試料を押しつけて發生する火花を暗室にて寫眞に撮つて形を觀察した。火花の色は肉眼で判定した。



第3圖 實驗裝置圖解

最初明るさ F:6 のレンズに富士クロム乾板を用ひて寫眞を撮つたが、細部構造がうつらなかつた。次にローライコード器を用ひ、レンズはトリオーター 3.5 を全開で、1/25, 1/50, 1s 等の露出で撮つた。使用フィルムは

さくら, U. S. S., さくらパン F, 富士ネオパンである。どのフィルムでも結果に大差は無かつた。

研磨車の回轉數は 3,600 rev/mn, 研磨機附屬の電動機の動力は 1/4 HP である。研磨車の直径は 13.5 cm であるから周速度は 1,500 m/mn になる。これを諸外國の實驗裝置に比べるとこの回轉數では多少研磨車の直径が小さいやうである。

車は吳製砥所製アランダム研磨車, 粒度 60, 硬度 K である。

研磨車を 1 回ごとに軟鋼の齒車の附いたドレツサーで磨いて寫眞を撮る。この操作を怠ると前の實驗の場合に附着した鋼粉から發した火花が混入して結果を誤らせる。

中谷氏²⁷⁾ は研磨車に黒鉛を塗附して軟鋼の火花を出させると硬鋼の火花を發生する事實を指摘して居られる。この事實より研磨車面の清淨の大切な事が分る。

VIII. 諸外國の實驗裝置

文獻に依ると火花試驗用研磨機の回轉數並に周速度は第4表の如くである。直径 30~50 mm 邊の小さい研磨車を 13,000~15,000 の高速度で回轉させてゐるものが多い。

Buzzard¹⁸⁾ は火花の寫眞を撮るのに活動寫眞機を使用した。W. Baukloh²⁸⁾ は Summar 1.5 のついたコンタククス寫眞機を用ひ、フィルムはアグファ, イゾパン・ウルトラを使用した。

第 4 表

砥石の形格	回転数 (r.p.m)	周速度	研究者
1 1/4 x 3/8 in (32mm x 10mm)	15,000	5,000ft/mn	R. W. Buzzard ¹⁸⁾
1 1/4 x 3/8 x 1/4 in	15,000	5,000 "	Hildorf ¹⁹⁾
—	3,600	—	Enos ⁹⁾
dia: 125mm	3,000	20m/s	W. Baukloh ²⁶⁾
1 1/4 x 3/8 x 1/4 in	—	3,500ft/mn	Hildorf & McCollam ¹⁷⁾
—	—	以上	O. Pattermann ²⁷⁾
—	—	20m/s	O. Pattermann ²⁷⁾
dia: 2in (51mm)	16,000	8,000ft/mn	F. R. Palmer ²⁸⁾
dia: 8in (203mm)	3,600	7,500ft/mn	F. R. Palmer ²⁸⁾
Carbo-emery	13,000	—	Iron Age ²⁴⁾
dia: 1 1/2in (39mm)	~15,000	—	Iron Age ²⁴⁾
アランダム	3,400	—	G.E. Gordon and E. A. Reid ²⁹⁾
直径: 6in (153mm)	3,400	—	G.E. Gordon and E. A. Reid ²⁹⁾

第 5 表

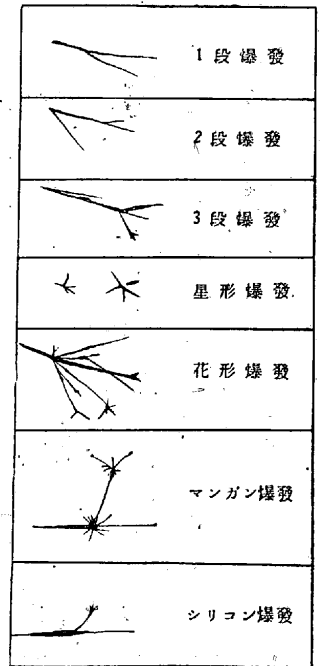
久保氏	野田, 田宮氏
Stream burst 流花	Series burst 連鎖破裂
Flower burst 散花	Flower burst 花型破裂
Spear burst 尖花	Spear point 槍先
Tongue burst 剣花	Tongue 舌片
Jacket burst 包花	Jacketing effect ジャケット効果
Bud 蕾	Bud 芽
Star 星	Star 星

佐草英雄氏³¹⁾は火花を分類して花瓣, 葉, 花形等の概念を用ひられた。

筆者等の考では火花全體を總括して表現する術語を用ひるより, 特殊な形態を捕へて命名する方が實用上の便利も多いと思はれる。即ちマンガン鋼, シリコン鋼特有の火花等は特定の名稱を付する方が便利である。

筆者は英語の burst に當る術語を爆發と呼ぶ事にし, 火花の形態を次表の如くに區別する。

炭素鋼並に特殊鋼 { 枝形爆發
1段爆發
2段" "
3段" "
.....
星形爆發
花形爆發
特殊鋼 { マンガン爆發
シリコン爆發
振動型火花



第5圖 火花の形と名稱

茲に星形爆發は star burst に當るもので, 花形爆發は1箇所より多數の枝の生ずるものである。

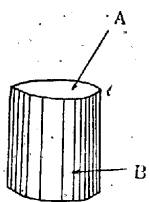
IX. 火花發生に関する通則

a) 研磨車の圓周速度が増すと火花を出し難い材料も火花を發生する。元來火花を發生する材料では火花の數と長さが増加する。但火花の形態と色には變化は無い。これは研磨車の直径を變へて實驗してみると明かである。筆者はこれを豫め確めた。

試料を壓へる力を増加すると, 同様に火花の數と長さが増す。實驗装置中の重錘 W を變へてこの事實を確めた。

b) 試料が細いと火花を出し易い。鑄造試料の湯口の所に耳が出てゐて厚さ 2mm 位のものであつたが, それを研磨機で研磨すると著しく火花を出し易かつた。溫度が上昇し易い爲であると思ふ。太い試料に於ては傳導により熱が逃げ去るので溫度が上らないので火花が出難いのであらう。

e) 周圍の錆びてゐる試料を研磨機で研磨してみたところ, 第4圖の A 面の如く光つた所よりも, B 面の如く錆のある所の方が火花を多量に發生するのが認められた。



第4圖 試料の錆

その理由として, もともと切粉の中に酸化物が混入してゐると, 酸化作用は單に空氣中の酸素でひき起される場合よりも激しくなるものと考へられる。

X. 火花の形態とその名稱

研究並に實用上火花の形態を分類して名稱を附す必要を感じる。

從來日本に於ては久保正氣氏²¹⁾が英語の術語に譯語を附した。Buzzard の報告¹⁸⁾に對して野田一六, 田宮信一兩氏²⁵⁾も譯語を呈出した。各成分の特色を示す火花形態に就ての原語と譯語を對比して表示すれば次の如くである。

XI. 炭素鋼の火花

炭素鋼火花の大體の傾向として炭素量の増加と共に小枝の數が増し, 枝形爆發が複雑化して來る。C 0.4% 以上になると「花形爆發」も現はれる。C 0.7% 邊までは輝きを増すが, 0.7% を越すと全體として暗くなり火花線が細くなるやうである。

1. **アームコ鐵** 火花には枝形爆發は無い。但火花線中に方向の曲るものがあるが, これは寫眞にうつらぬ爆發がある爲であらう。

第6圖中の點線はこれを示す。成分の分析結果は第6表の如くである。

第6表 アームコ鐵の成分

C%	Mn%	Si%	P%	S%
0.015	0.005	tr.	0.020	0.020

第6圖 方向の曲る火花

以下の實驗試料はスエーデン鋼壓延材であつて、分析結果の一例は第7表の如くである。

第7表 スエーデン鋼分析例

指定炭素量	分析結果				
	C%	P%	S%	Si%	Mn%
0.1	0.13	0.028	0.030	tr.	0.31
0.1	0.11	0.014	0.026	0.07	0.40
0.2	0.24	0.018	0.017	0.02	0.45
0.3	0.34	0.021	0.020	0.28	0.45
0.4	0.40	0.022	0.019	0.26	0.35
0.5	0.50	0.025	0.026	0.24	0.45
0.6	0.61	0.024	0.034	0.26	0.19
0.7	0.70	0.026	0.027	0.26	0.22
0.8	0.82	0.023	0.020	0.25	0.27
0.9	0.92	0.024	0.035	0.27	0.25
1.0	1.01	0.028	0.024	0.21	0.17
1.1	1.10	0.028	0.027	0.27	0.19
1.2	1.21	0.027	0.027	0.23	0.25

2. 0.1% C 鋼

殆ど枝形爆發がない。稀に小さい枝を示す。方向の曲る火花もある。

3. 0.2% C 鋼

枝形爆發が現はれる。2 段爆發もあるが大多数は1 段爆發である。

4. 0.3% C 鋼

枝形爆發は更に複雑化し、2 段爆發が多い。3 段爆發も混入してゐる。星形爆發もある。

5. 0.4% C 鋼

3 段以上の枝形爆發を示す。花形爆發も現はれる。

6. 0.5% C 鋼

4 段以上の枝形爆發が普通である。花形爆發も見られる。

7. 0.6% C 鋼

0.5% C 鋼と殆ど變らないが、多少花形爆發が多いやうである。火花線の數が増してゐる。

8. 0.7% C, 0.8% C, 0.9% C, 1.0% C, 1.1% C,

1.2% C 鋼

形態は殆ど變らないが、次第に輝きが減少してゐる。炭素鋼の火花を寫眞に撮つてみれば、0.1% C の差が分るが肉眼でみて瞬間的に判斷する事は著しく困難であ

らう。C 0.4% 以下ならば比較的判斷は容易であるが、C 0.5~0.7% の邊はかなり熟練を要し、C 0.7%~1.2% は殆ど區別がつかないと思はれる。

炭素鋼の火花を表示すれば第8表の如くである。

第8表 炭素鋼火花表

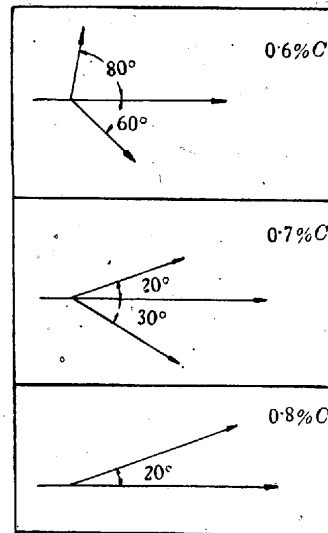
成分	枝形爆發				星形爆發	花形爆發
	1段	2段	3段	4段		
アームコ	-	-	-	-	-	-
0.1% C	+	-	-	-	-	-
0.2% C	+	-	-	-	-	-
0.3% C	+	+	-	-	+	-
0.4% C	+	+	+	-	+	+
0.5% C	+	+	+	+	+	+
0.6% C	+	+	+	+	+	+
0.7% C	+	+	+	+	+	+
0.8% C	+	+	+	+	+	+
0.9% C	+	+	+	+	+	+
1.1% C	+	+	+	+	+	+
1.2% C	+	+	+	+	+	+

記號 (-) なし; (+) あり。

XII. 硬鋼の火花形態と炭素含有量との關係

C が 0.7% 以上になると瞬間的に火花に依つて炭素含有

量の判定は出来ない。併しこれを寫眞に撮つてみると種々の特色が目につく。一般的に云へば枝の分れる角度が C % の増大と共に減少する。C % が高くなると火花線に垂直な方向から次第に遠ざかる。



第7圖 硬鋼の火花の形と炭素量の關係

この如き枝分れ角度と C % との關係の一例を第7圖に示す。この圖示はこの角度の枝分れのも

のがその成分で多い事を示すもので、これと別の角度のものは絶対に現はれないといふ意味ではない。

XIII. 中炭素マンガン鋼の火花

試料は第9表の成分を有し、鑄造の儘で火花をみた。

第 9 表		1	2	3	4	5
番號		1	2	3	4	5
C%		0.8	0.8	0.5	0.5	0.5
Mn%		5.0	8.0	8.0	10.0	13.0

炭素鋼の火花とマンガン爆發とが混在してゐる。No. 2

(C0.8%; Mn 8.0%) と炭素鋼の C0.8% のものとは比較してみると火花線の先端部が Mn の影響によつて著しく分裂してゐる。

先端が分裂する現象は炭素鋼に於ては C% を 0.9% 以上に増加しても生じない。従つてこれは専ら Mn に依る影響であらう。

中炭素 (C0.5%, 0.8%) のマンガン鋼に於ては所謂マンガン爆發は未だ鮮かに現はれない。C を更に増加し 1.2% 位にすると微かい毛狀火花が減少して鮮明なるマンガン爆發が現はれる。θ は 30° 邊であり、0.8% C 鋼のそれと大差がない。



第 8 圖 C0.8%; Mn 8.0% 鋼に現はれたマンガン爆發の形態

發が現はれる。θ は 30° 邊であり、0.8% C 鋼のそれと大差がない。

XIV. 高炭素マンガン鋼の火花

試料の成分は第 10 表に示す。

番号	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5
C%	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Mn%	1	3	6	8	13.5
状態	鑄造の儘	同左	同左	同左	壓延材

Mn% が増すとマンガン爆發が現はれる他、炭素鋼特有の枝形、星形火花が減少する。

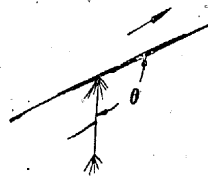
M 1 の火花を C1.2% の炭素鋼の火花と比べてみると、稀に典型的なマンガン爆發を混じてゐる他に、明るさが著しく増大してゐる。

M 2, M 3 となると火花線はいよいよ明るくなる。M 3 になると炭素鋼の如き花形爆發が減少し、それと共にマンガン爆發がいよいよ典型的に現はれる。

M 4 になると炭素鋼の火花殊に花形爆發とマンガン爆發とを混じてゐるが、枝形爆發の角度は 0.7% C の炭素鋼の角度に等しい。

M 5 になると枝形爆發の角度が著しく減少し、花形爆發も見られない。炭素鋼の火花もマンガン爆發も殆ど見られない。丁度アームコ鐵の火花と似て来る。但先が粗く開いた特殊な火花を混じてゐる。その他極少量の短かいマンガン爆發もある。M 5 の火花が特別に變つてゐるのは M 1, 2, 3, 4 と異り、これだけがオーステナイト組織である事と関係があるのではなからうか。今各成分の Mn 鋼に於けるマンガン爆發の出方、即ち圖の θ の變化を調べてみると

火花の飛ぶ方向



第 9 圖

高マンガン鋼の火花

も現はれる。

θ が Mn% に従つて變化してゐる事が分る。Mn% が同一でも θ には種々の變化があるので第 11 表には θ の極大を示す。但これは最も多量に現れるマンガン爆發に関するもので稀に更に大きい θ を有するマンガン爆發

第 11 表

C%	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Mn%	1	3	6	8	13.0
θ _{max}	30°	60°	120°	60°	ナシ

但 C1.2%; Mn 13.0% の試料でも壓延せぬ、鑄造の儘のものより出る火花は θ=90° 邊のマンガン爆發を示す。この差違は重要である。

これらを總括すると第 12 表が得られる。

第 12 表

C%	Mn%	枝形爆發	マンガン爆發	花形爆發
1.2	0.5	+	-	+
1.2	1.0	+	+	+
1.2	3.0	+	+	+
1.2	6.0	+	+	+
1.2	8.0	+	+	+
1.2	10.0	+	+	+
1.2	13.0	+(殆無)	-	+(殆無)

+……あり、-……なし。

Mn が熔融鑄鐵の流動性を増大せしめる點に關しては齋藤、松川兩氏の實驗⁴⁾がある。又普通鑄鋼作業に従事せる人々の意見に依るも Mn は熔鋼の流動性を増大せしめる。熔鋼の表面の酸化鐵膜の状態に Mn が著しい影響を及ぼす事實は製鋼工場に於て屢々經驗する所であるが、それが如何なる性質のものか未だ明かになつてゐないやうである。

炭素鋼の火花形態に及ぼす Mn の影響は Mn の熔鋼並に酸化鐵膜に及ぼす作用が明かにさるれば或る程度明かになる性質をもつものと考へられる。

Mn 鋼の火花を通觀すると C% が増すと Mn の特色があきらかになる。Cr 鋼の火花でも C% の高い程 Cr の影響が明かになる事實がある。

XV. 珪素鋼の火花

Si は炭素鋼の火花を抑制する。その爲に所謂シリコン爆發を示す。これは火花粒子の表面に發生する酸化膜中に出來る SiO₂ が流動性をもたず、堅い爲であらう。實驗せる試料は鑄造の儘で第 13 表の成分である。

第 13 表

C%	Si%	Fe%	火花發生	C%	Si%	Fe%	火花發生
0.2	1.0	殘	+	0.8	5.0	殘	+
0.2	3.0	"	+	0.8	8.0	"	-
0.2	5.0	"	+	0.8	10.0	"	-
0.2	10.0	"	-	0.8	15.0	"	-
0.3	3.0	"	+	0.8	25.0	"	-
0.8	3.0	"	+				

+……あり；-……なし。

C%の高低に關せずSiが5%以上になると火花を發生し難くなる。

Si鋼の火花には殆ど枝がない。火花線の長さも短かく所々ふくらんでゐる。そのふくらみから毛のやうな小さい枝が出てゐる。Si%が1%より5%にも増せば火花線の長さがかなり短くなる。

C0.2%, Si3.0%の火花とC0.3%, Si3.0%の火花とを比較してみると、C%の増加に伴ひ多少後者に小枝が増す。

C0.2%, Si1.0%の火花は1.2%位の高炭素鋼より枝形、花形爆發を除去したもののやうである。一般に炭素鋼の火花よりも少し明るい。

高爐に於て銑鐵を出す場合に、爐内溫度が低いとSが高くなり殊に0.06%以下であるべきものが、0.08~0.1%にも昇る場合には湯路に於て毛のやうな小さい火花が澤山出ると云はれてゐる。これはSの高い場合に於てはSiが低い爲に研磨機火花發生と同様の機構によつて火花が盛に出るものと思はれる。蓋しS0.08~0.1%にもなる場合にはSiは1.0%附近に降りがちであるからである。熔銑に於てもSi3%以上に昇ると火花は餘り出ない。

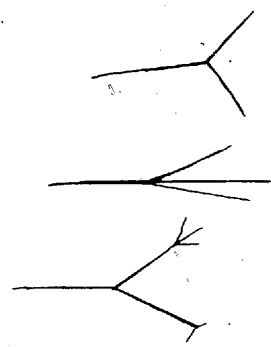
XVI. 珪素マンガン鋼の火花

火花を調べた試料の成分は第14表の如くて鍛造してある。

第 14 表

	C	Si	Mn	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
C	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Si	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mn	0.5	1.0	1.25	1.5	0.5	1.0	1.25	1.5	1.5

Si-Mn鋼の火花の特色はSi鋼、Mn鋼自體の火花とは全然別個の形態を示す點にある。大きく枝が分岐するSi-Mn爆發とも云ふべき独自の火花を示す。R. W. Buzzard¹⁸⁾の用語を借りればsplit tongueである。即ち一般的に言へば火花の形態の上に関しては成分各個の作用が別々に現れる事もあるが、かやうな加法的作用(additive Wirkung)を示さぬ事もある。この場合Siは炭素鋼の火花の發現を抑制しMnはSiの作用を打消すやうに作用する。



第 10 圖 Si-Mn 爆發

C0.3%, Si1.0%, Mn1.5%
鋼の例をみるに、MnのないC0.3%, Si1.0%鋼の火花と異なり、枝形爆發及び花形爆發が現はれてゐる。

C0.3%, Si1.0%, Mn0.5%の鋼に於てはSiの効果が大きくきいて來て、0.3% C炭素鋼の枝形爆發を示さないで「シリコン爆發」を示してゐる。C, Siの含有量を同一に保ちMnを1.0%に高めると先にSi-Mn爆發と云つた火花を示す。更にSi1.0%にてMnを1.5%に増すとSiの効果はいよいよ打消されて炭素鋼特有の多段爆發が現はれる。

C0.3%, Mn1.5%の鋼でSiを1.0%より1.5%に増せば再びMnの効果は消えて多段爆發は現はれなくなり、「シリコン爆發」が現はれて來る。

XVII. ニッケル鋼の火花

第15表の成分のニッケル鋼の火花を調べる。試料は鑄造の儘であつた。

第 15 表

番號	N 1	N 2	N 3
C%	0.8	0.8	0.8
Ni%	4	15	25

先づN1を0.8% Cの炭素鋼の火花と比較してみる。N1の火花の中には一點から非常に多數の枝の放射される花形爆發が多數現はれてゐる。かやうな花形火花はC0.8%の炭素鋼中にも現れる事があるが、N1の方に多數現はれてゐる。Ni鋼の火花には花形爆發が多いが、Mn鋼の火花のやうに枝から更に枝が出る事が少い。

N1, N2, N3を比較してみると殆ど差違がなく、肉眼で瞬間的にみた時には炭素鋼との區別がつかないであらうと思ふ。

炭素鋼に比してニッケル鋼の火花流線の數は減少する。C0.8%, Ni4%ではC0.8%炭素鋼と大差ないが、Ni12%になるとかなり流線の數は減じてゐる。

R. W. Buzzard¹⁸⁾によるとNi鋼火花の特色は“Jacket”と“split tongue”であり、これはC0.85%以上になると認められないとした。筆者の實驗に於てはC0.8%であつたが爲にNiのかゝる作用は認められなかつた。鑄造の儘では一般に火花の特色の現はれ方が悪いのかも知れない。

筆者は別に第16表の2鋼種の火花に就てNiの影響を

第 16 表

鋼種	C	Si	Mn	B	S	Ni	Cr	Co
肌焼鋼	0.15	0.14	0.64	0.018	0.029	2.81	0.14	0.28
構造用鋼	0.32	0.22	0.39	0.035	0.024	2.97	0.89	—

みた所 Ni による火花流線の膨大部の出現, Jacketing effect 及び split tongue が現はれた。

第 11 圖 ジャケット効果の圖解

従つて Ni の特色は C% が高くなると消失する事を結論し得る。

寫眞に就て精細に検討してみると N2, N3 に於ては Ni のジャケット効果が現はれてゐる。即ち舌片の根本を包む苞のやうな火花が現はれる。

XVIII. クロム鋼の火花

次表の如き成分のクロム鋼の火花を鑄造の儘で調べた。

第 17 表

番號	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4
C%	0.8	0.8	0.8	0.8
Cr%	3	7	10	15

Cr% の變化の影響が餘り明かでないのは、鑄造の儘である爲であらう。鍛造するといふ事が、かなり重要な条件に見える。

Cr 1 を C 0.8% の炭素鋼と比較してみると、Cr 1 の方が Split Tongue を餘計に生じてゐる。

Cr 2, Cr 3 と Cr% が増すと火花流線の數が減少するが、split tongue を生ずる傾向は益々はげしくなる。それと共に花形爆發は減少する。Cr 4 になると枝形爆發も花形爆發もみられなくなり Si 鋼に似た形となり、火花流線の數が著しく減少する。

Cr 1, Cr 2, Cr 3 に於ては白色の星形爆發を混じてゐる。

Cr 鋼には振動する火花のある事は既にのべた。

XIX. Fe-Cr-Mn 合金の火花

實驗試料は鑄造の儘で、全部低炭素(0.1%以下)である。従つて全體として火花は少い。しかもその中にはアーマコ鐵よりも遙かに火花量の少いものさへある。

第 18 表の成分の合金の火花發生能力を調べたが、その能力の表示記號を次の如くに定める。試料は鍛造してあるものと鑄造の儘のものとのある。

×…… 1s 露出の場合殆ど寫らぬもの。

△……火花が極めて少ない。1s 露出で 1 本位うつる事がある。

△……火花が少ない。1s 露出で 1~3 本うつる事がある。

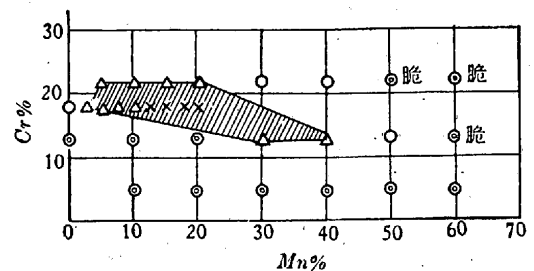
○……更に多い。

◎……火花がかなり多く、1/50s 露出でも充分にうつるものである。

第 18 表

番號	Cr%	Mn%	Fe%	火花發生能力	備考	
CM 1	5	10	殘	○		
" 2	"	20	"	◎		
" 3	"	30	"	◎		
" 4	"	40	"	◎		
" 5	"	50	"	◎		
" 6	"	60	"	◎		
" 7	13	0	"	◎	この系列のものは 1/25s 露出では餘りうつらぬが 1s ならうつる。白っぽい輝く火花を出す。アーマコ鐵よりも火花の量はかなり少ない。	
" 8	"	2.5	"	◎		
" 9	"	5.0	"	◎		
" 10	"	7.5	"	◎		
" 11	"	10.0	"	◎		
" 12	"	12.5	"	◎		
" 13	"	15.0	"	◎		
" 14	"	17.5	"	◎		
" 15	"	20.0	"	◎		
" 16	—	30.0	"	△◎		白色火花少量
" 17	—	40.0	"	△		同上
" 18	—	50.0	"	○	白色火花	
" 20	—	60.0	"	◎	マンガン火花。材質脆し	
" 21	18	0.0	—	△	Cr 18% 系列の火花は赤色である。鍛造して 1h 焼鈍して水焼入したものと鑄造の儘のものとの比較してみると、多少鑄造の儘のものの方が火花を出し易い。	
" 22	"	2.5	—	△		
" 23	"	5.0	—	△		
" 24	"	7.5	—	△		
" 25	"	10.0	—	△	材質が脆くマンガン爆發を示す。	
" 26	"	12.5	—	×		
" 27	"	15.0	—	×		
" 28	"	17.5	—	×	白色火花。少量。 同上「がみえる。」 同上。Cr の星型爆發	
" 29	"	20.0	—	×		
" 30	22	5	—	△		
" 31	"	10	—	△		
" 32	"	15	—	△		
" 33	"	20	—	△		
" 34	"	30	—	○		
" 35	"	40	—	◎		
" 36	"	50	—	◎		
" 37	"	60	—	◎		

これらの結果を圖示すれば第 12 圖の如くである。圖中の施影の所は火花を發生し難い區域である。圖中に脆と記



第 12 圖 鐵, クロム, マンガン合金の火花

した成分の試料は極めて脆く研磨機で擦るだけでくだける如きものである。火花が光輝を發する事も亦著しい。

その場合の火花の中には *Mn* 爆發の微かい形のものが多量に現はれてゐる。

この火花發生能力の小さい区域内の試料も研磨機と同轉數を増加すれば火花を發生すると考へられるが、この区域内と區域外との著しい差違はその儘保存される事と思ふ。

この火花發生能力の弱い區域と組織との關係に就ては後で述べる。

Fe-Cr-Mn 合金の火花發生能力と硬度の關係

以上の如き火花發生能力の低い所は硬度が低いのではないかと考へられたので、ロツクウエル硬度を調べてみた。事實はその邊で反つて硬くなつてゐる。

第19表 Fe-Cr-Mn 合金の硬度

Cr %	Mn %	ロツクウエルC (1)	ロツクウエルC (2)
13	0	50.1	—
"	0.25	53.6	—
"	5.0	45.5	—
"	7.5	35.4	—
"	10.0	22.0	—
"	12.5	23.8	—
"	15.0	19.7	—
"	17.5	21.9	—
"	20.0	18.3	—
18	0	12.5	83.1
"	0.25	25.8	—
"	5.0	23.4	97.5
"	7.5	23.6	99.0
"	10.0	24.5	—
"	12.5	28.2	98.6
"	15.0	20.5	98.5
"	17.5	19.8	94.3
"	20.0	20.8	—

記號 (1) 鑄造の儘 (2) 1,100°C×1h 水中急冷

以上の結果に徴するに火花發生能力の小なる區域と硬度との間に明確なる法則的關係は認められなかつた。一般に僅少なる硬度の差違は火花發生能力に影響せぬと云へるであらう。

XX. 鑄 鐵

白鉄 (C 3.0%, Si 0.8%, Mn 0.8%, P 0.5%, S 0.12%) と鼠鉄 (C 3.4%, Si 2.8%, Mn 0.8%) とを比較してみる。

白鉄は鼠鉄よりも硬いのに火花を出す事が少ない。その理由として白鉄中の炭素がセメントタイトの形態で存在する事が考へられる。即ちセメントタイトの分解にエネルギーが消費されるので火花を發生する迄に行かないのであると考へられる。

窒化鋼の表面が火花を發生し難いのも同様理の由であると考へられる。一般にセメントタイト、窒化鐵の如き化合物は比較的火花になり難い。

白鉄の火花は赤く、こまかく擴がらない。

鼠鉄の火花は美しく輝く。火花線の數は C 1.2% の炭素鋼よりも更に多い。

XXI. クロム鑄鐵の火花

實驗試料の成分は第20表の如くである。

第20表

	T.C %	Cr %	Al %	Si %	Mn %	P %	S %
1	2.7	1.5	0.5	2.5	0.6	0.2	—
2	"	"	1.0	"	"	"	—
3	"	"	1.5	"	"	"	—
4	"	"	2.0	"	"	"	—

これらの試料は鑄造の儘では、火花の數はアームコ鐵よりも更に少ない。而も Al % の増加する程火花の數が減少する。これはアルミナ被膜の流動性の悪い事に歸因するのであらう。組織を調べてみても Al の影響は殆ど認められない。すべてレデブライトとセメントタイトよりなる組織を示した。

膨脹計試験の目的で 900°C 迄2回加熱したものを火花試験してみると、火花流線の數が著しく多くなる。この場合の組織を調べてみると、セメントタイトが分解して黒鉛が現はれてゐた。火花の増加は黒鉛の出現によるものと思はれる。この性質により黒鉛化 (graphitisation) の進行を火花試験によつて測定し得る。故に本試験方法は可鍛鑄鐵製造に應用し得る。

XXII. 非發火性合金

米國の Bureau of Standards¹⁸⁾ で市販の非發火性合金の分析を發表した。この種の合金は Ni-Cr 合金系と高速

第21表 Ni-Cr 系非發火性合金一覽表

商 品 名	C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %
GA	0.55	—	—	15.00	35.00
F	0.55	—	—	15.00	25.00
B28	0.66	—	—	26.00	8.00
G	0.55	—	—	20.00	8.00
BLC	0.55	—	—	20.00	8.00
N	0.55	—	—	17.00	68.00
B	1.20	—	—	20.00	8.00
2825	0.24	0.35	0.35	28.00	—
55	0.25	0.70	—	28.96	0.334
44	0.43	1.37	—	23.50	11.10
Bezistal	0.20	0.57	2.79	17.54	25.20
Nichrome	0.20	2.00	—	16.00	60.00
Nichrome IV	0.15	—	0.25	19.50	77.50
RE3	0.19	0.58	1.34	24.50	20.00

度鋼系のもののみである。これを2組に整理して示せば第21表、第22表の如くである。但商品名CN2及びClarite、CP12には分析が示していない故に省略する。

第22表 高速度鋼系非発火性合金一覽表

商品名	C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	V%	W%	Co%	Ni%
Dreadnaught	0.55	0.27	0.30	3.48	—	1.03	17.08	—	—
U3	0.33	—	—	3.50	—	0.50	10.00	—	0.5
CruEX12	0.25	—	—	3.50	—	1.00	18.00	—	—
A	0.75	—	—	4.80	0.80	0.50	18.00	0.42	—
Cyclops B6	0.68	0.30	—	4.00	—	—	18.00	—	—
V2	0.70	—	—	4.00	—	1.00	18.00	4.50	—
B1	0.70	—	—	4.00	—	1.00	18.00	4.50	—
Vuleau	0.70	0.40	0.30	4.00	—	1.00	18.00	—	—
Mercury	1.54	0.39	—	1.00	—	—	5.00	—	—

これらのNi-Cr系合金の成分をFe-Ni-Cr系状態圖(使へばE. C. Bain, W. E. Griffithsのもの)に描いてみると殆ど γ 相区域内にある。

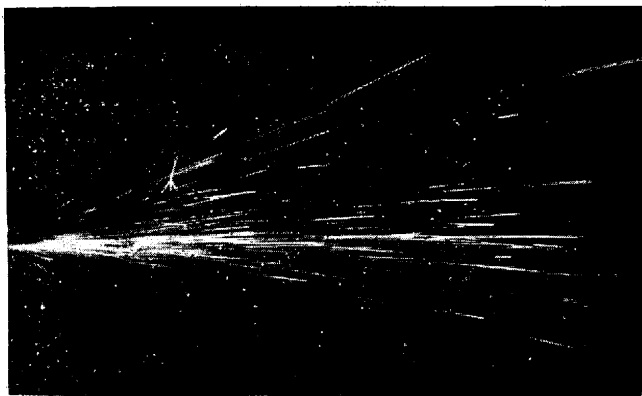
— 又高速度鋼系合金の成分は、第2と第9以外は大體18—

4-1型高速度鋼の成分に近いので、その組織はオーステナイトと炭化物よりなるものと思はれる。且既述の如く炭化物は火花を出し難い。

以上の如くに大體に於て非発火性合金の組織がオーステナイト組織である事は非発火性と云ふ點とオーステナイト組織との間に何らかの聯關の存在するのではないかとの疑を抱かせるものである。

既述のFe-Cr-Mn合金の發火性の小なる區域は大體に於てオーステナイト組織の區域にあるが、多少はみ出してゐる。

従つてオーステナイト組織が一義的に發火性の減少を結果するとは云へないが、13% Mn鋼に於て既にオーステナイト組織の出現により高炭素にも係らず火花發生が著しく阻止せられてゐる事をみたのであるから、兩者の間に多少の關聯を推定しても宜しいと思ふ。



第13圖 C0.1% (Si 痕跡, Mn 0.31)



第14圖 C0.2%



第15圖 C0.3%



第16圖 C0.4%



第17圖 C0.5%



第18圖 C0.6%



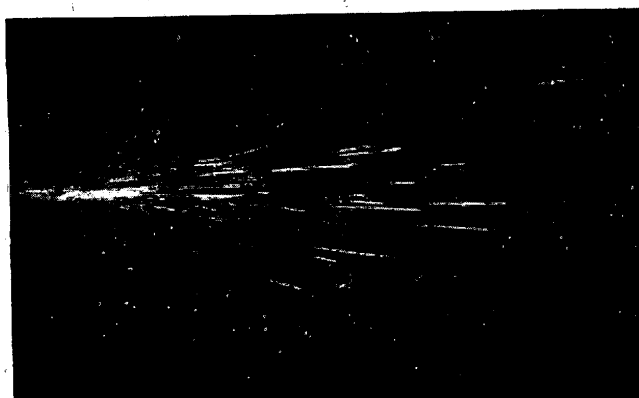
第19圖 C0.7%



第20圖 C0.8%



第21圖 C0.9%



第22圖 C1.1%



第23圖 C1.2%; Mn1%



第24圖 C1.2%; Mn3%



第25圖 C 1.2%; Mn 6%



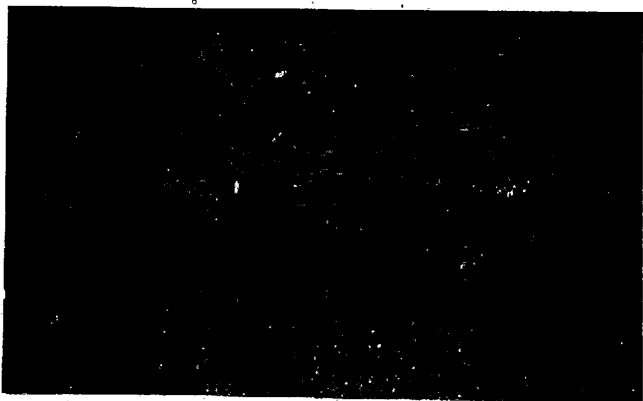
第26圖 C 1.2%; Mn 13%



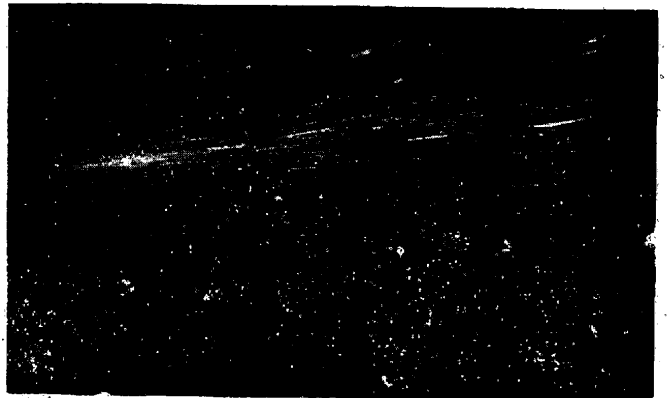
第27圖 C 0.8%; Mn 8.0%



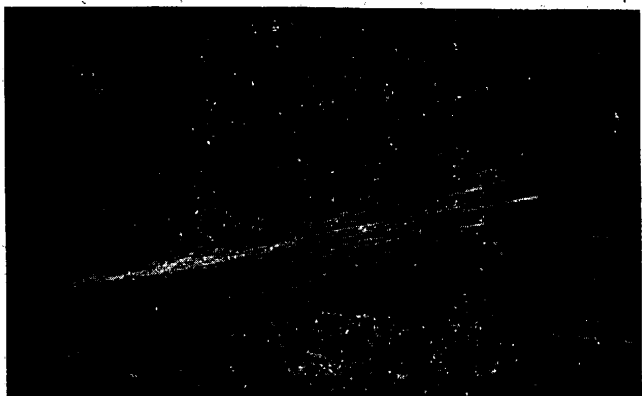
第28圖 C 0.2%; Si 3.0%



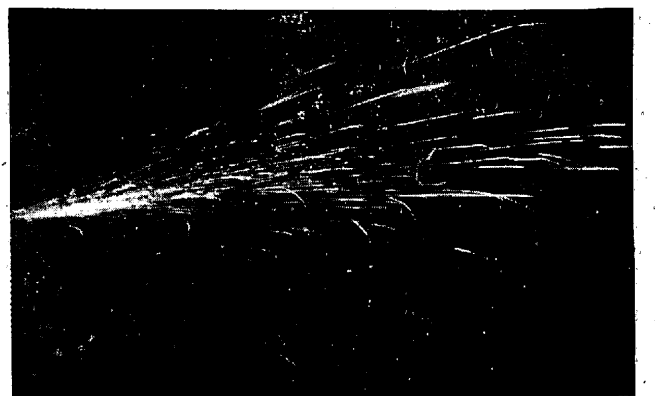
第29圖 C 0.2%; Si 5.0%



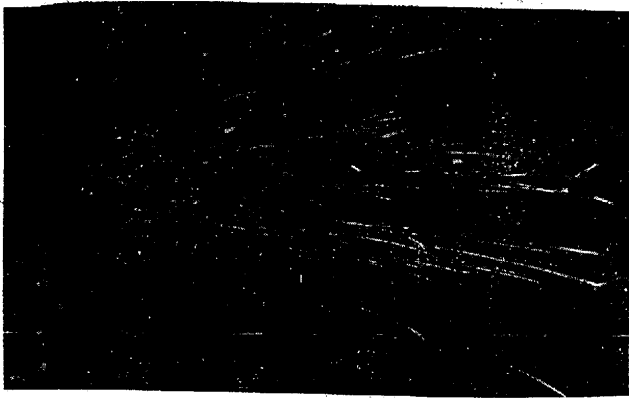
第30圖 C 0.2%; Si 1.0%



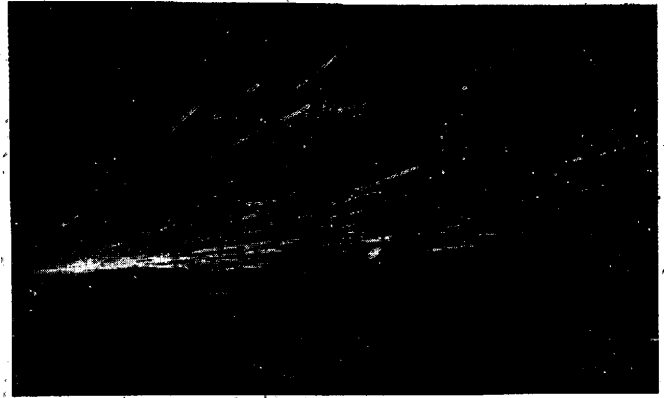
第31圖 C 0.3%; Si 3.0%



第32圖 C 0.3%; Si 1.0%; Mn 1.0%



第 33 圖 C 0.3%; Si 1.0%; Mn 1.5%



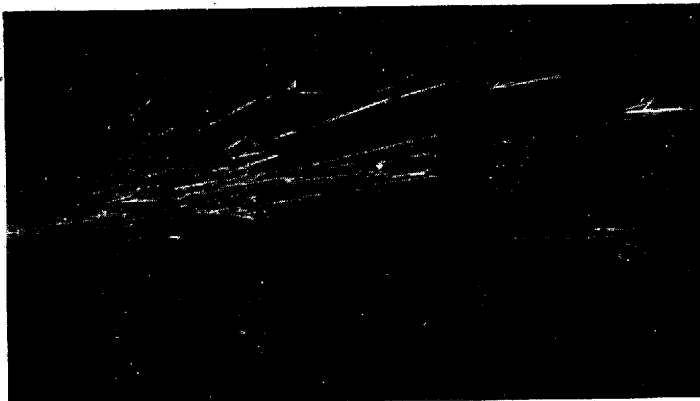
第 34 圖 C 0.8%; Ni 4.0%



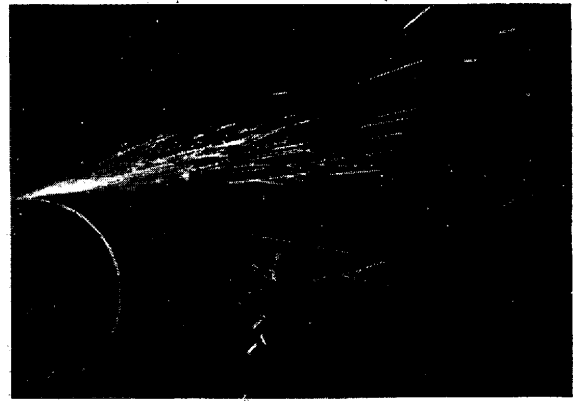
第 35 圖 C 0.8%; Ni 12%



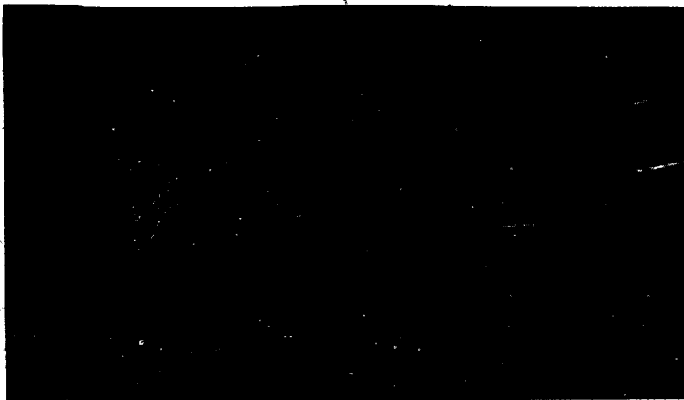
第 36 圖 C 0.8%; Ni 25%



第 37 圖 C 0.8%; Cr 7%



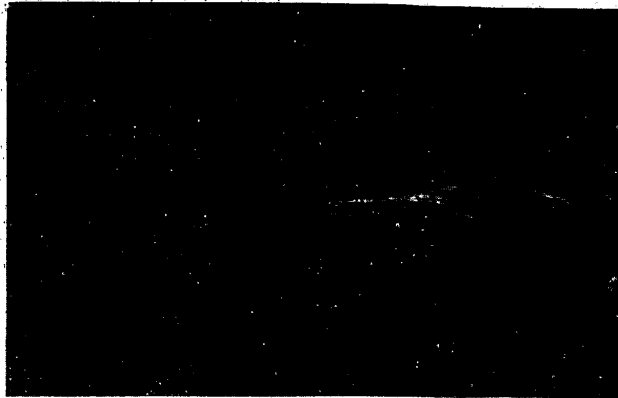
第 38 圖 C 0.8%; Cr 10%



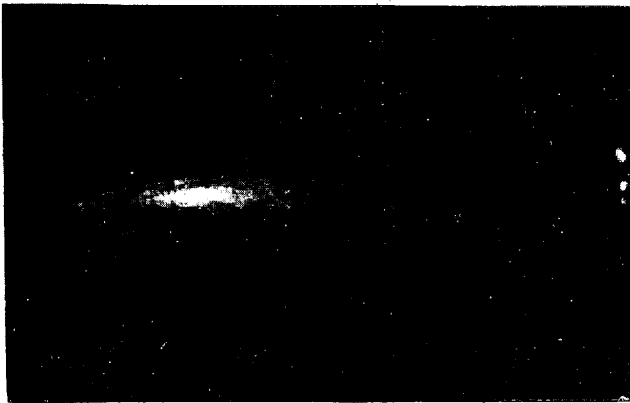
第 39 圖 C 0.8%; Cr 15.0%



第 40 圖 鼠銃, 露出* 1/25s



第41圖 白鉄, 露出* 1s



a) 鑄造の儘



b) 900°Cにて焼鈍せるもの。

第42圖 クロム鑄鐵の火花(Cr 15%, Al 0.5%) 露出 1s, F 3.5 開放, フィルムさくら U.S.S.

XXIII. 結 論

鋼材の火花試験の精密度を調べる目的で火花の寫眞をとつて研究した。

a) 炭素鋼に於て火花の形によつて $C\%$ の判定し得るのは、 0.6% 以下である。硬鋼の火花の形には $C\%$ の變化による差違は殆どない。これらの関係を詳細に調べた。

b) Mn 鋼に於ては、組織がオーステナイトになると火花の形が著しく變る。 Mn は火花を増加する。

c) Si 鋼に於ては Si が火花發生を阻止する。

d) Ni 鋼に於ては Ni は火花を減少せしむると共に特有なジャケット効果を生ずる。

e) Cr 鋼に於ては Cr は火花の尖端を分岐させる。 $Cr\%$ がますと火花流線の數はへる。

f) $Si-Mn$ 鋼に於ては Si と Mn の火花の形に對する作用が反對である爲、その平衡状態よりの偏倚によつて火花は種々の形を現はす。従て Si 鋼、 Mn 鋼の火花と違つた形の火花が $Si-Mn$ 鋼に於て現はれる。

* 鑄鐵の火花寫眞に於ては露出時間に注意せられたし。共に F 3.5 開放で、フィルムはさくら U.S.S. である。

g) $Fe-Cr-Mn$ 合金に於ては C を含有してゐない爲一般に火花は少ないがある成分區域に於て火花を生じ難い性質を示す。この區域は硬度とは無關係である。その區域は大體 γ 相區域にあたる。

h) 白鉄と鼠鉄との火花を比較してみ、セメントタイトの如き化合物は火花量が少く、黒鉛は火花を多量に生ずる事を知つた。火花試験によつて黒鉛化及び窒化の進行を測定し得る。

i) クロム鑄鐵の火花を調べる事により、黒鉛化と火花との關係を知つた。又同じクロム鑄鐵でも Al の存在は火花を減少させる事を知つた。これは火花發生と酸化被膜の流動性との關係を示すものである。

j) 米國市販の非發火性合金の成分を調べ、これらが殆ど $Ni-Cr$ 合金及び $Fe-W-Cr$ 合金でオーステナイト組織及び炭化物よりなる事を知つた。

k) 鑄造の儘では火花の特色が充分現はれず、判定に混亂を招く事が多い。

終りに臨み文獻を拜借させていただいた北大教授中谷宇吉郎博士、又種々御助力を仰いだ日産自動車株式會社吉城肇蔚氏に深く感謝する。

文 獻

第 I 部 火花の工業的試験

- 1) Jacques de Manson: *Traite du Fer et de l'Acier*; Paris p. 290 (1804)
- 2) P. K. v. Engelmeyer: "Untersuchung von Schmiedeeisen, Stahl und Gusseisen an der Schmirgelscheibe" *Uhlands Technischer Rundschau* vom 3. Oktober (1889)
- 3) M. Bermann: *V. D. I. Zeitschrift* **53** (1909) 171, 1458
- 4) O. Thallner: "Die Funken als Erkennungszeichen der Stahlsorten", *Stahl und Eisen* **29** (1909) p. 1116/18
- 5) 無名氏: "Question Box. Question No. 36." *T. A. S. S. T.* **2** (1921-22) p. 1052-54
- 6) 無名氏: "Steel and their Sparks", *Metal Industry*. **20** (1922) p. 549/52
- 7) E. Pitois: *L'Essai aux étincelles*; Paris (1924)
- 8) E. Pitois: *V. D. I. Nachricht*, Nr. 30 (1924)
- 9) G. M. Enos: "Notes on the Sparktesting of Steel"; *Trans. A. S. S. T.* **12** (1927), p. 976-81
- 10) E. Pitois and J. D. Gat: *Sparking of Steel*; Chemical Publishing Co. (1929)
- 11) H. Brearley: *The Heat Treatment of Toolsteel* 改版 (1928) p. 214, Appendix. Grinding Spark.
- 12) W. Rohland: *Stahl und Eisen als Werkstoff*. Bd. IV Reihe 18, p. 96-102. (1927 年伯林材料會議講演集) (1928)
- 13) W. C. Hildorf and C. H. McCollam: "Practical Aspects of Spark Testing" *Iron Age* **124** (1929), p. 953-56
- 14) W. C. Hildorf and C. H. McCollam: *Metal Pellets Produced by Sparking Tests used to Identify Alloysteels*; *Iron Age* Vol. 126 (1930) pp. 1-4
- 15) P. Goerens u. R. Mailaender: *Die technische Verfahren zur Untersuchung der Metalle und Legierungen*; §7. Funkenprobe; *Handbuch der Experimentalphysik*. V. (1930)
- 16) 無名氏: *Spark Testing of Metals*; *American Machinist*; 24. April 1930, p. 703.
- 17) W. C. Hildorf and C. H. McCollam: "Classifying Steels by Sparking" *Metal Progress* **23** (1933) p. 23-27
- 18) R. W. Buzzard: *The Utility of the Sparktest as Applied to Commercial Steels*; U. S. Department of Commerce Bureau of Standards Research paper R. P. 605. Part of Bureau of Standards Journal of Research, Vol. 11 (1933) Oct.
- 19) 無名氏: 「火花による鋼鉄の鑑定法」*金屬* (1933), 6 月 p. 240-243; (17) の翻譯
- 20) F. Rapatz: *Edelstaehle* (1934): 川崎正之譯 コロナ社 1939 年刊 p. 358
- 21) 玉置正一: *構造用特殊鋼 (實用金屬材料講座)* (1935) p. 17
- 22) J. F. Keller: *Lecture on Steel and its Treatment*. p. 113: (21) の挿圖の出所
- 23) 久保正氣: 「火花試験法」*鐵道省工作局工場課發行「作業之業」* 第 13 卷第 3 號附錄 (1935) 昭和 10 年 3 月刊
- 24) 無名氏: *Spark Testing Characteristics of important S. A. E. Steels*; *Iron Age* (1935) Sep. 26., Oct. 3
- 25) 野田一六, 田宮信一: 「市販の鋼類に適用した火花試験」;*電氣製鋼* **12** (1936), p. 26; (18) の翻譯
- 26) 野田一六, 田宮信一: 「主要なる S. A. E. 鋼に適用した火花試験」;*電氣製鋼* **12** (1936), p. 88-95; (24) の翻譯
- 27) Otto Pattermann: "Funkenprobe" *Werkzeugstaehle* (1937) p. 46~53 自費出版
- 28) Frank R. Palmer: *Tool Steel Simplified*; Chapter 15. Spark Testing; The Carpenter Steel Co. (1937)
- 29) Max Kommers: *Die Funkenprobe*; *Werkstoffhandbuch, Stahl und Eisen*. 2. Aufl. (1937) V 51
- 30) G. E. Gordon and E. A. Reid: *Classifying Steels by Spark Testing*; *Iron Age*, Oct. 19 (1939)
- 31) 三橋鐵太郎: 「鋼材の火花試験に關する佐草英雄氏の研究に就て」*「工具と材料」* 昭和 15 年 (1940) 6 月號
- 32) 三島徳七, 三橋鐵太郎: 「鋼材の火花試験研究史」*金屬* 昭和 15 年 (1940) 8 月號

第 II 部 火花の物理的研究

- 33) U. Nakaya and Y. Sekiguti: A physical Investigation on Sparks of "Senkohanabi" a Miniature Firework; *Proc. Imp. Acade.* **3** (1927) No. 8.
- 34) 中谷宇吉郎, 關口讓: 「線香火花及鐵の火花に就て」*理研彙報* (1927), 第 6 輯, 第 12 號 (昭和 2 年 12 月)
- 35) U. Nakaya: On the Electrical Nature of Iron Sparks Emitted from Grinding Wheel: *Sci. Pap. In. Phy. Chem. Res.* **23** (1934) Feb. p. 185.
- 36) G. Tammann und W. Boehme: Die Entzündungstemperatur in Abhängigkeit von der Grösse der Metallteilchen; *Zeit. anorg. allg. Chemie* **217** (1934) p. 225-36
- 37) 中谷宇吉郎: 「砥石から出る鐵の火花の物理的性質」*應用物理*; 第 3 卷 (1934) 昭和 9 年, 第 12 號, p. 446
- 38) Walter Baukloh: *Funkenbilder der Elemente*; *Arch. Eisenh.* **13** (1940) pp. 543~547

第 III 部 火花を出さぬベリリウム合金

- 39) W. Hessenbach: *V. D. I. Zeitschrift* Bd. 79, Nr. 19. 11. Mai 1935; *Funkenlosarbeitende Werkzeuge* 1.
- 40) 日本ニッケル時報 昭和 13 年 1 月 (1938) 第 6 卷 第 1 號 128~130 頁
- 41) *Iron Age*: **137** (1936) 10, p. 2832, p. 74
- 42) *Metallurgist, Engineer* 誌附錄 (1938) p. 148~151
- 43) *Metals and Alloys* **7** (1936) p. 175~180

第 IV 部 雜

- 44) C. H. Kunsman: *Phys. Rev.* **27** (1926) 249
- 45) H. A. Barton, G. P. Harnwell and C. H. Kunsman: *Phys. Rev.* **27** (1926) 739
- 46) W. Klelu; *Annal. Phys.* (5) **11** (1931) 579
- 47) A. E. van Arkel: *Reine Metalle* (1939)
- 48) Guertler: *Taschenbuch der Metall-Technologie* (1939)
- 49) *Memoirs of the Colledge of Eng. Kyoto Imp. Univ.* Vol. 7, No. 2.