

點蝕現象を伴つてゐる事及時間的に見ると酸素の濃度高きもの程點蝕のスタートが遅れる事を知つた。

14) アルムコ鐵に於て酸素 8cc 前後の場合 Ph 6~7 では點蝕を起したが、炭酸の存在で 5~6 Ph 値に於ては酸化皮膜の面も出來ず従つて點蝕も認め得なかつた。

15) 保護皮膜のある面を算出して酸素と鐵の蝕損關係を圖表にすると、直線ではないが、蝕損は酸素の濃度に比例して多くなる事が分つた。

16) 以上諸實驗による測定又は觀察の結果より考察を試み、次の推定を下し得た。

即鐵及鋼が水中に於ける初期の受働状態は、酸素の直接酸化による皮膜の生成であらうと云ふ事、點蝕は材料表面に於ける不均一な受働態の結果であると云ふ事。

不均一受働態の生成原因の主なるものは2つ考へられ、

其の1つは一度出來た受働態面の一部が水素により還元復極せられると云ふ事、其の2は酸素の不均一分布により部分的受働態を起すと云ふ事。

何れにせよ不均一受働態は流電作用を起し陽極面の蝕損を助長させるが、自然水中に於ては陰極面及受働態面にスケールを沈析する、之は流電作用の一證明になると云ふ事、點蝕現象を供試材料に就て見る時は含銅鋼、アルムコ鐵共析炭素鋼及鑄鐵の順序になつて含銅鋼が最も甚しいが、之等の順序の出來た原因は酸素の直接酸化に關係してゐると云ふ事。

此の研究に當つて實驗の援助をせられた千葉喜美、蘆田春行及山田謙二郎君の勞を多とし此處に感謝の意を表す。
(昭和8年1月31日、滿鐵、中試、沙研、化學冶金室)

電弧溶接法による溶着金属の電磁氣的性質に就て

(日本鐵鋼會第 11 回講演大會講演)

岡 田 實*

ON THE ELECTROMAGNETIC PROPERTY OF THE DEPOSITED METAL IN ARC WELDING.

Minoru Okada.

SYNOPSIS :—In this experiment author used various type of commercial electrodes and special made electrodes which were added Silicon, Aluminum, Phosphorus and Manganese in the coating material. The deposited metal from these electrodes were tested to find the electromagnetic property, mechanical property and change of these properties before and after aging and annealing. The results of this investigation are as follow:

1. The electric resistivity of the deposited metal from the low carbon bare electrode was comparatively small. Therefore it is suitable to weld the electric circuit. But the mechanical quality of the weld metal deposited from the bare electrode was inferior to that deposited from the covered electrode.

2. In the case of the magnetic circuit welding the deposited metal must have high permeability, low hysteresis loss and high electric resistivity. For these purpose it was applicable to use the electrodes that were coated with the proper quantity of silicon and manganese. However manganese itself is not directly to afford the good effects to the magnetic property of the deposited metal but it reduces the contamination of air to the deposited metal.

3. The deposited metal from the phosphorus coated electrode was a little better than that from the bare electrode. It was, however, so brittle that was readily cracked by light hammering. The iron aluminum alloys were similarly to the iron phosphorus alloys except under the critical quantity of aluminum.

4. The deposited metal in arc welding possessed in general the conspicuous aging property. However it was so much improved that hysteresis loss increased with time as little as negligible if the electrode had coated with silicon and manganese.

5. The magnetic characteristics of the deposited metal were much affected by the cooling rate of the metal, especially, below 500°C.

6. The deposited metal from the manganese coated electrode developed the high tensile strength and that from the silicon coated electrode developed the high impact resistance. The deposited metal from the covered electrode with silicon and manganese had the superior mechanical properties.

7. Author indicated the microstructure of deposited metals from the various type of the coated electrode. In the presence of silicon, the grain size was large. But if the manganese had been added to the electrode, grain-size of the deposited metal was fine. Up to the quantity of phosphorus reached 0.5% in deposited metal, author found the characteristic sharp needle structure in it.

8. The welded metal of the low carbon steel by the atomic hydrogen welding process possessed the good electromagnetic and mechanical properties. But it had a considerable aging effect in magnetic characteristics.

9. The silicon coated electrode was practically impossible to be deposited by the electric arc process on account of the large globule of the electrode dropped down. However the silicon and manganese coated electrode was possible to obtain the deposited metal with some difficulties.

* 大阪帝國大學工學部

緒 言

電弧銲接法は作業が迅速容易にして接合の強度も銲接以上に確保し得られ、且重量を大に軽減され得る故、材料に於て勞銀に於て時間に於て幾多の利益がある。従つて最近各方面に應用普及し造船に橋梁に建築に機械構造に其の他あらゆる工業界に歡迎されてゐる。

電氣工業界に於ても日々其の利用に注目し既に電氣鐵道のレールの接合、電機の銲接等相當發達してゐる。然し電弧銲接法は實用時代に入つて日尙淺く銲接部の電磁氣的性質に就ては未だあまり顧れず従つて其の研究發表も殆ど皆無の状態である。けれども凡そ電氣、磁氣回路の接合には必ず其の接合部の性質を吟味知悉する必要のあることは明である。米國銲接協會では既に數年前に此の點に注目し電弧銲接法による銲着金屬の電磁氣的性質を銲接に關する基本的研究問題として提案してゐる様である。

著者はこれとは全く關係なく研究を始めたのであつて先に大阪市地下鐵道の第三軌條の銲接をした場合に其の電氣抵抗に及ぼす影響を見る爲に市場にある銲接棒を以つて銲着金屬を作り電氣抵抗を決定した。¹⁾ 續いて磁氣抵抗に對する研究を進めたのであるが我が國でも現在或は近き將來に極めて重要な問題であると思ふ。

此等電氣回路或は磁氣回路の接合には接合部の電氣抵抗或は磁氣抵抗が小さくなる必要があると云ふ目的に應じ優秀な機械的性質を要する場合もあるゆへ此等の諸點を考慮して諸種の市場にある銲接棒及び特種の元素を添加した試作銲接棒を作りこれを銲着して銲着金屬の試験片を削成し電磁氣的性質及び機械的性質を研究し、更に時効、焼鈍による變化をも明かにし、顯微鏡組織と合せて冶金學的考察を加へたのである。

銲着金屬の性質に影響する諸條件

銲着金屬は銲接棒が電弧の放電發熱作用を媒介として熔融或は氣化の状態を通つて銲接板上に銲着されるのであつて電解的及び電熱的條件としては電氣機械の特性、弧光電壓、銲接電流、弧光の長さ、材料の電氣傳導度等が重要なものである。又冶金學的條件としては電極材料及び被覆物質の成分及び量、熔融溫度、熔融時間、冷却速度等がある。

此等は作業上重大な事項であるが尙此の外、板の厚さ、棒の太さ Weaving の大小、棒の角度、地線の位置、其の他一切の準備によつて影響される。

殊に銲接手の技倆、身心の狀況等は銲接結果を左右する重大なものであることは言ふまでもない。

斯く銲着金屬は幾多の影響を蒙つて銲接棒から銲着金屬に變化するのであるから同一材料を用ひても結果にはかなり大きな變化を生ずる場合がある。此等の諸條件を同一に保ち得たとしても銲接棒は氣化、熔融、銲着の過程に大氣中の酸素、窒素と反應し、此等の瓦斯を相當多量に吸収すると共に銲接棒の含有元素を酸化消失する。

含有元素の減少は物理的に行はれる場合と化學的に行はれる場合があり前者は主として飛散されるもので含有元素は一様に消失するので百分率には影響が少いに反し化學的に減少する場合は元素の種類或は化合物によつて著しく異り選擇的酸化が行はれる。銲接棒芯線中の滿俺、炭素等は著しく減少するに反し磷、銅等は含有率の上で増加を示すこれは鐵の酸化消失に伴はず安定にして機械的に失はれる以外絶對量に殆ど減少なきものと考へられる。²⁾

被覆劑中に含有される場合³⁾も同様に選擇的變化が行はれる。又被覆劑が鑛滓成分及び合金元素を含む時熔鐵が鑛滓と接觸してゐる間に含有元素が増減する。

又一層銲着は一種の鑄造であつて銲接部が鑄物状になることを免れない。然し鑄造と異なる點は被銲接材と融合し又多層銲接に於ては不規則な熱處理をうける。従つて銲接部の機械的性質が良好な爲には鑄造状態乃至此等不規則な熱處理状態で著しく針狀結晶を析出するとか結晶が成長して脆弱になるものは好しくない。

然るに鐵の磁氣的性質を良好ならしめるには不純物の少いことが最も重要であり、又結晶粒の大きいものがいい。故に電解鐵の眞空熔融、眞空焼鈍⁴⁾等を行つたものは非常に誘磁率が高く履歴損失が少い。然し若干の元素は誘磁率を高め履歴損失を減するに効果がある。4% Si 或は 2.25% Si 鋼の如き電氣鐵鋼としてあまりにも有名である。又 Al P 等も鐵の磁氣性質を良好するものと認められてゐる。

銲着鐵の電氣抵抗は含有される不純物の種類にもよるが極めて低炭素の銲接棒を用ひる銲接では大體不純物の少い

²⁾ Hoffman Die Elektroschweissung, S. 223, 1931.

³⁾ 岡田 銲接協會誌 昭和 8 年 8 月及び 10 月

⁴⁾ Yensen Trans. A. I. E. E. Vol 34 p. 2601 1915.

¹⁾ 岡田 電氣學會雜誌 昭和 8 年 2 月

もの程固有抵抗が小である。此の事實は先きに著者が研究せるところより察知し得られる。

銲 接 棒

銲着金屬は上述の如く種々なる條件によつて變化するが同一作業條件を維持し得るとすれば銲接棒の材質に依つて略定まる。本研究に使用せる銲接棒は總て直径 4mm 長 450mm のもので市場品と試作品に分けて考へるのが便利と思ふ。

市場品は各製作者が被覆劑に對し創案があり、製作上に秘訣を有する故に簡単な化學分析によつて其の詳細な成分を知ることは極めて困難である。蕊線の成分は分析で容易に決定し得るし、又銲着して得られる金屬も作業條件があまり異なる場合は被覆棒を用ひた場合も大體信頼さるべき値が得られる。

銲着のまゝの性質を試験する爲に用ひた銲接棒は第1表乃至第3表に示す如くである。試作銲接棒は種類が相當多くなつたので順序を示す番號と被覆劑の成分を示す記號とを併用した。

記號 S 珪素 Al アルミニウム (但し他の成分と併用される時は A とす) P 磷 M 滿俺
尚接尾字 1, 2, … は順次添加量の多いことを表はす。

第 1 表 銲接棒蕊線分析表

| 銲接棒番號 | 組成 | | | | | 被覆劑主要成分 |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | C% | Si% | Mn% | P% | S% | |
| 1 | 0.01 | 痕跡 | 痕跡 | 0.02 | 0.01 | なし(電解鐵) |
| 2 | 0.12 | 0.02 | 0.29 | 0.01 | 0.05 | なし(試作銲接棒用) |
| 3 | 0.06 | 0.04 | 痕跡 | 0.01 | 0.02 | 石灰、木炭粉、曹達 |
| 4 | 0.18 | 0.17 | 0.34 | 0.01 | 0.035 | 滿俺鐵、青石綿 |
| 5 | 0.09 | 痕跡 | 0.34 | 0.025 | 0.02 | 滿俺鐵、珪素鐵 |
| 26 | 0.06 | 0.016 | 0.385 | 0.02 | 0.04 | なし(原子水素銲接用) |

第 2 表 蕊線の電磁氣的性質

| 銲接棒番號 | μ_{max} | 履歴損失 エルグ/cm ³ / サイクル | 残留磁氣 ガウス | 抗磁力ギ ルバート +/cm | 固有抵抗ミ クロオーム -cm |
|-------|-------------|---------------------------------------|-------------|----------------------|-----------------------|
| | | | | | |
| 3 | 1,590 | 13,280 | 8,100 | 2.7 | 10.35 |
| 4 | 1,540 | 14,950 | 9,550 | 3.0 | 12.61 |
| 5 | — | — | — | — | 12.51 |

No.1 銲接棒は電解鐵の鉄を曲げて作つた中空棒であり No. 2 は低炭素鋼線にして試作銲接棒の蕊線に用ひた。No. 3, No. 4, No. 5 は夫々市場にある被覆銲接棒である。試作棒の塗布元素及び塗布量は第3表の如くであるが高誘磁率、低履歴損失を有する爲に著者は Si, Al, P を種々なる割合に含んだ銲接棒を作り被覆劑も Si のみのものは Si 量に應じ一本につき 0.4 乃至 2gr 位の薄被覆を行つ

第 3 表 試作銲接棒

| 銲接棒番號 | 記號 | 塗布合金元素量 (蕊線に對し) | | | | 被覆劑 |
|-------|-----------------|--------------------|-----|-----|------|--|
| | | Mn% | Si% | Al% | P% | |
| 6 | S ₁ | — | 1.0 | — | — | CaCO ₃ , Na ₂ CO ₃ , 水硝子 |
| 7 | S ₂ | — | 2.0 | — | — | 〃 |
| 8 | S ₃ | — | 2.5 | — | — | 〃 |
| 9 | S ₄ | — | 4.0 | — | — | 〃 |
| 10 | Al ₁ | — | — | 0.5 | — | 青石綿 |
| 11 | Al ₂ | — | — | 1.0 | — | 〃 |
| 12 | Al ₃ | — | — | 2.0 | — | 〃 |
| 13 | P ₁ | — | — | — | 0.35 | CaCO ₃ , Fe ₂ O ₄ , 水硝子、 |
| 14 | P ₂ | — | — | — | 0.50 | 青石綿 |
| 15 | P ₃ | — | — | — | 1.0 | 〃 |
| 16 | AS ₁ | — | 1.0 | 1.0 | — | CaCO ₃ , Na ₂ CO ₃ , 水硝子、 |
| 17 | AS ₂ | — | 2.0 | 1.0 | — | 青石綿 |
| 18 | AP ₁ | — | — | 1.0 | 0.15 | 〃 |
| 19 | AP ₂ | — | — | 1.0 | 0.30 | 〃 |
| 20 | MS ₁ | 3.0 | 1.0 | — | — | 青石綿 |
| 21 | MS ₂ | 3.0 | 2.0 | — | — | 〃 |
| 22 | MA ₁ | 3.0 | — | 0.5 | — | 〃 |
| 23 | MA ₂ | 3.0 | — | 1.0 | — | 〃 |
| 24 | MP ₁ | 3.0 | — | — | 0.25 | 〃 |
| 25 | MP ₂ | 3.0 | — | — | 0.50 | 〃 |

た。其の他は青石綿を被覆主成分としたので1本につき 5~6gr を使用した。此の時の青石綿以外の鏝滓となるべき塗布劑は極く少量を用ひた。

上記 Si, Al, P のみを含んだもの、銲着金屬を試験した結果銲接作業、機械的性質が非常に低下したので磁氣的性質には寧ろ有害と認められてゐる⁵⁾ Mn を少量添加した銲接棒を以つて作業した。Mn を 3% としたのは前に著者が研究⁶⁾した結果から青石綿被覆の場合銲着金屬中に残る Mn が略 0.5% 以下なることが明であるに依つた。又第3表の添加合金元素として Si は珪素鐵 (75% Si) Mn はマンガン鐵 (72.36% Mn) P は磷鐵 (20% P) Al は純アルミニウム細線を使用した、塗布劑及び合金元素の結合劑は水硝子、フノリ、カゼインを適宜使用した。

銲 着 方 法

前述の如く作業條件が變化すると結果も從つて變るが作業條件は電機器の特性、銲接棒及び母材等によつて變へなければならぬので他の條件が大體一定のときは銲接棒の成分被覆劑の種類、量を容易に作業し得る様に調整しなければならない。著者が實驗に使用した銲接機は富士電機製造株式會社製直流機、日立製作所及び日本電氣銲接機株式會社製交流機で豫備實驗を行ひ略適當な條件で銲着を行つた。

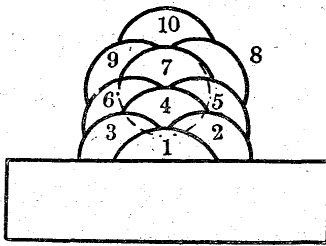
銲着方法は厚さ 12mm, 幅 40mm, 長さ 300mm の鐵板

⁵⁾ Spooner Properties and Testing of Magnetic Material page 43.

⁶⁾ 岡田 上掲 (3)

上に第1圖の如く漸次累層し、それより断面 1cm^2 長さ

第1圖 銲着順序



260mm の丸棒を削成した。Weaving を少くし層敷を多くした。其の他は第4表の如くである。

表中銲接手 A は著者自身に行つたもの B は教室の銲接工 C は原子水

素銲接工が行つたものである。銲接電流(直)は直流機を用いたもので交流機で作業が困難な場合にのみ使用した。末行の銲接性のうち甲は直流、交流何れでも作業容易にして結果も比較的良好なものであり、乙は直流でなければ作業に困難を感じるもの又は直流、交流何れにても作業が稍容易でなく結果も良くないもの、丙は作業が相當困難なもの、丁は普通の方法では銲接が至難と考へたものである。

第4表 銲着作業條件

| 銲接棒番號 | 記號 | 銲接手 | 弧光電壓 | 銲接電流 | 銲接性 |
|-------|-----------------|-----|------|--------|-----|
| 1 | — | A | 18 | 100(直) | 乙 |
| 2 | — | A | 18 | 120(直) | 乙 |
| 3 | — | A | 20 | 130 | 乙 |
| 4 | — | A | 26 | 110 | 甲 |
| 5 | — | A | 18 | 130 | 甲 |
| 6 | S ₁ | B | 23 | 110(直) | 丙 |
| 7 | S ₂ | B | 23 | 120(直) | 丙 |
| 8 | S ₃ | B | 23 | 120(直) | 丙 |
| 9 | S ₄ | A | 23 | 120(直) | 丁 |
| 10 | Al ₁ | A | 25 | 100 | 乙 |
| 11 | Al ₂ | A | 25 | 100 | 乙 |
| 12 | Al ₃ | A | 25 | 100 | 丙 |
| 13 | P ₁ | A | 26 | 95 | 乙 |
| 14 | P ₂ | A | 23 | 95 | 乙 |
| 15 | P ₃ | A | 26 | 90 | 丁 |
| 16 | AS ₁ | A | 25 | 120 | 乙 |
| 17 | AS ₂ | A | 25 | 120 | 乙 |
| 18 | AP ₁ | B | 25 | 110 | 乙 |
| 19 | AP ₂ | B | 25 | 110 | 乙 |
| 20 | MS ₁ | B | 24 | 120 | 甲 |
| 21 | MS ₂ | B | 24 | 120 | 甲 |
| 22 | MA ₁ | A | 24 | 110 | 甲 |
| 23 | MA ₂ | A | 24 | 110 | 甲 |
| 24 | MP ₁ | B | 24 | 110 | 甲 |
| 25 | MP ₂ | A | 24 | 110 | 甲 |
| 26 | H | C | — | — | 甲 |

此等作業容易ならざるものは上記作業條件の外に被覆劑の成分、量、銲接電流、銲接速度等を種々變へて行つたが結局普通の場合は上表の如く表はして差支なからうと思ふ。此の中 Si は量が多くなるに従つて鐵の銲融點が降下し銲接棒がとけると棒の先端に大い球になつて附着し、これが落下する度に弧光が非常に動揺して消滅するので交流では作業が殆ど不可能である。被覆劑として青石綿を用いたものは銲滓の珪酸度があまりに高くなる爲か作業が更に困難である。

Si が多くなると結晶粒が大きくなり脆くて銲滓をとるときの軽い槌打にて罅裂を生じ到底使用に堪へないものと考へ丁とした。斯くある値以上に Si を加へることは實用上不可能である。Al, P も略同様であつてある量以上になると罅裂を生じやすく極めて脆弱になる。原子水素銲接法は熱源と補充劑が別である故に作業が比較的容易である。

銲着金屬の化學組成及び比重

前述の如くして銲着したものゝ化學組成及び比重を決定した。結果は第5表及第6表の如くである。

第5表 銲着金屬の化學組成及び比重(1)

| 銲接棒番號 | 組成 | | | | | | 見掛の比重 | 氣孔率% 眞比重=7.85と假定す |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| | C% | Si% | Mn% | P% | S% | N% | | |
| 1 | 0.027 | 痕跡 | 痕跡 | 0.03 | 痕跡 | 0.080 | 7.42 | 5.5 |
| 2 | 0.068 | 痕跡 | 0.041 | 0.08 | 0.03 | 0.076 | 7.42 | 5.5 |
| 3 | 0.083 | 0.050 | 0.085 | 痕跡 | 0.012 | 0.071 | 7.48 | 4.7 |
| 4 | 0.116 | 0.087 | 0.35 | 0.02 | 0.038 | 0.041 | 7.80 | 0.65 |
| 5 | 0.095 | 0.145 | 0.71 | 0.02 | 0.03 | — | 7.76 | 1.0 |
| 26 | 0.035 | 痕跡 | 0.226 | 0.031 | 痕跡 | — | 7.80 | 0.65 |

窒素は前に著者が同じ銲接棒の銲着金屬に就て比色法で決定した値で幾分低い様であるが相互關係は明であつて Mn の相當残るものは大氣より吸收される N₂ が著しく少く顯微鏡で見られる窒化物の存在も甚だ減少する。従つて比重が増し氣孔がなく緻密な銲着金屬が得られる。此等普通の軟鋼銲接部の性質は銲着金屬の比重の大小が良否を決する一つの指針となる。然し第6表の如き特殊の合金元素を加へたものでは比重と機械的性質が必ずしも一致するとは限らず、唯銲着金屬が緻密なりや否やを示すに効果がある。

第6表 銲着金屬の組成及び比重(2)

| 銲接棒番號 | 記號 | 組成 | | | | 見掛の比重 | 氣孔率% 眞比重=7.85と假定す |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| | | Mn% | Si% | Al% | P% | | |
| 6 | S ₁ | — | 0.374 | — | — | 6.88 | 12.3 |
| 7 | S ₂ | — | 0.925 | — | — | 7.42 | 5.5 |
| 8 | S ₃ | — | 1.29 | — | — | 7.18 | 8.5 |
| 9 | S ₄ | — | — | — | — | — | — |
| 10 | Al ₁ | — | — | 0.037 | — | 6.98 | 11.0 |
| 11 | Al ₂ | — | — | 0.042 | — | 7.19 | 8.5 |
| 12 | Al ₃ | — | — | 0.095 | — | 7.51 | 4.3 |
| 13 | P ₁ | — | — | — | 0.463 | 7.33 | 6.6 |
| 14 | P ₂ | — | — | — | 0.547 | 7.39 | 5.8 |
| 15 | P ₃ | — | — | — | — | — | — |
| 16 | AS ₁ | — | 0.470 | 0.087 | — | 6.92 | 11.8 |
| 17 | AS ₂ | — | 0.680 | 0.068 | — | 7.20 | 8.3 |
| 18 | AP ₁ | — | — | 0.061 | 0.133 | 7.06 | 10.0 |
| 19 | AP ₂ | — | — | 0.125 | 0.220 | 7.16 | 8.75 |
| 20 | MS ₁ | 0.483 | 0.214 | — | — | 7.70 | 1.9 |
| 21 | MS ₂ | 0.549 | 0.736 | — | — | 7.52 | 3.2 |
| 22 | MA ₁ | 0.451 | — | 0.040 | — | 7.80 | 0.65 |
| 23 | MA ₂ | 0.311 | — | 0.065 | — | 7.64 | 2.6 |
| 24 | MP ₁ | 0.292 | — | — | 0.366 | 7.72 | 1.6 |
| 25 | MP ₂ | 0.346 | — | — | 0.563 | 7.78 | 0.8 |

第6表の分析中 Al は石丸氏の方法⁷⁾に依つて決定した Fe の分離が完全に行かなかつたものは更に之れを熔融し分離して求めた。

第5表の結果及び後に時効試験の時に作製せる各分析結果より被覆劑に加へた合金元素が銲着金屬中に残る割合の平均値を求めたるに次の如くである。

Mn 12.6% Al 5.55% Si 39% P 100.3%

著者が高力鋼の銲接に際して行つた結果と比較して Mn は略一致してゐる。Si は多い値を示した。これは前回に比し添加量が多く塗布劑を薄く塗つた爲である。

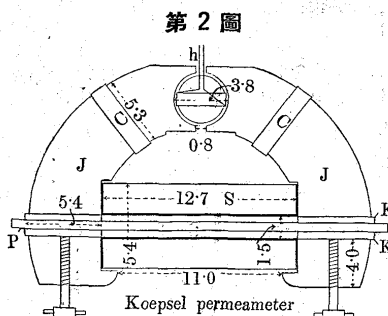
比重は 6.88 より 7.8 まで變化してゐる。合金成分によつて多少變るが今 7.85 を銲着金屬の眞比重と假定して氣孔率を計算した。Si, Al 等が増すと氣孔率は減少する様であるが裸線の場合に比しよくないのであつて作業上複雑な關係が感ぜられる。

此の場合 Mn を加へたものはすべて氣孔率が少く緻密である。前述の如く大氣の影響を減少し脱酸、脱窒に最も効果があるものと思ふ。

測定装置

使用せる測定機器は下記の如くである。

- 電氣抵抗 ダブルブリツヂ及び附屬計器
- 磁氣性質 Koepsel Permeameter 及び附屬計器
Picuo Permeameter 及び附屬計器
- 硬 度 ロックウェル硬度計 (B スケール使用)
- 抗張力 松村式萬能試験機
- 衝撃値 アイゾット標準型試験機



磁氣性質の測定には Koepsel permeameter を用ひた。このメーターは第2圖の如き構造のもので D'Arsonval 型の直流計と相似であ

つて可動線輪中に一定電流を通じ永久磁石の代りに大きいヨーク (J) があり、兩方のヨークの間を試片 P で完結し磁化線輪によつて圍まれてゐる。このメーターは空気間隙を有する故誤差を生ずるので所謂 Shearing Curve を作つて訂正しなければならないので測定上適當でないであ

るが他に適當な装置を有たなかつたのと訂正を充分に行へば略正確さが得られるので用ひた⁸⁾。又同一の試片で他の機械試験も一貫して出来ることは多少便利である。

然しすべての試片に就て一々正確な Shearing Curve を作る事が出来ないで誘磁率の異なる 2~3 本の材料に就て Double Bar 型の Picuo Permeameter (京大のもの) で測定した結果と比較して作成し訂正に用ひたのであるが實用上略充分な結果を得たと信ずる。

電磁氣的特性

銲着鐵は前述の如く長 260mm 断面 1cm² の丸棒に削成し測定を行つた。其の結果は第7表及びヒステリシスループ第3圖乃至第26圖の如くである。

第7表 銲着金屬の電磁氣的性質 (銲着の儘)

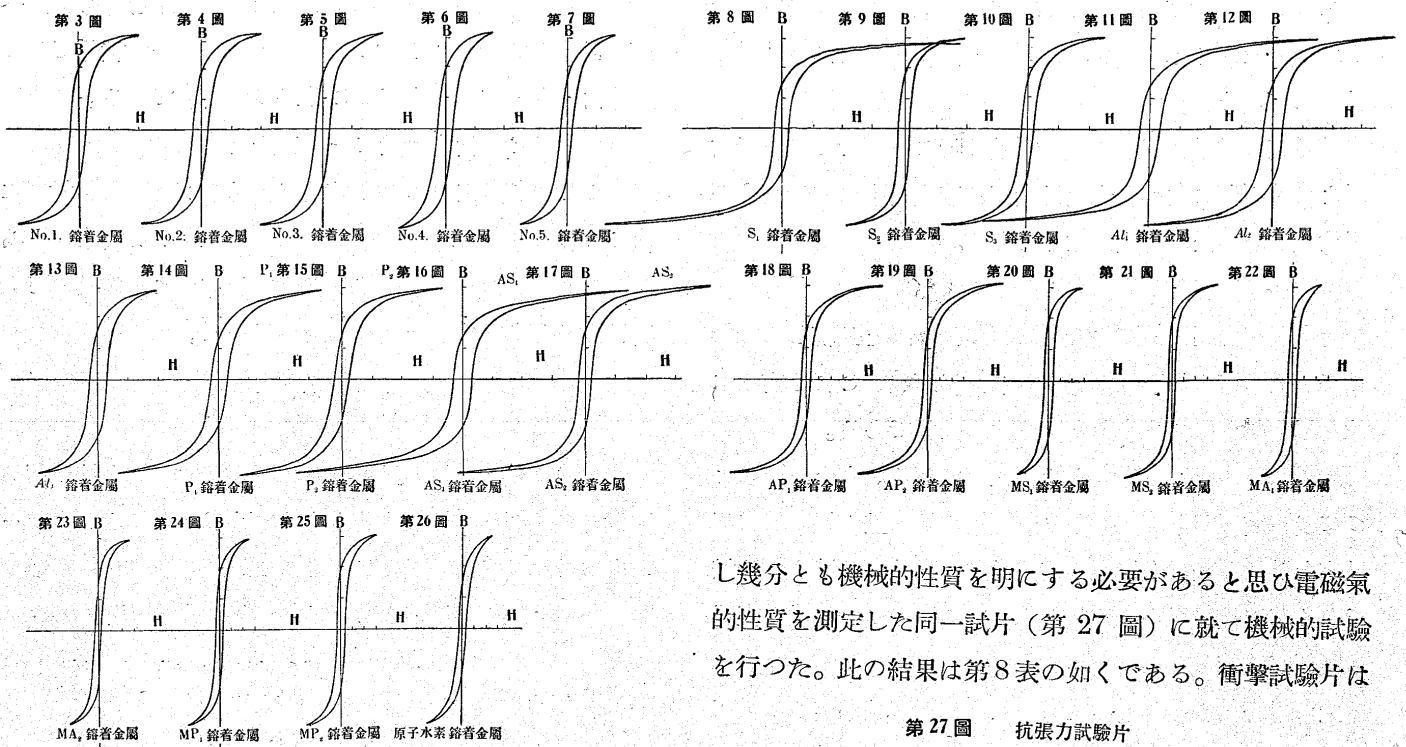
| 銲接棒 番 號 | 記號 | 履歴損失 エルグ/cm ² サイクル μ_{max} $B_{max} = 15,000$ | 残留磁氣 ガウス $B_{max} = 15,000$ | 抗 磁 力 ギルバート cm $B_{max} = 15,000$ | 電氣固有 抵抗ミク ロオーム -cm | |
|------------|-----------------|--|-----------------------------------|---|-----------------------------|-------|
| 1 | | 720 | 30,700 | 9,300 | 6.8 | 12.11 |
| 2 | | 710 | 29,500 | 8,300 | 6.3 | 12.50 |
| 3 | | 765 | 27,900 | 8,800 | 6.0 | 12.42 |
| 4 | | 760 | 30,500 | 9,000 | 6.2 | 14.67 |
| 5 | | 890 | 22,600 | 8,000 | 5.0 | 16.68 |
| 6 | S ₁ | 660 | 26,700 | 7,000 | 5.6 | 18.73 |
| 7 | S ₂ | 1,010 | 18,500 | 8,500 | 4.3 | 26.25 |
| 8 | S ₂ | 920 | 22,700 | 7,600 | 4.5 | 30.02 |
| 10 | Al ₁ | 630 | 35,700 | 7,600 | 8.0 | 14.38 |
| 11 | Al ₂ | 685 | 34,400 | 8,000 | 7.8 | 13.68 |
| 12 | Al ₃ | 800 | 29,700 | 8,700 | 7.2 | 14.20 |
| 13 | P ₁ | 740 | 30,100 | 7,100 | 7.3 | 16.22 |
| 14 | P ₂ | 760 | 28,800 | 6,900 | 6.6 | 18.86 |
| 16 | AS ₁ | 760 | 32,100 | 7,500 | 7.8 | 16.87 |
| 17 | AS ₂ | 945 | 26,000 | 7,500 | 5.0 | 30.10 |
| 18 | AP ₁ | 900 | 17,500 | 6,700 | 4.0 | 16.51 |
| 19 | AP ₂ | 930 | 16,100 | 6,600 | 3.5 | 19.10 |
| 20 | MS ₁ | 1,080 | 16,100 | 9,000 | 3.3 | 18.60 |
| 21 | MS ₂ | 1,210 | 14,500 | 8,500 | 2.9 | 24.08 |
| 22 | MA ₁ | 980 | 16,500 | 9,200 | 4.0 | 14.94 |
| 23 | MA ₂ | 1,110 | 14,000 | 7,500 | 3.0 | 18.76 |
| 24 | MP ₁ | 1,050 | 15,000 | 8,200 | 3.3 | 17.58 |
| 25 | MP ₂ | 1,100 | 17,000 | 8,700 | 3.5 | 18.05 |
| 26 | H | 1,350 | 13,800 | 6,300 | 2.8 | 13.31 |

第7表の結果を見るに電氣抵抗は Si, Mn 等の増加に従つて軟鋼の2倍乃至3倍に増加するが此等を加へない普通の銲接棒にあつては相當の氣孔を有し乍ら低炭素の蕊線より低い固有抵抗を示す。従つて低電氣抵抗を必要とする場合は大氣の汚穢を受けても裸線の直流銲接が良好であるこれに反し eddy current loss を少しくやうと云ふ場合磁氣回路の銲接で高電氣抵抗を要する場合は Si を多くするのが最も有效である。

⁸⁾ Spooner. Properties and Testing of Magnetic Materials page 215.

⁷⁾ 石丸 金屬の研究 第9巻 527頁 1932.

(3) 鍍着金屬ヒステリシス ループ



磁氣性質に於て誘磁率 μ はバージラインにて決定した
が裸線の場合の μ_{max} は700位 B_{max} を15,000 Gauss
ととして履歴損失は略30,000 エルグ/cm³/サイクルであ
る。然しSi, Al, P等にMnを加へたものは $\mu_{max}=1,000$
~1,200 履歴損失は15,000 エルグ/cm³/サイクルで μ_{max}
に於て50%の増加を示し履歴損失に於て50%の減少を
示す。原子水素鍍接は更に良好である。Siを含むもの及
び原子水素の鍍着金屬は μ_{max} の時のBの價が低く裸棒
の場合高い價を示した。

残留磁氣はSi, Alを加へたものは稍高くPを加へた
ものは低く表はれた。抗磁力はSi等とMnの共存するも
のは著しく低い。然しMnのみが多い場合は如何に鍍着
金屬が緻密でもNo.4 鍍接棒の如く磁氣性質は決して良好
でない。尙ある量以上にMnを増加すれば却つて誘磁率
を低下し履歴損失を増すことはYensen等の研究に依つ
ても明である。

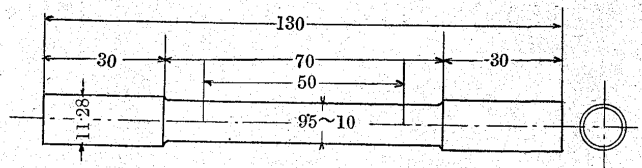
蓋し此の場合MnはMn自身が磁氣性質に効果をあた
へるのではなくして大氣の影響によつて磁氣性質の悪化さ
れるのを防ぐに因るものと思ふ。

機械的性質

鍍着金屬が前述の如き鍍接すべき電氣回路或は磁氣回路
にあつて荷重を受ける場合は勿論凡そ接合と云ふ目的に對

し幾分とも機械的性質を明にする必要があると思ひ電磁氣
的性質を測定した同一試片(第27圖)に就て機械的試験
を行つた。此の結果は第8表の如くである。衝擊試験片は

第27圖 抗張力試験片



丸型のまゝで所定の切込を入れ衝擊抵抗断面は0.8cm²に
なる様して試験した。

第8表 鍍着金屬の機械的性質

| 鍍接棒 番 號 | 記號 | 抗張力 kg/mm ² | 延 伸 率 (ゲージ=50mm)% | アイソツク ト衝擊値 m.kg.cm ² | 硬度 クウエ ル Bスケ ール | 抗張試験 片切斷破 面 |
|------------|-----------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1 | | 31.4 | 8 | 0.2 | 52.0 | S. |
| 2 | | 31.4 | 7 | 0.7 | 53.5 | B.S. |
| 3 | | 35.0 | 10 | — | 57.5 | B.S. |
| 4 | | 50.4 | 18 | 2.6 | 73.5 | G. |
| 5 | | 45.2 | 12 | 3.3 | 78.5 | B.G. |
| 6 | S ₁ | 17.7 | 3 | 1.8 | 65.7 | S. |
| 7 | S ₂ | 32.8 | — | 3.4 | 81.0 | S.標點外 |
| 8 | S ₃ | 22.9 | 2 | — | 79.7 | S. |
| 10 | Al ₁ | 23.9 | 5 | — | 64.0 | B.S. |
| 11 | Al ₂ | 18.2 | 6 | — | 69.0 | B.S. |
| 12 | Al ₃ | 32.0 | 8 | — | 76.0 | B.S. |
| 13 | P ₁ | 33.8 | 6 | — | 82.8 | B. |
| 14 | P ₂ | 25.3 | 1 | 1.2 | 93.6 | C. |
| 16 | AS ₁ | 18.6 | 3 | — | 66.0 | S. |
| 17 | AS ₂ | 25.3 | 3 | — | 74.0 | S. |
| 18 | AP ₁ | 33.7 | 6 | 0.3 | 70.0 | B. |
| 19 | AP ₂ | 25.3 | — | 0.5 | 72.0 | S.C. |
| 20 | MS ₁ | 47.6 | 11 | 3.9 | 85.0 | B.G. |
| 21 | MS ₂ | 45.7 | — | 4.0 | 85.2 | S.標點外 |
| 22 | MA ₁ | 46.6 | 15 | 2.8 | 88.0 | B.G. |
| 23 | MA ₂ | 33.1 | 1 | 0.3 | 94.0 | C.S. |
| 24 | MP ₁ | 44.5 | 6 | 0.5 | 87.0 | C. |
| 22 | MP ₂ | 41.7 | 1 | 0.3 | 84.0 | C. |
| 26 | H | 39.8 | 25 | 7.4 | 77.0 | B.G. |

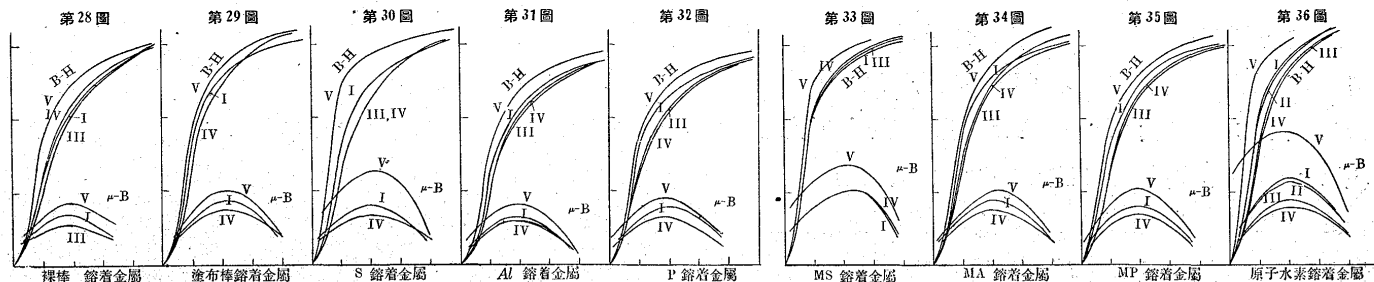
表中末行の破面の中Sは鐵滓の混入を示しBは氣孔の
存在を表しCは結晶が大きくキラキラした破面のもの

Gは軟鋼の如き良好な面を表はしたものである。第8表の結果より見て抗張力に於て Mn を加へたものは破面に氣孔がなく一齊に高い値を示した。然し Si, Al, P の多いものは結晶が成長し殊に P, Al の多いものは延伸率が殆どなく衝撃振動を受ける場所に使用して極めて危険なことが知られる。衝撃値より見て裸棒は非常に低い。又 P Al の多いものも低いに拘らず Si 及含有するものは衝撃抵抗

中にて徐々に冷却し、(V) 常温で測定した。この結果は第28圖乃至第42圖の如くである。

以上時効及び 800°C 焼鈍の結果を見るに硬度は時効の前後に於て殆ど變化を認め難いが焼鈍した場合は減少を示してゐる。電気抵抗は時効中殆ど變化なきも僅に減少し焼鈍の結果大に減少した。然し電気抵抗の絶対値は Si, Mn を含むものが最大で珪素のみを含むものが之れに次ぎ然も

(5) 時効及焼鈍せる銲着金屬の磁氣誘導曲線



が大である。Si 或は Al の比較的少ないものと Mn を共有するものは機械的性質も良好である。原子水素銲接は上記の如く機械的性質も優秀で殊に衝撃抵抗が大である。

(6) 時効及び焼鈍による硬度及電磁氣的性質の變化

銲接番號 2 27 28 29 30 31 32 33 26
記號 S Al P MS MA MP H

銲着金屬の時効及び焼鈍效果

金屬材料の一つの性質として時効に就て考へる必要がある殊に磁氣性質に於ける時効は實用上重要である。著者は此の點に對する研究を進め第9表及び第10表の如く銲着金屬の試験片を作製し時効試験及び焼鈍效果を觀た。

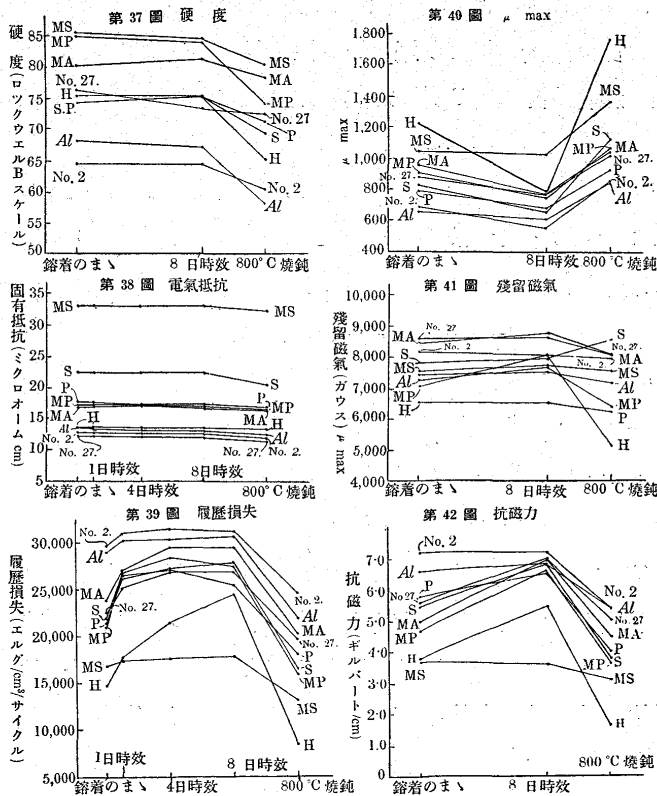
銲接の儘 (I) の試片を測定し磁氣を除きこれを電気爐中にて 100°C 保ち1日、4日 (III) 及び8日 (IV) 後取り出して測定を行つた。其の後試片を 800°C に1時間保ち爐

第9表 銲着條件及び機械的性質

| 銲接棒番號 | 記號 | 銲接手 | 弧光電壓 | 銲接電流 | 銲接電極 | 見掛的比重 | 硬度 | ロツク | 衝撃値 |
|----------|----|-----|------|--------|------|-------|----|-----|-----|
| 2 | | B | 18 | 120(直) | 乙 | 7.31 | 64 | 0.5 | |
| 27 (市場品) | A | A | 24 | 120 | 甲 | 7.67 | 76 | 0.4 | |
| 28 | S | B | 23 | 100(直) | 乙 | 7.47 | 74 | 3.3 | |
| 29 | A | B | 25 | 120 | 乙 | 7.18 | 68 | 0.5 | |
| 30 | P | B | 26 | 95 | 乙 | 7.26 | 74 | 0.3 | |
| 31 | MS | A | 24 | 110 | 甲 | 7.61 | 85 | 4.3 | |
| 32 | MA | B | 24 | 110 | 甲 | 7.63 | 80 | 3.1 | |
| 33 | MP | A | 24 | 110 | 甲 | 7.49 | 85 | 0.2 | |
| 26 | H | C | — | — | 甲 | 7.78 | 75 | — | |

第10表 銲着金屬の分析結果

| 銲接棒番號 | 記號 | 組成 | | | | | |
|-------|----|-------|------|-------|-------|------|-------|
| | | C% | Si% | Mn% | P% | S% | Al% |
| 27 | | 0.063 | 痕跡 | 0.02 | 0.057 | 0.03 | — |
| 28 | S | — | 0.64 | — | — | — | — |
| 29 | Al | — | — | — | — | — | 0.058 |
| 30 | P | — | — | — | 0.458 | — | — |
| 31 | MS | — | 0.93 | 0.583 | — | — | — |
| 32 | MA | — | — | 0.472 | — | — | 0.031 |
| 33 | MP | — | — | 0.275 | 0.597 | — | — |



此等と原子水素銲接のものは時効中に固有抵抗が變化しない特性を示した。

磁氣性質はこれに反し履歴損失の増加、 μ_{max} の減少等時効による變化が顯著であつて Si, P 等を含むものも一般に磁氣回路の銲接部は時と共に相當に磁氣抵抗が増すことは明かである。然し高温で焼鈍すれば非常に性質を良化する

ることが出来る。残留磁氣は時效中殆ど變化しないが僅に増加の傾向である。800°Cで焼鈍を行つたものは珪素を加へたもの以外は全部減少した。抗磁力は時效中非常に増加する場合も珪素を含むものは寧ろ減少する傾向を示した。800°Cで焼鈍したものはすべて大に減少した。原子水素銲接を行つたものが時效中の變化が非常に大きいのとSiを含む銲着金屬が全く特異の結果を與へることは注目しに値すると思ふ。

此等の銲着金屬を得た銲接棒により軟鋼鋼を銲接し上記同様の時效焼鈍試験を行つたが上の場合と全く同様の傾向を示した。唯銲接試験片のときは材料の成分加工焼鈍の過程により結果が異なる。又珪素を塗布した銲接棒は作業が非常に困難であるから之れに對する適當の工夫と銲接棒の特性を知る爲に練習が必要である。

電磁氣的性質に及ぼす加熱冷却條件の影響

以上の實驗により磁氣性質が時效に因り非常に悪化し焼鈍に因り銲接の儘より遙にい、性質が得られるので時效に因る影響を防止する爲の加熱條件を決定する爲に次の銲接棒で銲着金屬を作りこれを300°C及び500°Cに加熱し一種の焼鈍を行つた。空冷のときは加熱温度より常温までに20~40分を要し徐冷のときは4~6時間を要する様に冷却した。

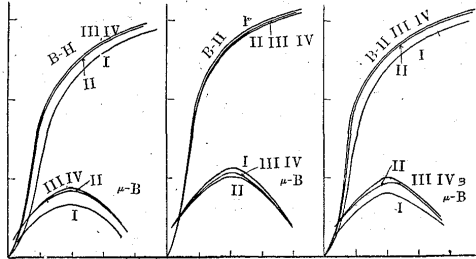
- 第一類
 - A₁ No.2 銲接棒(裸線)
 - B₁ 蕊線に對しSi2% Mn2%を塗布したもので作業頗る困難
 - C₁ 市場品被覆棒にして作業容易
- 第二類
 - A₂ A₁と同じ
 - B₂ 蕊線に對しSi1% Mn1%を塗布したもので氣泡の生成多く作業困難
 - C₂ C₁と同じ

第1類は加熱温度は300°Cとし先づ1時間加熱しそれより爐中にて徐冷して後試験しこれを再び300°Cに2時間保ち前へと同様にし更に2時間加熱して同様にし同一試験片に就て結局合計加熱時間1時間、3時間、5時間後の測定を行つた。この結果が第43圖乃至第51圖に示す通りである。

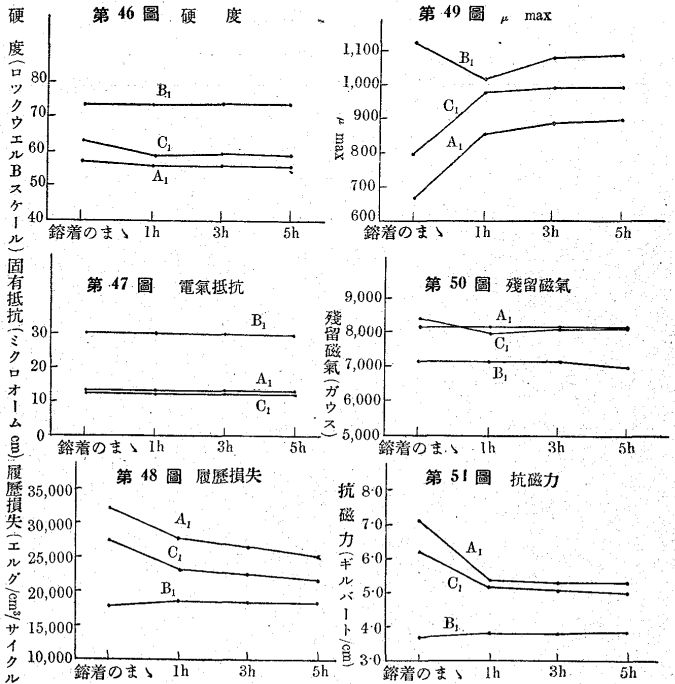
普通軟鋼用の銲接棒であれば300°Cに1時間保てば銲接の儘より餘程よくなる。即ち時效による悪化を完全に除き得たものと思ふ。100°C加熱した場合は著しい相違である。B₁のみは幾分低下して未だ不充分なることが分る。これを續けて3時間、5時間になるとすべて僅か宛であるがよくなる。然し此の範圍に於ける程度は極めて僅で

(7) 300°Cの加熱による磁氣誘導曲線の變化

第43圖 A₁ 銲着金屬 第44圖 B₁ 銲着金屬 第45圖 C₁ 銲着金屬



(8) 300°Cの加熱による硬度及び電磁氣的性質の變化

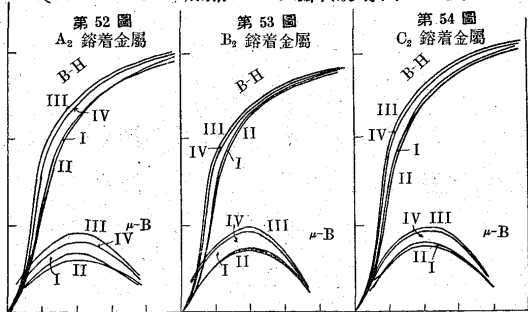


普通の場合300°Cの加熱を1時間以上行ふ必要はないと思ふ。B₁の如き特殊のものも3時間保てば時效による悪化の範圍を脱するので焼鈍効果も充分である。

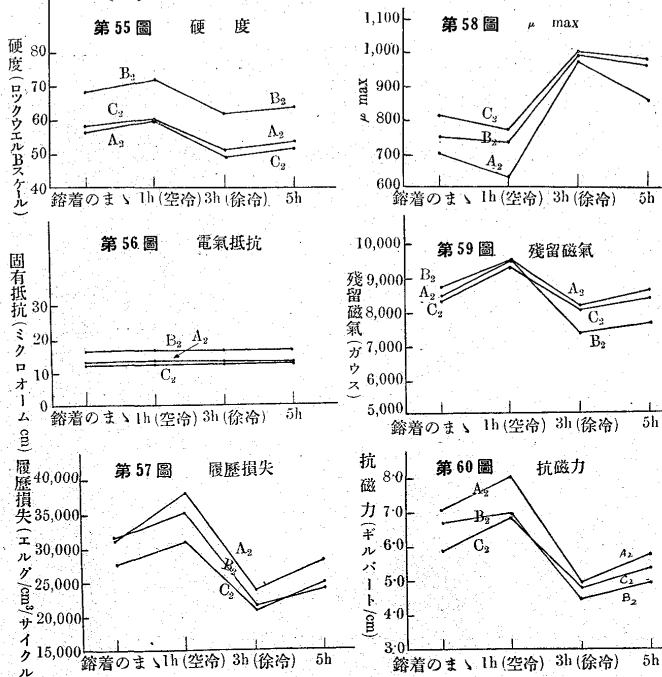
從つて夫れ以上高温であれば更に加熱時間を短縮し得ることは容易に想像されるが著者は第2類に對しては加熱後の冷却状態が磁氣性質に影響しないかを觀る爲に500°Cに1時間加熱しこれを爐より取り出し、空冷して試験し、次にこれを再び500°Cに2時間加熱し今度は爐中にて徐冷して試験し3回目は2回目同様に加熱し160°Cまで爐中にて徐冷し其れ以下は爐より取り出して空冷し斯る低温度の冷却條件が影響するや否やを檢べた。この結果は第52圖乃至第60圖に示す様である。

此の結果を見て焼鈍後の冷却が如何に重要なか痛感される。結果の示す如く500°Cで焼鈍し空冷したものは銲接のまゝに比し遙に高い履歴損失を與へ殊に前の實驗で殆ど變化を見なかつた残留磁氣が高くなつた。此れに反し緩冷したものは300°Cで長時間焼鈍したものよりもよくなる。前の800°C焼鈍の場合と比較して焼鈍温度は高い

(9) 500°C の加熱による磁氣誘導曲線の變化



(10) 500°C の加熱による硬度及び電磁氣的性質の變化



程磁氣誘導が高くなる。

3 回目の 160°C 以下の低温の空冷も磁氣性質に顯著な變化をあたへてゐるので磁氣回路の銲接部は極めて緩冷されなければならないことが分る。

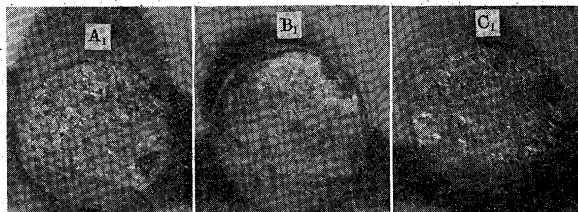
著者は上記の如き磁氣的性質の變化を相の變異に因るものと假定し此等焼鈍及び冷却の差異が機械的性質殊に衝擊抗力に對して影響がないかを實驗した。其の結果は第11表の如くで高温徐冷したものが硬度は低くなるが衝擊値に對しては特に焼鈍に因る脆化等を認めなかつた。これは一つは場所の關係があり銲着金属が均質でないこと。又一つ

第 11 表 焼鈍と衝擊抗力

| 記號 | 焼鈍溫度 °C | 冷却方法 | 硬度 ロツクウェ ルスケール | アイゾット衝擊値 m. kg/cm ² |
|----------------|------------|------|----------------------|-----------------------------------|
| A ₁ | 300 | 徐冷 | 56 | 0.3 |
| B ₁ | 300 | " | 74 | 2.9 |
| C ₁ | 300 | " | 59 | 0.6 |
| A ₁ | 500 | " | 56 | 0.25 |
| B ₁ | 500 | " | 70 | 2.8 |
| C ₁ | 500 | " | 50 | 0.8 |
| A ₂ | 500 | 空冷 | 56 | 0.35 |
| B ₂ | 500 | " | 71 | 3.7 |
| C ₂ | 500 | " | 57 | 0.7 |
| A ₂ | 500 | 徐冷 | 51 | 0.4 |
| B ₂ | 500 | " | 61 | 3.5 |
| C ₂ | 500 | " | 55 | 0.65 |

は裸棒や普通の塗布棒では銲着金属の衝擊抗力が非常に低い爲であり何れにしても殆ど無抵抗に近い。Si, Mn を含んだものが斷然良好で且焼鈍溫度、冷却方法の相異に因る影響が少いことは明である。衝擊破壊面は第 61 圖の如く

(11) 61 圖 衝擊破壊面



Si, Mn 添加の場合のみ輝いた結晶面がなく特異の破面を示し含磷のものは甚しくキラキラした面を表してゐる。

銲着金属の顯微鏡組織

電弧銲接法による銲着金属は前述の如く銲接棒芯線が電弧熱によつて酸化溶解し被覆劑中の諸元素と反應し銲接の進行と共に順次凝固するものであつて且比較的急冷される結晶は Molton Pool の壁より銲着金属の中心線上稍銲接の進行方向に向つて成長する。A₁ 變態點でセメントイトの析出する場合はオーステナイトの結晶面に出る場合が多く非常に少い時は結晶粒界に見られることもある。又大氣中の窒素を吸収して窒化物を析出する。窒化物は針狀組織を呈して表はる場合が多い。此等は單層銲接の場合であるが多層銲接の場合銲着金属の下層は上層の熱によつて一種の熱處理をうけ上層と下層で組織が異なる。然し Mn 等が相當に含れてゐる場合窒素量は非常に少く針狀組織も表れない。

又銲着金属は Etching Pit が出易い傾向がある。これは不純物の溶解残留應力等に起因するものと考へられる。

普通電弧銲接で得られる組織は寫眞 No.1 より No.6 の様である。No.1 は電解鐵裸棒の銲着金属で普通の熔融凝固による電解鐵の組織とは非常に異り針狀窒化物の酸化物、Etching Pit が明である。

No.2 は裡棒で No.1 に比し下層に屬する銲着部で粒界が稍明瞭針狀組織も多い。No.3 は No.3 銲接棒で上層に近い部分である。

No.4 は Mn を含む No.4 銲接棒によるもので粒界が明で針狀組織が存在せず比較的一様で軟鋼の組織に近く機械的性質の良好なことを暗示してゐる。

No.5 は No.5 銲接棒によるもので結晶粒が細く粒界が明で針狀組織が認められない。No.6 は No.27 銲接棒に

よるもので最も普通に用ひられてゐる塗布棒に共通な針状組織を示してゐる。

試作銲接棒の組織は添加元素 Si , Al , P 共に γ 界域が Loop になり A_2 變態點が上昇し結晶粒が大きくなる。これに對し Mn を加へたものは變態點が下降し結晶粒が細くなる。

No. 7 は S_2 銲接棒 No. 8 は S_3 銲接棒で結晶粒が大きく粒界が明瞭である。No. 9 は S 銲接棒 $800^\circ C$ 焼鈍の試片の組織である。

No. 10 は Al_3 銲接棒を用ひたものである。然し Al は分析結果の如く殆ど消失するので銲着金屬に含有される量は實に微量であり従つて普通の被覆銲接棒と同様に粒界も表れ針状組織も見える。No. 11 は A 銲接棒で得たものを $800^\circ C$ で焼鈍した組織で結晶粒が細く針状組織も少い。

No. 12 は P_1 銲接棒で著しく針状組織が発達してゐる。これは他の含磷銲接棒にも表はれた特異の組織であつて窒化物の針状とは趣を異にしてゐる。No. 13 は P 銲接棒によつたものゝ $800^\circ C$ 焼鈍の組織で針状が一層發達して

ゐる。No. 14 は AP_1 , No. 15 は AP_2 銲接棒で Al は殆ど消失する關係上 P のみの組織である。

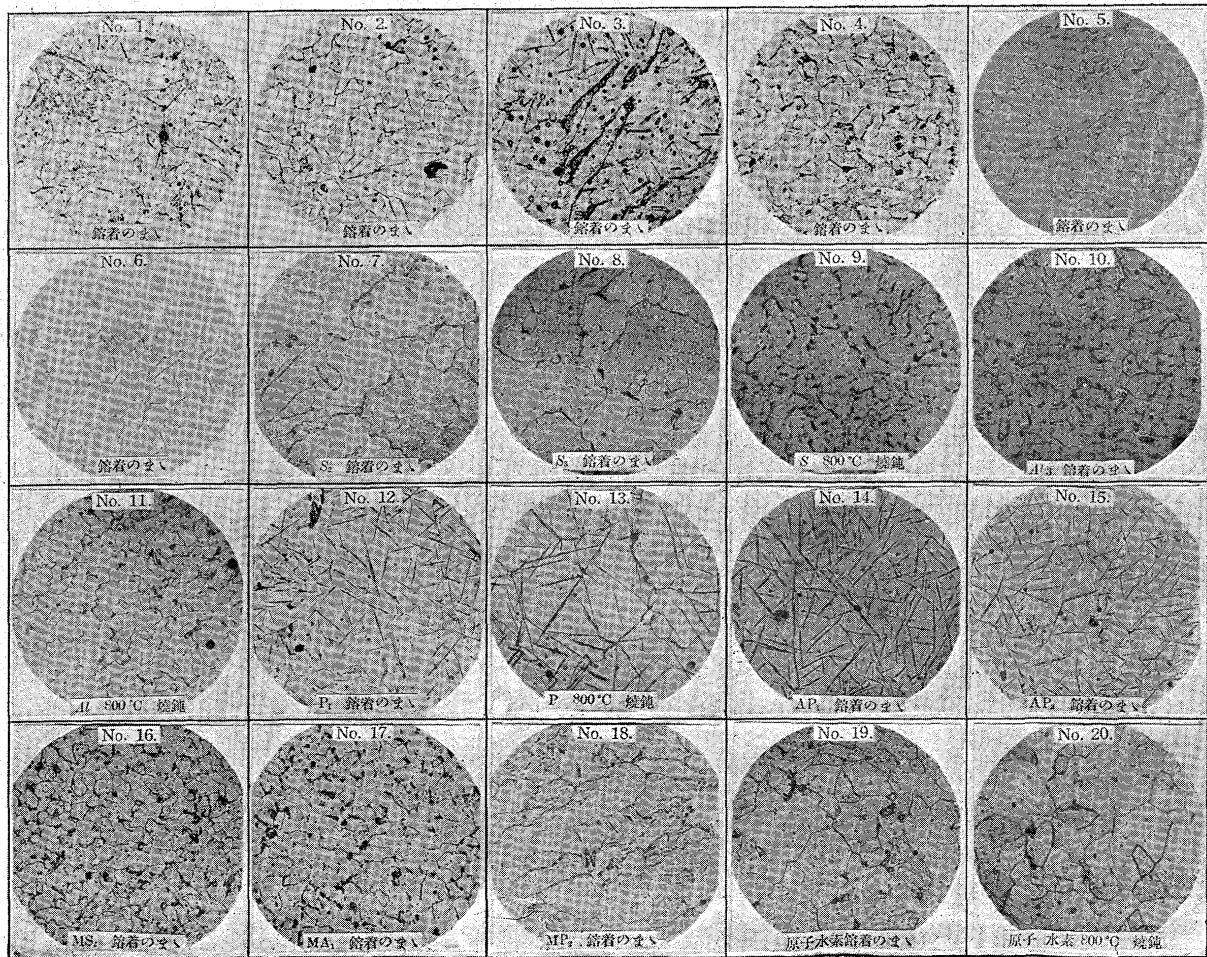
No. 16 は MS_2 銲接棒で作つたもので Mn の添加によつて變態點の降下があり、従つて結晶が細く一様である。斯る組織は抗張力が大で延申率も多く機械的性質が優秀である。

No. 17 は MA_1 銲接棒によるもので寫眞 No. 10 と略同様である。No. 18 は MP_2 の組織でこれは他に比して倍率が $1/2$ 以下なるに拘らず結晶粒が極めて大きい。 P の量が稍多く所々に針状が認められるので凝固の途中 Loop の $\gamma + \alpha$ の範圍を通るものと思ふ。

No. 19 は原子水素銲接法による銲着金屬にして極低炭素鋼の組織を示し結晶粒界が鮮明である。No. 20 は $800^\circ C$ で焼鈍した組織であつて No. 19 と大差がない。

以上は銲接のままと $800^\circ C$ 焼鈍の組織を示したが時効中の組織の變化は殆ど認められない。普通の銲接棒による銲着金屬を高温より焼入れた場合等の組織の變化は井口博士⁹⁾等の研究がある。

顯 微 鏡 組 織



實驗結果に對する考察

以上の實驗結果より電氣回路或は磁氣回路の電弧溶接を行ふとき溶着金属の電磁氣的性質及び接合の目的に對する機械的性質の兩方面より次の諸點に就て考慮した。

1. 溶接部の熱處理が可能なる場合と不可能なる場合に就て冶金學的考察と對策

2. 電磁氣性質或は機械的性質に要求がある場合となき場合

3. 作業上の諸點と合金元素及び被覆劑

先づ熱處理が可能なる場合はすべての溶接部に共通に然るべく高温で焼鈍し極めて緩冷することが必要である殊に酸化を防ぎ不純物を除く爲に真空中或は水素瓦斯中で焼鈍を行ふと電磁氣的性質が良化する。常溫より 200°C ~ 300°C の範圍に加熱されたとき短時間ならば時効により磁氣性質は悪くなるが長時間行へば漸次回復する傾向がある此の回復は常溫では非常に長時間を要し 100°C ならば數日、 300°C ならば1時間で充分である。

然し斯る場合冷却速度が極めて重要で焼鈍溫度より空冷するときは却つて溶接の儘よりも磁氣誘導を低下する。然も裸棒或は普通市場にある塗布棒は此の傾向が著しく溶着金属の分析結果と合金の平衡状態圖を併せて考へるとき此等の現象に C 以外に N_2 の影響を充分に認め得るのである即ち Fry の状態圖によれば $Fe-N$ 系は 580°C に共析變態點を有し其の時の N_2 の固溶量は $0.5\% N$ であり、これより常溫の固溶量は $0.015\% N$ まで變化する。然も 500°C 附近の固溶線は傾きが緩かで固溶量の急變を示す。従つて焼鈍溫度が 500°C 附近で比較的急冷された場合窒化物は過飽和状態で存在しこれが時日と共に微粒子として析出し磁氣硬化を表はすのである。此の時電氣抵抗は低下する。此の考へは前の實驗結果と全く符號するのであつて此の冷却條件による變化は N_2 量の含有多き裸棒の場合に最も著しい。これによつて溶着時の如き不規則な加熱冷却がある場合 500°C より緩冷した場合、空冷した場合等の説明が充分なし得る。

要するに磁氣抵抗も電氣抵抗も溶接の儘の時に N_2 の固溶量が出来ただけ少ないものが適當であつて緩冷が必要な條件である。

$Fe-N$ 系状態圖と顯微鏡組織及び測定結果より見るに溶

接の儘の組織で針状窒化鐵の存在するものは時効の時に回復期が早く時効による悪化の程度が稍少いに反し針状窒化鐵の認められない程度のもは時効による悪化が比較的著しく回復に長時間を要する。これは窒化物が析出してゐるものは結晶の存在と同じ理由で固溶體より析出することが比較的容易なのに反し、窒化物が全部固溶されてゐるものは時効期間に至つての析出が比較的困難なるによると思ふ

然し焼鈍徐冷した場合は窒化物の少ないもの程、 μ 値を示す。これは抗磁力に著しく明である。

然し乍ら實際問題として溶接後の焼鈍を行はなない場合が多く或は全く不可能のときもある。例へば溶接される材料が焼鈍を許さない場合、變形とか歪を起す爲に製品として焼鈍されない場合、その他色々の原因で焼鈍しない場合がある。斯るときに焼鈍を行はずして優れた性質を望むのは獨り電磁氣的性質のみでなく溶接一般の要求であるが非常に困難な問題である。

電磁氣的性質の場合電氣回路と磁氣回路は別に考へなければならぬ。電氣回路の溶接には溶接棒として純粹な裸線或は Si の如き抵抗を著しく増加する元素を含まない薄塗布棒が良好である。磁氣回路の溶接には履歴損失が小さく誘磁率が大で、電氣抵抗が大なるものが望しく Si, Al, P 等を含むものは此の目的には適するが作業の難易、機械的性質から Si に Mn を加へたものが最も良好である。

實驗結果の示す如く電氣抵抗の大なる點磁氣性質の變化が少い點は Si, Mn を添加したものが斷然良好であり、到底他の元素を加へたものは及ばない。又機械的性質の點から考へても抗張力、延伸率、衝擊値等優秀な成績を示してゐる。

磁氣誘導をよくする爲に Mn を加へたことは著者の試みであるが Mn により脱酸脱窒を行はしめて電弧溶接に於ける大氣の影響を減じるにある。前述の如く Mn 其自身が磁氣抵抗を減少せしむる効果はない。又一般に結晶粒の大きい方が磁氣性質がいに反し Mn を加へたものは變態點の降下或は Mn の性質として結晶粒が小さくなり上記の事實に反する譯であるがこれが有效なる譯は大氣の汚穢が其れ以上に大なる影響があることを示す。

機械的強度が必要なく磁氣的性質のみならば Si, Al を添加し Al より脱酸すれば兩者の効果が相俟つて結晶粒の成長磁氣性質の良化が見られる。然し機械的性質を要求する場合殊に衝擊或は繰返し荷重を受けるものでは磁氣性質

*) 井口、多賀谷 溶接協會誌 第2巻 第1號 昭和6年11月

に有効な P , Al を合金元素として用ひることは危険である。 P は非常に量が少い場合は銲着鐵にいい性質を與へるが量が多くなると P と同様非常に脆弱になる。

P を含んだものが針狀組織を呈する理由は別に研究を進めてゐるが Vogel の状態圖によれば 0.6% P 以下の時は冷却途中 γ 界域を通る。銲接で針狀組織が表はれる範圍が 0.5% P 位迄であつて其れ以上のときは爐中銲融した試料と全く同じ組織を呈する。 γ 界域を通る成分の場合も冷却速度によつて銲接の場合の如き組織になるので γ 界域の析出状態と針狀組織の關係が考へられる。即ち含磷試片の針狀組織は P の影響であることは明である。

銲接棒に加へる合金元素の量は元素の種類、作業條件等から定まるのであるが Mn は上記の目的を充す以上に含まぬことで銲着金屬中の Mn 量は 0.5% になる方がいいと思ふ。著者の研究に依れば¹⁰⁾ 塗布棒では蕊線に對し 1.5% 靑石綿被覆棒では 3.0% を適當と思ふ。

Si は銲融點を降下させ作業を困難ならしめるので塗布量として蕊線に對し 2% 以下が適當である、尤も上述の如く磁氣回路の銲接には Si の多いものは結果がいいので被覆劑等が研究され、作業が容易になれば 4% 位まで多い方がいい。 Al , P は作業は容易であるが結果はよくない。 Al 1% 位のものに Mn を加へたものは良好である。

燒鈍を行はな場合時効變化を少なくするには窒化物の生成及び固容量を少なくするのが有効でこれには Si , Mn を加へたものが最も適當の様である。然し N_2 が相當にあるものでは寧ろ裸棒銲接の如く比較的 N_2 量の多いものが時効による變化が少い、原子水素銲接は熱源が W 電極間の水素中の電弧であり銲着材は低炭素棒で唯銲融する程度であるから元素量の變化は水素により脱炭される外殆どない其故高級な仕事に適當し Si を 4% 或は 2.25% を含んだ銲接棒を以つて最近 Hess 氏が實驗¹¹⁾ してゐるが非常に優秀な結果を得てゐる。然し低炭素棒を用ひて行つた場合著者の實驗結果の如く時効變化が著しいことは注意を要するので出來得れば燒鈍を行ふことが好しい。原子水素銲接は燒鈍により非常によくする。

電磁氣的性質より機械的性質を要する場合は市場にある優秀な銲接棒を用ひた方が作業が容易である。けれども磁

氣性質と機械的性質を共に要求される場合は Si , Mn を加へたものが適當である。

作業の難易經費等の點より考へるに電弧銲接法は比較的簡單にして經費もかゝらないが Si の多い銲接棒は種々なる利點はあるが作業の困難なことが最も大なる缺點である此點は製作上及び使用上研究を要する點と思ふ。適量の Mn , Al は酸化發熱して熔融金屬の溫度を上げ銲込みを充分にするがあまり多くなると沸騰して作業が困難になり銲接結果も悪くなる P を含むものは電流を低くして作業がしやすく熔融金屬の流れもいゝが上述の如く銲接の目的に適しない。原子水素銲接は磁氣回路の如き特殊要求に對しては好適の銲接法にして今後此の方面の銲接が發達すれば原子水素銲接法の重要な應用範圍になるだらうと思ふ。然し此の方法使用の時も燒鈍徐冷を行ふか特に Si の多い銲接棒を用ふることが必要である。

結 論

實驗並びに考察の結果を列擧して結論に代へやうと思ふ電弧銲接法によつて各種の銲接棒を用ひて銲着金屬を作り其の電磁氣的性質、機械的性質その他諸性質の研究を行ひ次の結果を得た。

1. 電氣抵抗の少いことを要する場合例へば第3軌條の銲接の時等は純粹な銲接棒を用ひ被覆劑も合金元素を含まないものがいい。低炭素裸棒の銲着金屬は軟鋼材より低い電氣抵抗を有つ。電氣抵抗の大きいことを要する場合例へば磁氣回路の銲接の時は磁氣的性質と相俟つことを要し著者の實驗範圍に於ては Si と Mn を加へたものが適當である。

2. 磁氣回路の銲接に於て裸棒或は普通軟鋼用被覆棒による銲着金屬は軟鋼材に比して著しく磁氣抵抗を増加する銲接棒に適量の Si , Al , P 等を加へたものは稍磁氣性質を良化するが更に適量の Mn を加へたものは非常に磁氣抵抗を減じ又同時に機械的性質をよくする。但し磁氣性質は Mn に依つて良化されるのでなくて上記の元素と共存する場合に有效である。

3. 機械的性質は電磁氣的性質が強ひて必要ない場合は市場にある優秀な銲接棒を用ひた方が適當である。磁氣性質が要求される場合は Si と Mn を共有する銲接棒が優秀である。 Al , P 等は銲接金屬を脆化し衝撃、振動を受けるところには危険である。但し Al は少量の間は機械的性質

¹⁰⁾ 岡田 前掲 (3)

¹¹⁾ W. F. Hess Journal of the American Welding Society Oct. 1933.

をよくする。

4. 添加合金元素の銲接中の減少は *Al* が最も多く *Mn* も大部分失はれ *Si* の減少は 60~70% なるに反し *P* は *Fe* の酸化に對應せず増加傾向を示す。

5. 作業上より見れば *Mn*, *Al* の多いものは熔融金屬を沸騰せしむ。*Si* の多いものは熔融點が低く銲接棒端に球を生じ作業が困難である。又珪酸性強き鑛滓を生ずる故に塗布劑に注意を要す。然し *Mn* を加へれば作業が比較的容易である。

6. 時効試験の結果銲着金屬は銲接の儘では相當に時効に依つて磁氣抵抗を増加する。電氣抵抗は僅に減少する。従つて銲接の儘で磁氣回路に使用した場合は磁氣抵抗の増加を考慮しなければならない。時効に因る磁氣抵抗の増加は N_2 量の多い裸棒銲接に比較的少く N_2 量の比較的少ないものに多い。然し適量の *Si* を含むもの或は *Si*, *Mn* を含むものは殆ど時効により變化しない。

7. 銲着金屬を 800°C, 500°C, 300°C, で焼鈍したが徐冷したものは銲接のまゝに比し遙に性質が良好で電氣抵抗、磁氣抵抗共に減少する。然も焼鈍温度の高い程結果が良好である。

8. 銲着金屬の加熱後の冷却が磁氣性質に及ぼす影響を

見る爲に 500°C に加熱し徐冷、空冷等を行つた結果 500°C より空冷したものは銲接の儘より遙に高い履歴損失を示し又 500°C より 160°C まで徐冷し以下空冷したものは全部徐冷したものに比し遙に履歴損失を増し磁氣性質の悪化を示した。此れに依つて比較的低温に於ける冷却速度が非常に重要なことが考へらる。

9. 供試銲着金屬試験片の中約 20 個につき顯微鏡寫眞を提示した。顯微鏡組織と合金の状態圖及び測定結果より電磁氣的性質の變化に就て冶金學的考察を行つた。

10. 原子水素銲接法による銲着金屬に就ても試験した結果低電氣抵抗なる爲には効果がなく電弧銲接法によつたものより固有抵抗が大である。磁氣的性質は電弧銲接法に比し遙に良好である。然し低炭素銲接棒を用ひた場合時効に因る變化が大きい。焼鈍を行へば非常に性質をよくすることが出来る。機械的性質も良好であるが電弧銲接法に比し經費が多くかかる點が問題である。

最後に本研究をなすに當り種々懇切な御助言を賜つた井口山口兩教授實驗に助力下さつた戸崎富雄氏に深謝致します。又本研究費の一部は日本學術振興會の補助によつたことを記し感謝の意を表する次第であります。

屑鐵輸入及び鋼材生産高激増 (1月~4月)

昨年來の鋼材需要漸増を反映して鐵鋼各社の生産能力は年初以來著しく擴大され、本年1月以降4月までの歴延鋼材の生産実績によれば、總生産高は 938,189 t に達し、前年同期の 763,134 t に比し 168,000 t (増加率 2割1分) の激増を示すに至つたが、更に 5、6 兩月の生産高を本年4月中 (258,000 t) と同様と假定すれば本年上半期中の歴延鋼材總生産高は 1,436,000 t に上るものと豫想され、この情勢から推せば本年中の鋼材總生産高は實に 3,600,000 t を突破するものと見られ、昨年中の鋼材總生産高 2,750,000 t (鑄鋼、鍛鋼、特殊鋼をも含む) を遙に凌駕する激増振りである、この反面、製鋼用諸原料の輸入も激増を示しつゝあり、就中銲鐵市價に對する採算關係から輸入屑鐵の需要は特に著しく、本年上半期中の屑鐵輸入高は既に 1,02,113 t と前年上半期の輸入高 455,540 t に比し、3割以上の激増となつてゐるので、斯くては本年中の屑鐵輸入高は優に 1,200,000 t を突破するものと觀測され鐵鋼自給自足の國策の見地からも以上の情勢は頗る注目すべきものとされてゐる、なほ本年上半期中の銲鐵及び屑鐵輸入高の推移は次の如くである (單位 t)。

| | 銲鐵 | 屑鐵 |
|---------|--------|---------|
| 1 月 | 10,736 | 86,143 |
| 2 月 | 13,561 | 105,195 |
| 3 月 | 11,304 | 111,498 |
| 4 月 | 8,399 | 95,946 |
| 5 月 | 15,806 | 103,331 |
| 6 月(推定) | 12,000 | 100,000 |
| 果計 | 71,809 | 602,113 |
| 昨年上半期累計 | 69,750 | 455,540 |

(中外商業 7 月 10 日)

印度製鐵業保護關稅勸獎

(同國關稅調查會發表)

【在シムラ宅總領事 15 日發】さきに關稅調查會において調査中であつたインド製鐵業保護問題に關し今回同會報告書が發表されたが、以上は歐洲諸國品に對抗しインド製鐵業を保護すると共に英國品に對する特惠附與をも加味せる保護關稅を更に 7 ヶ年即ち 1941 年 3 月末まで必要とする旨を述べ保護關稅の改正を勸獎してゐるがその稅率次の如し

| | | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| △ストラクチュラルセクションズ | 英國品 無稅又は收入稅 | △ガーバナイズド・シート | 英國品 10 ルービー |
| 其他 トン 43 ルービー | 又は收入稅の中何れか高き方(以下之に準ず) | 其他 40 ルービー | |
| △バー | | △カスト・アイアン・パイプ | 英國品 收入稅 |
| 英國品 10 ルービー | | 其他 57 ルービー | 8 ア |
| 其他 39 ルービー | | ンナ | |
| △プレート | | △パワード又はストランドツトせられざるワイヤー類 | 英國品 25 ルービー |
| 英國品 無稅又は收入稅 | | 其他 60 ルービー | |
| 其他 25 ルービー | | △其他ワイヤー類及び釘類 | 收入稅なほ本件に關する政府の法案は議會開會早々提出を豫想されてゐる |
| △ブラック・シート | | | |
| 英國品 11 ルービー | | | |
| 其他 32 ルービー | | | |

(中外商業 7 月 17 日)