

熔融炭素鋼及ニッケル鋼中への諸元素の擴散に就て

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

齋 藤 大 吉*
上 村 勝 二**

ON DIFFUSION OF VARIOUS ELEMENTS INTO MOLTEN CARBON- AND NICKEL-STEELS.

By Daikichi Saito and Katsuji Uemura.

SYNOPSIS:—Up to the present, the investigation on diffusion of various elements into molten steel is very scanty, notwithstanding the subject is very important for the manufacture of special steels. The authors took the Swedish Carbon-steel with 0.3% C and the home made Nickel-steel with 3.29% Ni and 0.27% C as base materials. From them cylindrical samples 17 mm dia. and 60 mm long were prepared; and at their upper or lower part bores were spared, in which various elements as metals or ferro-alloys are to be enclosed. Thus prepared samples are molten in Tammann tubes and held at 1,500°~1,700°C during 10 or 20 minutes, as the case may be. They are slowly cooled and cut longitudinally along the centre line, polished and the hardness on their sections is measured along 12 horizontal lines 5 mm apart by Rockwell and Shore hardness testers. The mean values of the hardness numbers on each line are plotted according to the height of the samples, and thus we get the hardness curves. From these hardness curves with their micrographs we could judge the manner of diffusion of various elements.

As we expected, it depends upon the various factors as melting points of elements of ferro-alloys, temperature of the molten bath, position of enclosure according to their specific gravities, time kept at constant temperatures, etc.

We found the conditions necessary for the uniform diffusion of various elements as Molybdenum, Nickel, Manganese, Chrome, Phosphorus, Vanadium, Titanium, Silicon and Carbon in both steels and also the interesting characteristics of the three elements Manganese, Titanium and Carbon in diffusion. Lastly we could not find any appreciable difference in diffusion of high- and low-carbon ferro-chromes or metallic chrome.

I. 緒 言

特種鋼の製造に於て最重要なることの一は添加元素が其内に等齊に擴散分布さるゝことである、之れは其添加方法及熔融物の攪拌等によつて其目的を達し得ると考へられて居るが然し熔浴の溫度、添加物の熔融點、比重及び添加より注出までの時間等に影響さるゝこと多く、又他方一旦良く擴散するも大なる鋼塊を鑄造するに當つては其内容物の緩漫なる冷却が種々の元素の偏析を誘起し之れが幽痕、白點及毛割れ等の原因をなし製鋼家を苦めて居ることは世間周知の事實である、殊に近來兵器用特殊鋼に Ni-Cr 鋼、Cr-Mo 鋼、Ni-Mo 鋼等の鍛造物に生ずる白點、毛割れ等の原因及除去法等につき世界各國の學者及實際家が幾多の研究を積み又本邦に於ても日本學術振興會に此問題に關する委員會を造り官民協力して其研究に没頭し遠からずして解決の曙光を見出すに至るであらうことは洵に悦ぶべきことである。

ところで第一の問題即ち添加元素の擴散現象に關する研

究は私共の知る範圍に於ては極めて少い様である、即ち P. Badenhener¹⁾ が Ni-Cr 鋼鍛造物の自然に關する研究論文中毛割れの生ずる附近はマルテンサイト組織を有すること多く従つて此所は合金元素に富む所であるから其主原因を Cr の偏析に歸し、之れは添加する高炭素フェロクロムの擴散不良が其一主因をなすから Ni-Cr 鋼の製造に於ては低炭素フェロクロムを用ふるが或は豫め高炭素のものにフェロシリコンを加へ熔かして安定なる其炭化物を破壊すべしと云つて居る、次に W. F. Holbrook²⁾ 等は熔融鉄中への S, Mn, P, Si 及 C 等の擴散係數及時間、溫度等の影響に關する研究を發表して居る位のものである。

著者等は一定の成分を有する C-鋼及 Ni-鋼中に W, Mo, Ni, Mn, Cr, P, V, Ti, Si 及 C 等の諸元素を單體或は合金鐵として添加し溫度、時間、添加位置等が其擴散に及ぼす影響を研究し其擴散の程度は分析によらず硬度及顯微鏡組織によつて判斷することにした、其結果完璧に近くこと甚だ速きも斯界に多少の參考資料を提供し得ば

* 京都帝國大學

** 大阪帝國大學

¹⁾ Mitt. K. W. Just. Eisenforschung 1925, Lfg 1, s. 1~15.

²⁾ Ind. Chem. Eng. 1932, p. 993~998.

幸である。

II. 従來の研究

以上述べた2研究の内 Badenhener のものは擴散が主要の目的でないから此現象に關する要領は緒言中に述べた

もので充分であるから茲に再說せぬ、以下 W. F. Holbrook 等の研究について簡単に述べよう。

氏等の研究は第1圖に示すが如き容器を用ひ誘導電氣爐内で熔かした、先づ擴散を試験せんとする元素の即知量

を含む銑鐵を電極炭素製の坩堝 A 中は熔融し置き其内に徑2~4mm、深さ50mmの孔を穿てる黒鉛製の試験管 B を挿入し其内に此元素を遙に少く含む熔銑を充たし後者の上面 a 部で兩熔體を觸接せしめ一定温度に30~180分間保てる後試験管を取出して急冷し管から取出したる試験片を數個に折り其分析結果によつて其元素の擴散係数を求めたもので兩熔體間の元素の濃度及時間を種々に變化して擴散と時間及温度との關係を求めて居る、但し C の擴散を試験するにはアルミナ製の容器を使用し温度はタングステン-黒鉛の高温度計を使用して居る。

此研究で試料容器の内徑は2~4mmとしたのは熔鐵の對流を少くする爲めである、又 C の擴散試験の場合の外は容器が凡て炭素製であるから其内に熔かした鐵は皆其温度で C に飽和し常に3%以上の C を含むで居る譯である。

而して其結果を見ると此等元素の擴散は必ずしも温度及觸接時間の増加によつて増大せず相當不規則の數値を出して居るが最後に各元素の擴散係数を次の如く定めて居る。

| 元素 | C | Si | P | S | Mn |
|-------|--------|---------|--------|--------|---------|
| 擴散係數K | 0.0040 | 0.00042 | 0.0006 | 0.0013 | 0.00045 |
| 原子量 | 12.00 | 28.06 | 31.03 | 32.06 | 54.93 |

但し $K = g/sec/cm^2/\%濃度差/cm$

要するに元素擴散の速度は試験の初めに於て著しく大で時と共に小となるから擴散の距離は30分の時も180分の時も大差はない、而して擴散の割合は斷熱せる金屬棒中の熱の傳導と同一の規則に従ひ元素含有のグラジェント (gradient) が減少するほど低下する、又元素の擴散は運動の法則 (Kinetic law) から導かれた簡單なる規則に従はず前表で見るが如く C 及 S の擴散係数は他の元素の夫れに比して非常に大で原子量よりも寧ろ化學親和力の方が

大なる影響を與ふるものなることを結論して居る。

III. 本研究に使用する諸材料

著者等の研究は鋼材中への諸元素の擴散を試験するのであるから母材としては瑞典製の炭素鋼 (0.3% C) 及本邦産の Ni-鋼 (3.39% Ni, 0.27% C) の兩種を用ひ其内に擴散せしむべき元素としては普通特種鋼に添加さるゝ純金屬或は合金鐵を使用した又其成分、熔融點及比重等は第1表に示すが如くである。

第1表 母材及添加劑の種類、成分等

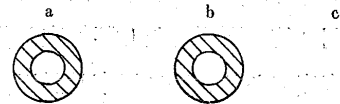
| 材 料 | 成 分 | 熔 融 點 °C | 比 重 | |
|-------|--|---|---------|------|
| 母材 | 瑞典鋼 | 0.3% C, 0.39% Mn, 0.24% Si, 0.015% P, 0.023% S | 約 1,480 | 7.9 |
| | Ni 鋼 | 3.39% Ni, 0.27% C, 0.31% Mn, 0.18% Si, 0.03% P, 0.007% S | 約 1,470 | 7.9 |
| 添加劑 | Ferro-W | 82.9% W, 各 0.5% Si, C, Mn, 各 0.05% P, S | 約 3,000 | 16.2 |
| | 金屬-W | 97.35% W, 1.87% Fe, 0.25% C, 0.10% Cu, 0.63% O | 約 3,300 | 18.2 |
| | Ferro-Mo | 70% Mo, 3.19% C | 約 2,100 | 9.8 |
| | モンD Ni | 99.6% Ni, 0.041% Fe, 0.018% C | 約 1,452 | 8.4 |
| | Ferro-Mn | 75% Mn, 6.94% C | 約 1,270 | 7.6 |
| | 低炭素 Ferro-Cr | 59.8% Cr, 0.1% C | 約 1,610 | 7.3 |
| | 高炭素 Ferro-Cr | 61.5% Cr, 5.48% C, 0.5% Si | 約 1,570 | 7.2 |
| | 金屬-Cr | 98.99% Cr, 0.14% C | 約 1,615 | 6.8 |
| | Ferro-P | 20% P, 0.18% C | 約 1,370 | 6.7 |
| | Ferro-V | 50% V, 0.18% C | 約 1,510 | 6.6 |
| | Ferro-Ti | 51.84% Ti, | > 1,700 | 5 |
| | Ferro-Si | 75.9% Si, 0.24% C | 約 1,360 | 3 |
| 電極炭素粉 | | | | 1.6 |
| 白 銑 | 3.45% C, 0.5% Si, 0.13% Mn, 0.003% P, 0.02% S | 約 1,250 | 7.6 | |

IV. 研究 方 法

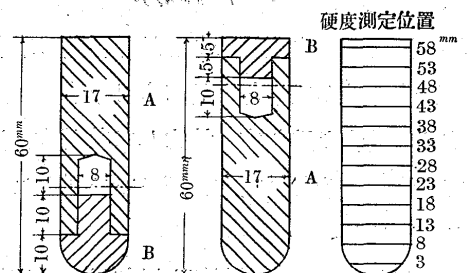
1. 母材の形状及び添加劑 母材の形状及寸法は第2圖に示するが如く直徑17mm、長さ60mmの圓筒形のもので之れを熔かす。

第2圖 母材の形状

ンマン管の内形に相當する様其底部を半球形に



仕上げてある、又此圓筒はA, Bの2部からなり其間に穿てる内徑8mm、高さ10mmの空洞部



に粒狀の添加劑を充填するのである、而して必要に應じ母材の下部或は上部の何れかに添加劑を裝入して試験し得る

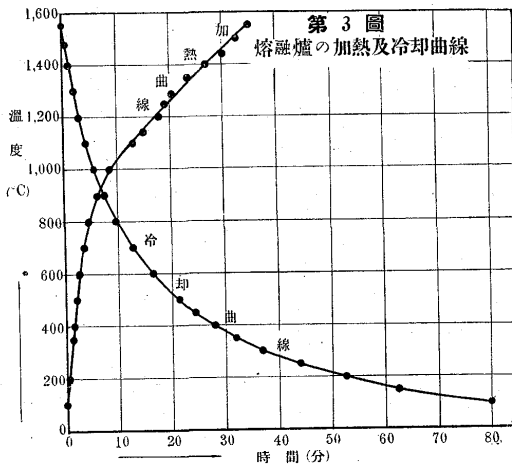
様 a, b の 2 種を造つた。

又其内に充填する金屬或は合金鐵は之れを 1mm 内外の大きさに砕きたるものを用ひた、但し Ni 丈は徑約 5mm 大のものを容れ其周圍に粉末 Ni を加へることにした。

2. 試料の熔融 熔融に用ひた爐は外徑 40mm, 内徑 27mm, 長さ 150mm の炭素抵抗管を有する水冷式タンマン爐で其内に容るゝタンマン管は前述の母材を漸く入れ得る高礬土粘土製のものを用ひ唯 1,700°C で熔融する場合に限りマグネシヤ管を使用した、又温度の測定は豫め補正を施したる P₂ 色調高温計を用ひて行ふた。

試料の熔融は豫め添加劑を充たせる母材をタンマン管に納め之れを爐の温度を成る可く一樣なる部分に挿入して加熱熔融し何ら人為的攪拌を行ふことなく一定温度に一定時間保持した

後電流及冷却水を切り其儘爐中に冷却して常温に達せしめた、此際試料の熔融狀況を一定ならしむるが爲め母材の熔融後 1 分間にて 1,500°C, 5 分間にて 1,600°C, 15 分間にて 1,700°C に達せしめる様電流を調節した、今此爐の加熱及冷却曲線を示すと第 3 圖の如くで 1,500°C までの加熱に約 33 分を要し 1,550°C から 100°C までの冷却に約 80 分を要することになつて居る。



3. 硬度の測定 常温に冷却した試料中軟きものは旋盤にて縦に半圓柱狀に削り硬きものは研磨盤で同様の形となし更に其斷面を研磨して最後に研磨紙 000 番で仕上げた、又硬度測定に便する爲め其反對側を測定面と並行に削り約 5mm の厚さのものにした。

硬度の測定は第 2 圖 C に示す如く標準として試料の底部から 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58 mm の所に劃した 12 本の線に沿ふて行ふた、即ち垂直距離 5mm 毎にロックウェル及ショア硬度計で行ひ硬度の變化大なる部分は其中間部にも測定することにした、又各線毎にロックウェルは 3 回、ショアは 5 回づゝ測定し其

平均值を採ることにした、斯くして試料の全面に互つて硬度が一樣なる場合を以て添加元素の擴散完全なるものとした。

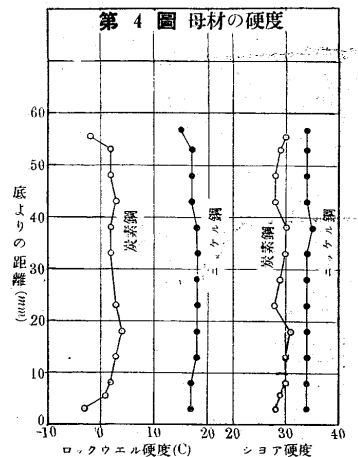
4. 顯微鏡組織 硬度測定を終了した試料はショア錐痕の消滅するまで研磨したる後其面を 5% ピクリン酸アルコール溶液で腐蝕し各測點附近の組織を鏡檢して寫眞を撮り之れを硬度の高低と對照して元素擴散の程度を判斷することにした、寫眞は全部 100 倍で撮影した。

然し鋼の組織がパーリチックである間は添加元素の量が増すに従ひ漸次其硬度を増すが一旦之れがマルテンサイトになると急に之れを増加し更に添加元素が増してオーステナイトになると逆に之れを急減し更に進んで δ 組織を呈するものになると一層硬度を激減すると云ふ現象を起す場合があるし、又或る元素は鋼中のパーライトの生成を妨げて著しく之れを軟くする例もあるから單に硬度測定のみによつて添加元素の多少を判斷することは不可能の場合があるから同時に其顯微鏡組織を檢して之れを補ふ事の必要がある。

V. 豫備實驗

先づ此實驗の母材である瑞典製炭素鋼 (0.3% C) 及本邦産 Ni-鋼に何等の添加劑をも加へず甲は 1,500°C で 20 分間、乙は 1,600°C で 10 分間熔融して得たる試料を前述の如く仕上げて硬度を測定した結果は第 4 圖の曲線圖に示すが如くである、之れによつて見ると瑞典鋼の平均硬度は

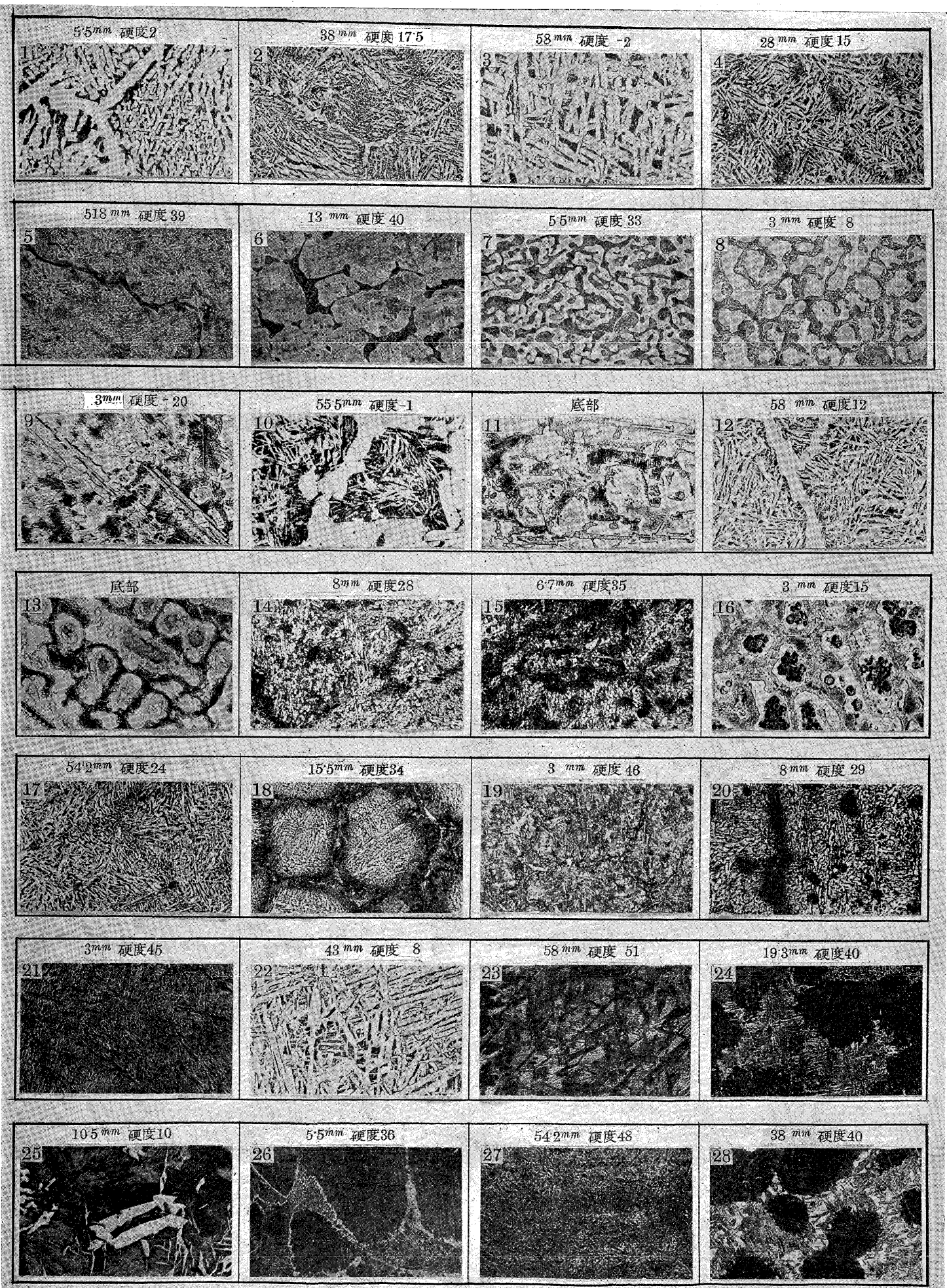
ロックウェル "C" 2, ショア 29 で Ni-鋼の夫れはロックウェル "C" 17.5, ショア 34 であることが判る、又彼等の組織は寫眞 1, 2 に示すが如く何れも極めて粗き鑄物組織を有するを知る、唯 Ni の有無によりウィドマン組織に著しく細粗の差あるを見る、次に炭素鋼の硬度曲線で上下兩端の數値が稍低きは脱炭に基くものと考へる。



著者等は一旦熔融したる此等兩鋼種の平均硬度を基準とし種々の添加劑を加へて熔融したるものゝ硬度曲線を之れと

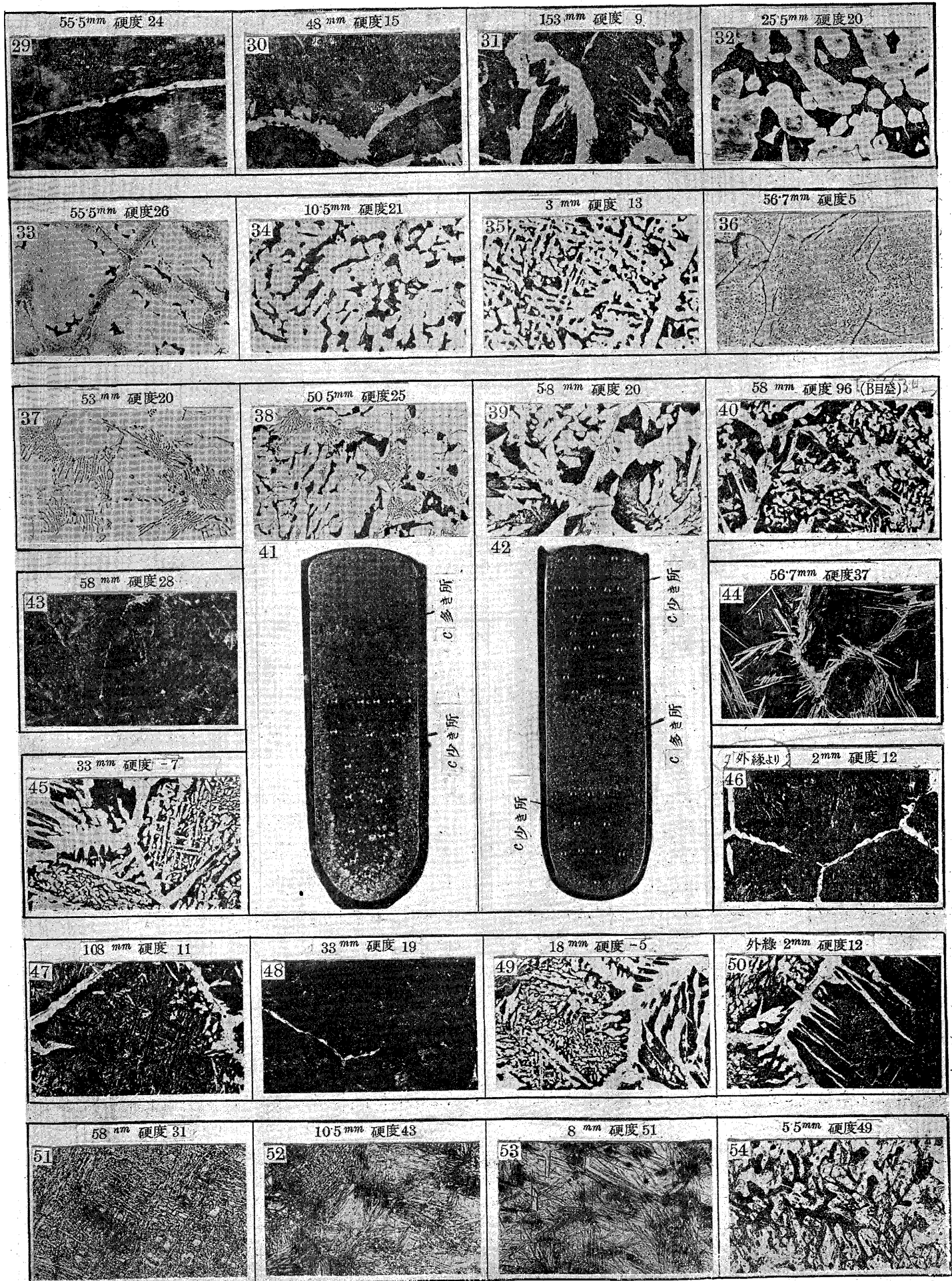
寫眞 1

顯微鏡組織 (硬度數はロックウエル硬度“C”目盛を表す) 寫眞倍率 ×100



寫眞 2

顯微鏡組織 (硬度數はロックウェル硬度 C' 目盛を表す) 寫眞倍率 ×100



比較對照して擴散の難易及び状態等を判斷せんとするものである。

VI. 實驗の結果

以上述べた兩種の鋼に種々の添加劑を上下2部の何れかに装入し必要に應じて 1,500°C ~ 1,700°C で 10 ~ 20分間保持したる後徐冷し由つて得たる中央縦斷面の高さに沿ひ前に述べた 12 の水平線に沿ふて硬度を測定し其平均を取つて硬度曲線を畫き之れを豫備實驗で得たる母材の硬度曲線と比較對照し併せて各部の顯微鏡組織を參考して添加金屬の擴散の有様を検討し以て其難易を判斷すると同時に及充分なる擴散に必要な條件を見出さんとするのである。

又硬度の測定には前述せし如くロックウェル及ショアの2硬度計を用ひしと雖煩累を避くるが爲め以下の記述には専らロックウェル“C”目盛を用ふこととし唯 Si の項に於て必要上“B”目盛を用ひた。

以下次を追ふて添加したる各金屬の擴散の模様に就て説きたいと思ふ。

A. 母材として 0.3% C の C-鋼を用ひたる場合

1. タングステン

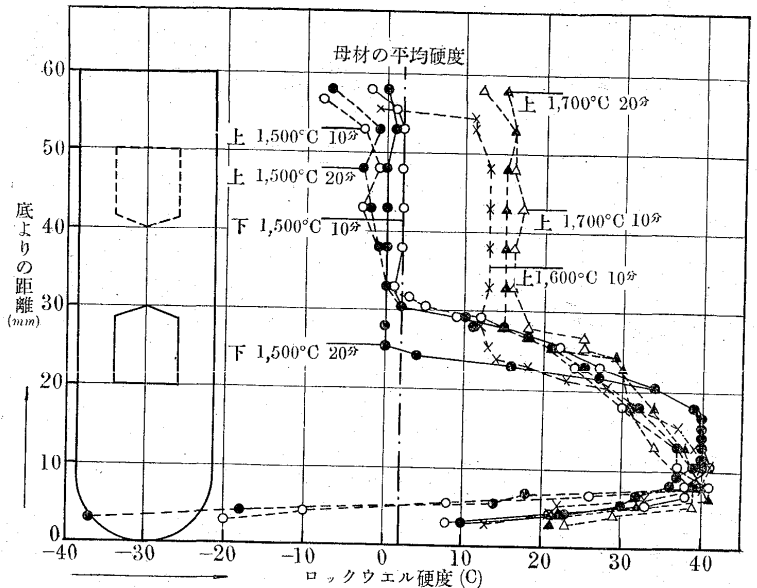
| | | |
|----------------|--|---------|
| 添加劑-1. Ferro-W | 82.9% W, 0.27% C, 0.31% Mn, 0.18% Si | 比重 16.2 |
| 2. 金屬-W | 97.35% W, 1.87% Fe, 0.25% C, 0.1% Cu, 0.63% O, | 18.2 |
| 添加せる W の量 | 6% | |
| 熔融條件- | | |

| | Ferro-W | | | | 金屬W | | | | |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 熔融溫度 | 1,500° | 1,500° | 1,800° | 1,500° | 1,600° | 1,700° | 1,700° | 1,700° | 1,700° |
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 | 上 | 上 | 上 | 上 | 上 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' | 10' | 10' | 20' | 10' | 20' |

先づ Ferro-W の擴散について考へんに 1,500°C 下 10' 及 20' 並に 1,500°C 上 10' 及 20' の4の場合は母材の熔融點に比して添加劑の夫れが甚だ高きと後者の比重又甚だ大なるにより上部への擴散は殆ど起らず Ferro-W は徒に試料の下部に集積する爲め其部分の硬度が甚だ高くなつて 40 内外になつて居る。然るに 1,600°C・上・10' では上半部への擴散が若干起り硬度も 13 内外になつて居る然し下部への集積は前と餘り變りがない、次に 1,700°C・上・10' 及 20' では稍々擴散の度を増すも下底への集積は前同様である。之れによつて見ると著者等の使用した 83% の W を含み 3,000°C からの高熔融點を有する添加劑を以て

硬度曲線—第5圖 A, B

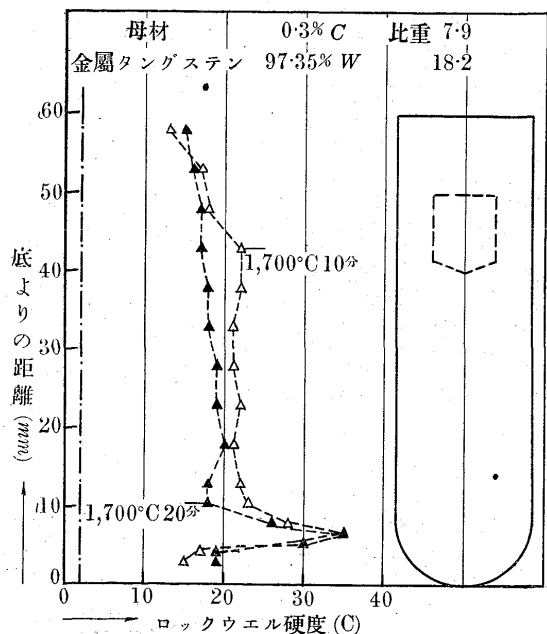
第5圖 A タングステン6% 添加による硬度曲線
母材 0.3% C 比重 7.9 フェロ・タングステン 82.9% W 比重 16.2



しては假令 1,700°C の如き高溫度で相當長時間保持するも均一なる擴散を望むことは出來ぬと考へる、而して實地作業に於て行はるゝ熔浴の攪拌は之れを促進すること勿論であるが一回の熔融によつて W の擴散の徹底を期することは困難であると思ふ。尙ほ著者等は低品位の Ferro-W によつて此實驗を行はんと欲せしも之れを入手し能はざりしは遺憾であつた。

次に金屬-W の擴散を見るに第5圖 B 曲線に示すが如く 1,700°C・上・10' 及 20' で 10mm 以上では Ferro-W を用ひた場合よりも良く擴散して居る之れは金屬-W が微

第5圖 B タングステン 6% 添加による硬度曲線



粉状であることも一原因をなして居る。而して平均硬度 20 内外になつて居るが下部への集積は免れ得ない、然し其最高硬度は 35 で A 曲線に於けるよりも低い、此曲線中 20 分のものが 10 分のものよりも硬度小なるは時間長かりし爲め脱炭多き故と考へる。此曲線では比較の爲め Ferro-W・下・1,700°C 10' 及 20' のものを併記した。

組織— 先づ武田博士の Fe-W-C 系についての詳細なる研究¹⁾ に基き Ferro-W を添加剤としたものより考察せんに 1,500°C で 10~20 分熔かしたものの、上半 30mm の間の組織は略々同一で寫眞 3 の如くフェライト及パーライトよりなるが母材に比して稍々細かく幾分 W の擴散せるを認める、下つて 28mm の所で硬度 11 内外を示す部分の組織は寫眞 4 の如く一層細かきパーリチック組織で少量の複炭化物の現はるゝを認む、寫眞 5 は 18mm、硬度 39 の所でマルテンサイトの地に $\gamma + Fe_3W_3C$ の明かに存在するを見る。又最高の硬度 40 を示す 13mm の所は寫眞 6 の如く一層 $\gamma + Fe_3W_3C$ が増して地はマルテンサイトである。5.5mm の所では寫眞 7 の如く $\gamma + Fe_3W_3C$ が著しく増してマルテンサイトが減じ硬度は 33 に下り、更に下つて 3mm の所では寫眞 8 の如く地は δ に變し $\delta + Fe_3W_3C$ が現はれる爲め其硬度は僅に 8 に降つて居る、要するに組織と硬度とは漸次變化して居るが下部に W が集つて居ることは事實である。

1,500°C・上・10' 及 20' のものも曲線で見ると如く擴散甚だ悪く組織も前のもとの略々同一の變化をたどつて居るが 3mm の所は寫眞 9 の如く地は δ で其内に $\delta + Fe_3W_3C$ 及 Fe_3W_2 (棒状のもの) が現はれ其硬度は 20 に降つて居る。

次に 1,600°C・上・10' の場合は 1,500°C の時に比して 18mm 以上の部分へも相當に擴散し其部分の組織は寫眞 10 の如く母材に比してパーリチックの部分細かい、又底部の組織は寫眞 11 の如く寫眞 9 に酷似するが Fe_3W_2 の量が少い、之れ 1,500°C の場合に比して W の少きを示し擴散の一層良く行はれて居ること認める。

1,700°C 上・10' 及 20' の場合は 1,600°C のものに比して一層擴散の度を増して居るから 58mm の所は 12 の硬度で組織は寫眞 12 の如くパーリチック部が一層細かい、又底部の組織は寫眞 13 の如く寫眞 11 に比して Fe_3W_2 の量が一層少くなつて W の一層少きことを物語つて居る。

終りに金屬 W を用ひた時の組織を見るに 13mm 以上の略々均一に擴散して居る所の組織は寫眞 14 の如く細かきパーライト中に複炭化物 Fe_3W_3C が現はれ其硬度 22 内外である、更に下つて 6.7mm の硬度最大 (35) の所では寫眞 15 の如く一層炭化物の量を増して居る、一層下つて 3mm の所では W 増して寫眞 16 の如く地は δ となり其間に $\delta + Fe_3W_3C$ 共晶を現はし其硬度は急に 15 に減じて居る。

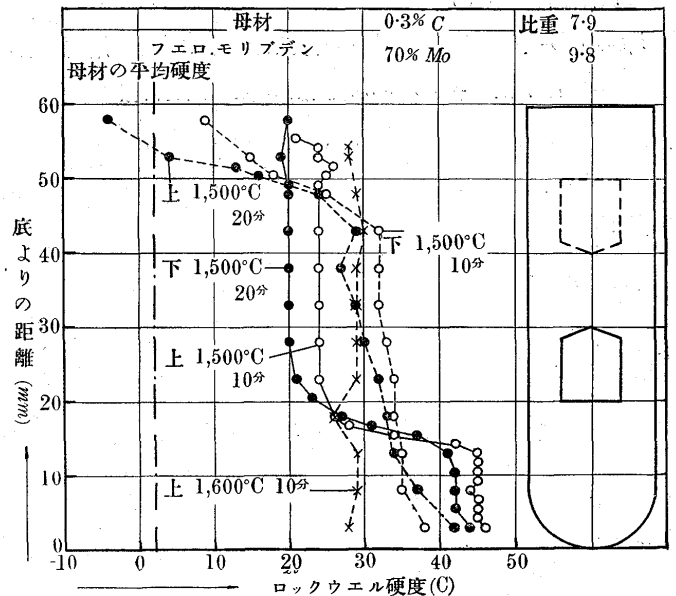
2. モリブデン 添加剤— 70%Mo, 3.19%C; 比重 9.8

| | | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 添加した Mo の量— 2% | | | | | |
| 熔融條件— | | | | | |
| 熔 融 温 度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,600°C |
| 添加剤の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 | 上 |
| 保 持 時 間 | 10' | 20' | 10' | 20' | 10' |

硬度曲線— 第 6 圖

1,500°C・下の場合は添加剤の比重大なるが爲め上方へ

第 6 圖 モリブデン 2% 添加による硬度曲線



の擴散充分ならず 10 分、20 分の場合とも下方に Mo が集積するの傾向あること W に似る、然れども 1,500°C・上の場合は下降の際良く周圍に擴散して下底への集積を減じて居る、然し添加部以上への擴散が至つて貧弱である、又此等の曲線に於て 20 分保持したものゝ硬度が 10 分保持したものゝ夫れより低きは脱炭の多きによる爲めで之れは顯微鏡組織から確めることが出来る、次に 1,600°C・上・10' の場合は硬度曲線殆ど垂直に近く良く上下に擴散して居る而して、其平均硬度は 29 で母材に比して 27 を増して居る。

組織— 今 1,500°C・下・10' の場合につき組織を検討せんに 23mm 以上は略々 24 の同一硬度を有するが 54.2mm の所は寫眞 17 の如く細かきフェライト及パーライトからなり相當 Mo の擴散を認む、更に下つて 15.5mm の所は寫眞 18 の如く大分ソルビチックとなると同時に元のオー

1) 金屬の研究、昭和 5 年、8 月、406 頁

ステナイト結晶の周圍に複炭化物 Fe_3Mo_3C を分離し硬度は 34 となつて居る、一層下つて 3mm の所では寫眞 19 の如く極めて細かきマルテンサイト中に多量の炭化物が介在し其硬度は 46 に上つて居る、之れ Mo の最も多く集積した所である。又 $1,600^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ の上下均一に擴散したものは寫眞 20 の如き組織を有し寫眞 17 に比して組織密で炭化物の量が多く硬度も 29 になつて居る。

要之 Mo は W の場合と同じく添加位置及溫度が其擴散に大影響を有し時間の長短は餘り問題でない、而して $1,600^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ で殆ど完全に擴散せしむることが出来る。

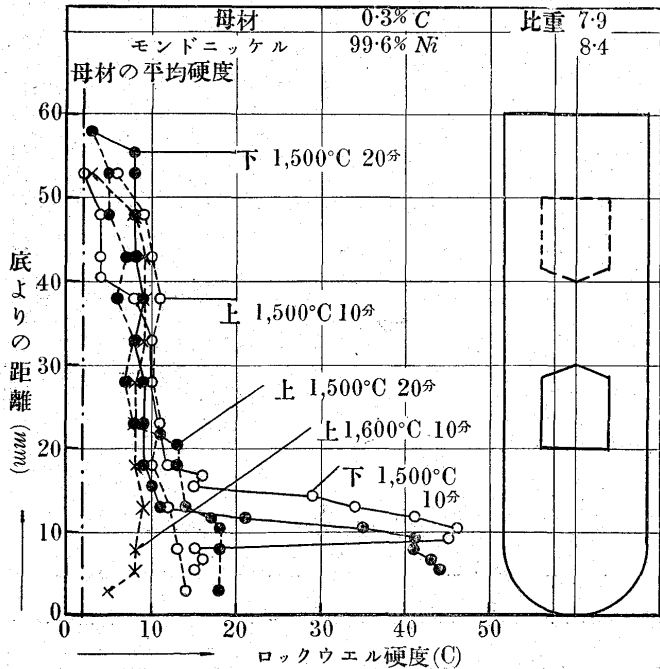
3. ニッケル 添加劑— 99.6%Ni の Mond Ni, 比重 8.4
添加せる Ni の量— 3.4%

| | | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 熔融條件— | | | | | |
| 熔融溫度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,600°C |
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 | 上 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' | 10' |

硬度曲線—第7圖

$1,500^{\circ}C \cdot 下 \cdot 10'$ 及 $20'$ の場合は母材と Ni との熔融點が

第7圖 ニッケル 3.4% 添加による硬度曲線



近似せる爲め相當に良く擴散するが然し Ni の比重大なる爲め下底に集積する傾がある、然るに $1,500^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ 及 $20'$ の場合は Ni が下降する際周圍に擴散するから下底の集積が甚だ少なくなつて居ることは其硬度曲線で窺はれる、又 $1,600^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ では曲線は殆ど垂直になり擴散は完全に行はれ平均硬度は 9 で母材に比し 7 丈け高くなつて居る。

組織— $1,500^{\circ}C \cdot 下 \cdot 10'$ のもので 18mm 以上の部分は母材に似たる粗き鑄物組織を有するが Ni の最も多く集積せる 10mm の所は寫眞 21 の如くマルテンサイトとなり硬度 45 に上つて居る、又 $1,600^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ のものは上下へ一様

に擴散し其組織は寫眞 22 の如く相當粗きフェライト・パーライトとなつて居る。

要之 Ni は比重の関係上上部に装入し熔融溫度を $1,600^{\circ}C$ にすれば短時間で其擴散を完全にすることが出来る。

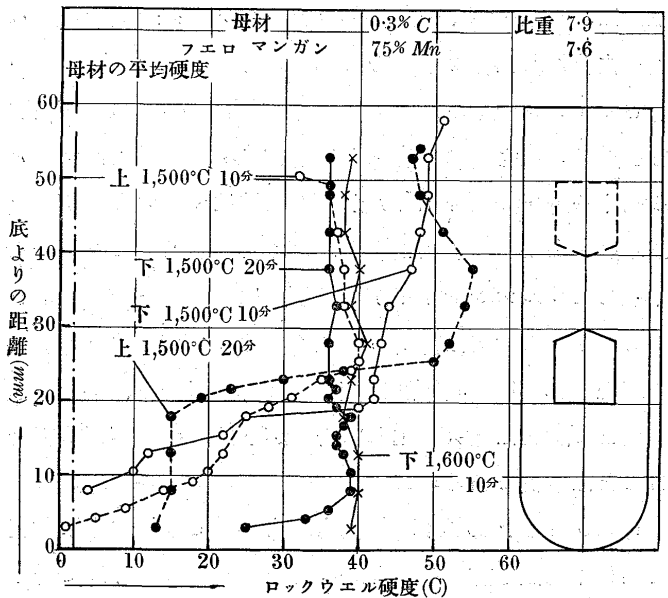
4. マンガン 添加劑— 75% Mn, 6.94% C, 比重 7.6
添加したる Mn の量— 2.6%

| | | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 熔融條件— | | | | | |
| 熔融溫度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,600°C |
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 | 下 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' | 10' |

硬度曲線— 第8圖

$1,500^{\circ}C \cdot 下 \cdot 10'$ の曲線を見るに添加部の下端即ち 20mm 附近から上方へは硬度が直線的に増加して擴散盛なるに反し下方へは急に減少して居る、即ち添加劑の比重が母材に

第8圖 マンガン 2.6% 添加による硬度曲線



比して僅に小なる爲め 10 分間では下方への擴散が不充分である、然るに同一條件で時間を 20 分にすると其擴散が殆ど完全に近い、又 $1,500^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ 及 $20'$ の曲線を見ると下方への擴散が至つて不充分である故に添加劑は下部に入れる必要がある、次に $1,600^{\circ}C \cdot 下 \cdot 10'$ では試料各部の硬度が 40 内外で非常に良く擴散して居る。

組織— $1,500^{\circ}C \cdot 下 \cdot 10'$ の試料の上端 58mm の所の硬度は 51 で其組織は寫眞 23 の如くマルテンサイトであり、下つて 19.3mm の所では硬度 40 で組織は寫眞 24 の如くマルテンサイトとツルースタイトからなつて居り 10.5mm の硬度 10 の所は寫眞 25 の如くフェライト及パーライトからなつて居る。然るに $1,500^{\circ}C \cdot 下 \cdot 20'$ では 8mm 以上良く擴散し硬度も平均 36 であるが其組織は寫眞 6 の如くマルテンサイトとソルバイトからなつて居る。

$1,500^{\circ}C \cdot 上 \cdot 10'$ の上半部の良く擴散せる部分の平均硬

度 38 位であるが之れは寫眞 26 と同じ組織を持つが 20' のもの、上半部の硬度は非常に大で最高 55 で其組織は寫眞 27 の如く全部マルテンサイトである。

終りに 1,600°C・下・10' では良く擴散して上下一様に 40 の硬度を示し組織は寫眞 28 の如くマルテンサイト及ツルースタイトからなつて居る、茲に注意すべきは此等の實驗で加へた金屬 Mn の量は 2.60% であるから 0.3% C の鋼に對しては Guillet のダイヤグラムから見て全部一様に擴散した場合にはパーリチック組織を有する筈であるに拘らず、前述の組織を有する所以は添加劑 Ferro-Mn 中の高炭素に基因する譯である。

要之著者等の用ひた Ferro-Mn は其比重母材に劣ること僅に 0.3 なるに拘らず低温度では盛に添加位置以上に上昇擴散して下部に及ばない性質を有するから之れを特種元素として加ふる場合にも脱酸劑として加ふる場合にも成るべ

く之れを下部に入れて能く攪拌するの必要があると考へる、然し 1,600°C・下・10' では殆ど完全に擴散する。

5. クローム 曩に述べた如く獨逸の Bardenhener は Ni-Cr 鋼鍛造材中に出来る白點の成因及除去法に關する研究論文中に高炭素フェロクロムの熔鋼中への擴散不良なるにより添加劑として低炭素フェロクロムを用ふるの必要あるを指摘して居るので著者等は高炭素低炭素フェロクロム及金屬-Cr の 3 種を添加劑として熔融試験を行つた。

| 添加劑 | 1. 高 C-Ferro Cr | 2. 低 C | 3. 金屬 Cr | 比重 |
|-----|-------------------|----------------|--------------------|-----|
| | 61.5% Cr, 5.48% C | 59.8% " 0.1% " | 98.99% Cr, 0.14% " | 7.2 |
| | | | | 7.3 |
| | | | | 6.8 |

添加したる Cr の量— 1% (3 種共同)

熔融條件— (3 種共同)

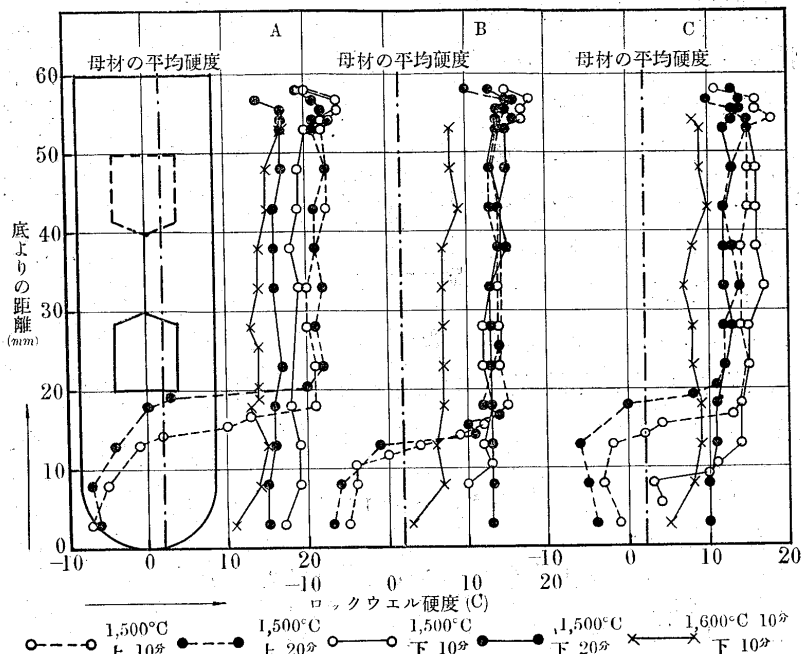
| 熔融温度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,600°C |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 | 下 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' | 10' |

硬度曲線— 第 9 圖 A, B, C

此 3 種の曲線を比較吟味して見ると 1,500°C・上・10' 及 20' の兩者共添加物の如何に拘らず約 18mm 以上の部分には Cr が良く擴散して居るが以下へは殆ど擴散せず其硬度は母材の夫れよりも下つて居る。反之 1,500°C・下・10' 及 20' のものは 3 者共殆ど完全に擴散して A は約 17, B は約 13, C は 12~15 の平均硬度を有して居る、故に Cr

第 9 圖 クロム 1% 添加による硬度曲線

| 母材 | 0.3% C | 比重 |
|-------------|--------------------|-----|
| A 高炭素フェロクロム | 61.5% Cr, 5.48% C | 7.2 |
| B 低炭素フェロクロム | 59.8% Cr, 0.1% C | 7.3 |
| C 金屬クロム | 98.99% Cr, 0.14% C | 6.8 |



は下部に容れさへすれば C の多少に拘らず 1,500°C で 10~20 分で殆ど完全に擴散することが判る、又 1,600°C・下・10' の場合にも完全に擴散して居る、唯 1,600°C の場合が 1,500°C の場合に比して硬度低きは温度高きが爲め C 及 Cr の酸化が多かつたものと考えらる。

組織— 先づ 1,500°C・下・10' で高炭素フェロクロムの良く擴散したもの、組織は寫眞 29 の如くパーライト及フェライトからなり 1,600°C・下・10' のものは寫眞 30 の如く脱炭の爲めフェライトが増して居る、低炭素フェロクロムの場合も大同小異であるから省くことにする、終りに金屬 Cr の 1,600°C・下・10' の良く擴散したもの、組織は寫眞 31 の如くである。

要之 Ferro-Cr 中の C の多少は其擴散の難易に何等關係はない様である、添加劑を下部に容れさへすれば 1,500°C の低温度で 10~20 分で殆ど完全に擴散し温度を高くすれば夫れが一層容易である。

6. 磷 添加劑— 20% P, 0.18% C の Ferro-P 比重 6.7
添加せる P の量— 0.6%

熔融條件—

| 熔融温度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' |

硬度曲線— 第 10 圖

磷は添加位置の上下如何に拘らず保持時間を 20 分にすれば 1,500°C で非常に良く擴散する、但し 10' では試料の下端に及ばない憾がある。

組織— 良く擴散せる所について見れば熔鋼中の磷が鐵中に固溶する 1.7% よりも 1% から少いのであるから其組織は寫眞 32 の如くパーライト及フェライトからなつて居る。

要之磷の擴散は非常に容易で 1,500°C で 20 分間保持すれば添加位置の如何を問はず完全に擴散する

7. ヴナヂン 添加劑— 50% V, 0.18% C の Ferro-V 比重 6.6 添加せる V の量— 1.1%

熔融條件—

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 熔融溫度 | 1,500° | 1,500° | 1,500° |
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 |
| 保持時間 | 10 | 20 | 10 |

硬度曲線— 第 11 圖

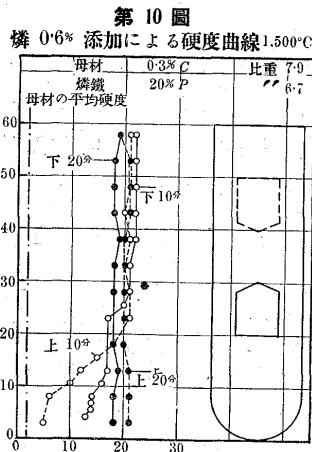
1,500°C・下・10' では 13mm の所まで良く擴散するも其以下へは不充分である、然るに時間を 20 分とすれば上下均一に擴散して平均硬度 25 を示す、又 1,500°C・上・10' では添加劑の比重甚だ小なる爲め 23mm 以下は不充分である。

組織— 1,500°C・上或は下・10' 及 20' のもの、13mm 以上の組織は寫眞 33 の如くフェライトの地に

パーライト及 V_4C_3 の少量を交へて居るが 1,500°C・下・10' のもの、10.5mm の所の組織は寫眞 34 の如く炭化物なくフェライト地に相當量のパーライトを有して其硬度も 21 に下つて V の量少きを示して居る、又 3mm の所は硬度 13 に下り組織は

寫眞 35 の如く母材に似て居るが V 含有の爲め餘程細かくなつて居る。

要之 V は 1,500°C の低溫度で擴散し易く下部に容れた



場合は 20 分で完全に擴散し 10 分では稍と不充分である又上部に入れた場合は添加劑の比重小なるが爲め下方への擴散が不充分である。

8. チタン 添加劑— 51.84% Ti, 痕跡 C, Al 6.15 の Ferro-Ti 比重 5.0 添加せる Ti の量— 1%

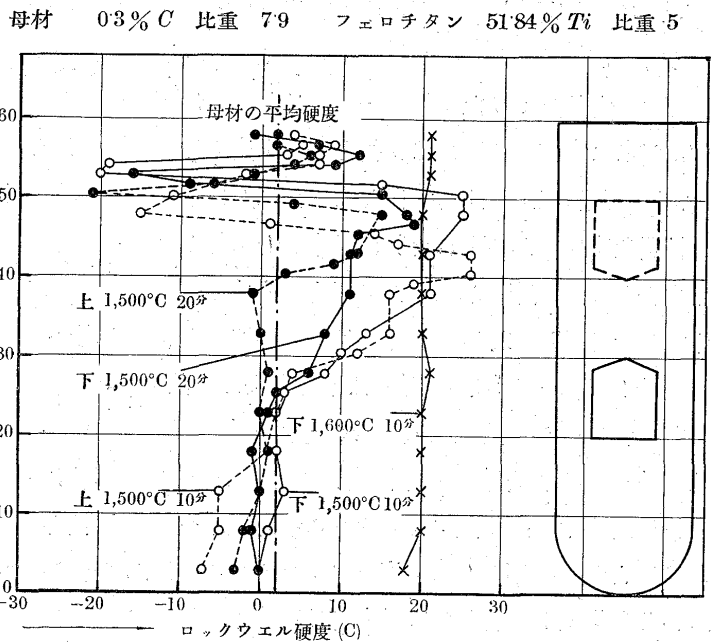
熔融條件—

| | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 熔融溫度 | 1,500° | 1,500° | 1,500° | 1,500° | 1,600° |
| 添加劑の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 | 下 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' | 10' |

硬度曲線— 第 12 圖

1,500°C では添加劑の位置の上下如何及時間の長短に拘らず比重小なる Ferro-Ti は速に上昇して試料の上部に

第 12 圖 チタン 1% 添加による硬度曲線

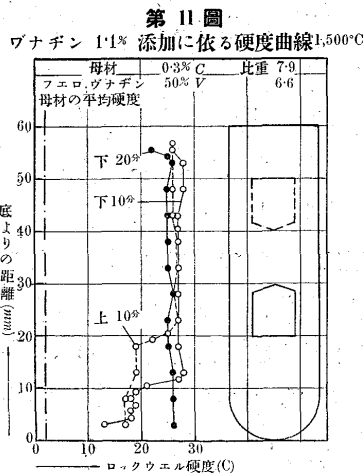


集積し下方へは殆ど擴散して居ない、然れども 1,600°C・下・10' では其擴散極めて完全で其硬度曲線で見ると平均 20 の硬度を示して居る。

組織— 1,500°C・下・10' の試料につき上方から順次其組織を吟味せんに 56.7mm の所では寫眞 36 の如く少しもパーライトを有せず地は 6.3% Ti を含む固溶態と Fe_3Ti 化合物との粒状共晶からなり其内に尙ほ Fe_3Ti の針状結晶を有して居るから Lamort¹⁾ の Fe-Ti 平衡圖から考へると此部分は多分 13% 以上の Ti を含むであらう、然らば母材中にある 0.3% C から來るパーライトは何故に消失したかと云ふに之れは Fr. M. Becket & R. Franks²⁾ の 13% Cr を含む不銹鋼に Ti を加へて其氣硬

¹⁾ Ferrum 1914, S. 325.

²⁾ Trans. Am. Inst. Min. & Metal. 1934, Iron & Steel division, p. 126.



性(Air-hardening property)を除き著しく之れを軟かにする研究で其内に存する C の 5~7 倍に相当する Ti を加へるとパーライトの成立を防げ得る即ち其 A₁ 点を消失せし得ると云ふ結論に合致する、此場合には鋼中の C は凡て Ti と化合して Ti₃C となり之れが γ-鐵に不溶解であるとの推定で説明し得る譯である、次に僅に -20 の最低硬度を示す 53mm の所の組織は寫眞 37 の如くフェライト地の内に共晶を存しパーライトはない。更に下つて 50.5mm の所では Ti 減ずるが爲め寫眞 38 の如くパーライトは殖へフェライト中に若干量の共晶を交へ硬度は 25 に急増して居る。夫れより下るに従ひ Ti は漸減して硬度も下り 3mm の所では母材と同一の組織となり硬度も 0 となつて居る。

又 1,600°C・下・10' で Ti の完全に擴散したものの組織は寫眞 39 の如く母材に似て居るがフェライト中に若干の共晶を有し平均硬度は 20 である。此場合には Ti の大部分はフェライト中に固溶して居るものと考へる。

要之 Ti は 1,500°C 附近では其擴散能が極めて小で速に熔鋼の表面に上昇し亞ひで酸化し去るが爲め其一定量を鋼中へ均一に入れることは至難とされて居るが之れを装入物の下部に装填し 1,600°C 内外で熔融すれば比較的容易且つ等齊に擴散せしむることが出来ると考へる。

9. 珪素 添加剤— 75.9% Si, 0.24% C の Ferro-Si
比重 3. 添加せる Si の量— 1%

熔融條件—

| | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 熔融溫度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C |
| 添加剤の位置 | 下 | 下 | 上 | 上 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 20' |

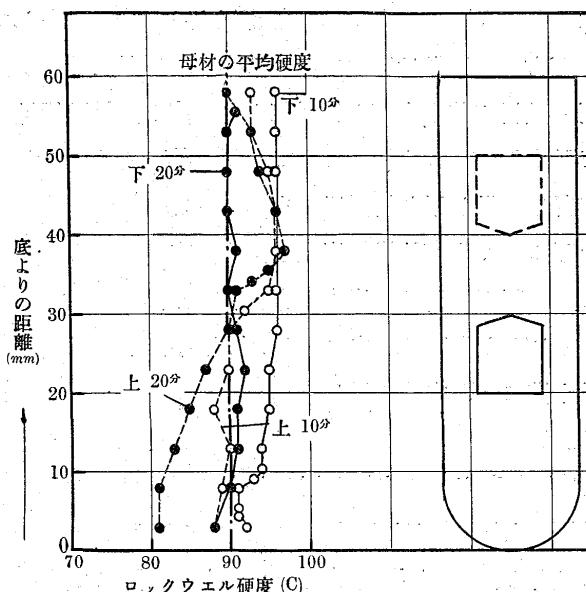
硬度曲線— 第 13 圖

1,500°C・下・10' 及 20' は何れも相當良く擴散して居る唯 20 分の時では脱炭の爲め 10 分のものに比して硬度低く母材の夫れと大差がない、又 1,500°C・上・10' 及 20' の時は添加の位置不適當なる爲め下半部への擴散が不充分である又此場合 20 分のもの、下半部の硬度が 10 分のものに比して遙に低きは時間長き爲め脱炭多かりし爲めと解するの外はない。

組織— Fe-Si 平衡圖で 18% 以下の Si はフェライト中へ固溶態として入るものであるから此場合組織上の變化は認められない譯で何れの場合も寫眞 40 の如く略々母材と均一組織を有して居る、唯著者等の實驗で得た試料はこの寫眞で見ると如くフェライト中に多數の微細なる球状或は筋状の介在物を有して居る、之れ多分 Si の酸化によつ

第 13 圖 珪素 1% 添加による硬度曲線 (1,500°C)

母材 0.3% C 比重 7.9 珪素鐵 75.9% Si 比重 3



て出來た SiO₂ であらう。

要之 Si は熔鋼中に擴散し易き元素で下部に加へさへすれば 1,500°C と短時間内に擴散し了るを見る。

10. 炭素 添加剤— 1. 電極炭素粉 比重 1.6

2. 白銑 3.45% C, 0.15% Si, 0.13% Mn 比重 7.6

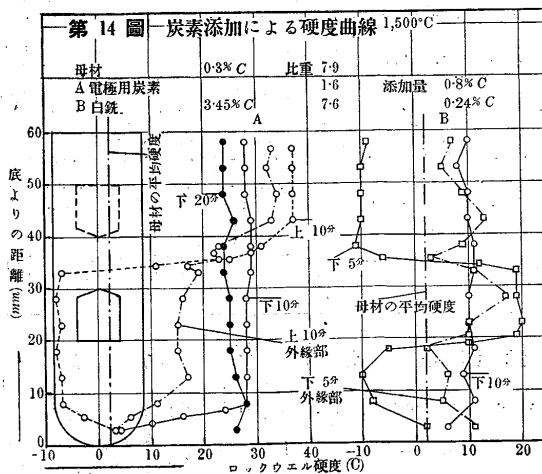
添加せる C の量— 0.8% (電極粉の場合) 0.24% (白銑の場合)

熔融條件—

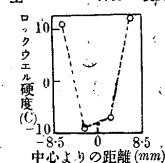
| | | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 熔融溫度 | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C | 1,500°C |
| 添加剤の位置 | 下 | 下 | 上 | 下 | 下 |
| 保持時間 | 10' | 20' | 10' | 10' | 5' |

硬度曲線— 第 14 圖 A, B

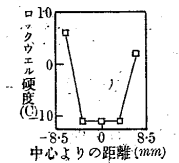
先づ電極粉を用いたものについて述べると曲線 A に示



上 10' 8mm の部分の硬度



下 5' 45.5mm の部分の硬度



す如く1,500°C下・10' 及 20' のものは上下へ略々均一に擴散して居るが 10 分では最下部に聊か及ばない憾がある、次に1,500°C上・10' では添加部以上へは良く擴散して居るが下方への擴散は至つて不良である、又茲で注意すべきは同一試料で其中央部と外縁部との硬度が點線及鎖線の曲線で示す如く著しく異なることである、其理由は C が一旦上半部に擴散し了り熔融點低き C 多き熔鋼が抵抗少き管側を下りつゝ先づ外縁を炭化し漸次内方に及ぶものと考へる、試料断面に於ける炭素分布の状態は寫眞 41 で明かに認めることが出来る、夫れにしては下半部中央の硬度が甚だ低く僅に -7 内外を示して居ることは一寸説明に苦しむ所である。

次に添加劑として白銑を用いたものは曲線βに示す如く1,500°C下・10' では上下への擴散が完全で平均硬度 10 を示して居る、次に1,500°C下・5' のものを調べて見ると恰も C 擴散の途中の状態を見ることが出来る、此場合には C は寫眞 42 で見るが如く添加部の上下 20~30 mm の間に擴散し了り夫れから前に述べた時と同じく管壁に沿ふて上下に擴散して居る、従つて試料外縁部の硬度曲線は鎖線で示す如く不規則ではあるが母材に比して硬度は相當昇つて居る、又此場合に於ても擴散部の上下にある中央部の硬度が甚だ低くなつて居る原因については組織等から一層検討する必要があると考へる。

組織— 先づ電極粉を用いたものゝ組織について述べんに1,500°C下・10' 及 20' の上下均一に擴散したものは硬度 28 で寫眞 43 の如く C 量 0.9% 以上でパーライト及少量のセメントイトからなつて居る、次に 1,500°C上・10' で主として上半部のみに擴散して居る部分の組織は寫眞 44 の如くセメントイトの量が大に増加し其硬度は 37 である、反之 33~8 mm の如く硬度の異常に低き所の組織は

寫眞 45 の如く母材と同様で幾分パーライトが少い、又下半外縁部の硬度 15 内外の所は中央部に比して遙に硬く其組織も寫眞 46 の如くパーライト多く C の擴散多きを見る。

次に白銑を添加劑とした場合の組織を見るに 1,500°C下・10' で C が一様に擴散したものの組織は寫眞 47 の如く母材に比してパーライトの量が多い(0.24% C 増加)、次に 1,500°C下・5' で添加部附近に内外均一に擴散した所の硬度は 19 で組織は寫眞 48 の如くパーライト地に僅少のフェライトを交じるのみである、然るに 38 mm 以上の中央部で硬度僅に -10 を示す部分の組織は寫眞 49 の如く母材に比して遙にフェライトが増加して居る、外縁部 13 mm(鎖線)の所の硬度は 6 で其組織は寫眞 50 の如くパーライトが遙に増して居る。

要之電極粉或は白銑を C の添加劑として加ふる場合には 1,500°C下・10'~20' で完全に擴散するを見る、然るに電極粉を上に加へて 10 分或は白銑を下に加へて 5 分で擴散進行の状態を見るに其周圍へは速に擴散し終るが上下への擴散は先づ外縁部から行はれて漸次中央部に及ぶものであることを確めた。

11. 各元素の 0.1% が炭素鋼の硬度に及ぼす影響

以上述べた 10 種の添加元素中著者等の實驗範圍では到底完全に擴散せしめ能はざりし W 及硬度指數の異りたる Si を除き残り 8 種の元素の 0.1% が 0.3% 炭素鋼の硬度に及ぼす影響を計算して見ると第 3 表の如くである。

これによつて見ると C の影響が最大で P 之れに亞ぎ Ni の夫れが最小である、又 Cr-添加劑の 3 種中高炭素のものが最高の數値を示すは鋼中の C が増す程其影響が大となると解釋すべきであらう。

第 3 表 各元素の 0.1% が炭素鋼の硬度に及ぼす影響

| 元素名 | 母材 | Mo | Ni | Mn | Cr | | | P | V | Ti | C | |
|------------------------|----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | | 高 C | 低 C | 金屬 | | | | 電極 | 白銑 |
| 添加量 % | — | 2 | 3.4 | 2.6 | 1 | 1 | 1 | 0.6 | 1.1 | 1 | 0.8 | 0.24 |
| 熔融條件 | — | 1,600°C 上・10' | 1,600°C 上・10' | 1,600°C 下・10' | 1,500°C 下・10' | 1,500°C 上・20' | 1,500°C 下・20' | 1,500°C 上・20' | 1,500°C 下・20' | 1,600°C 下・10' | 1,500°C 下・10' | 1,500°C 下・10' |
| 平均硬度 | 2 | 28.5 | 8 | 39 | 18 | 13 | 12 | 20.5 | 25.5 | 20 | 28 | 10 |
| 母材の硬度 2 を減ず | — | 26.5 | 6 | 37 | 16 | 11 | 10 | 18.5 | 23.5 | 18 | 26 | 8 |
| *添加劑中に含む C による硬度の増加を減ず | — | 23.5* | 6 | 29* | 13* | 11 | 10 | 18.5 | 23.5 | 18 | 26 | 8 |
| 添加元素 0.1% による硬度の増加 | — | 1.2 | 0.18 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 3.1 | 2.1 | 1.8 | 3.3 | 3.3 |

B. 母材として 3.39% Ni 0.27% C の Ni-鋼を用いた場合

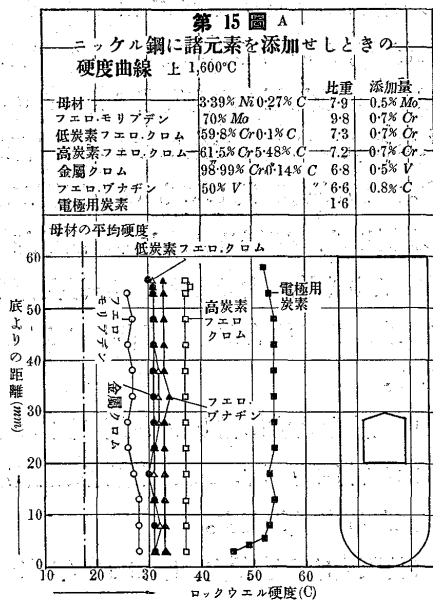
以上述べた所により著者等は C-鋼中への諸元素の擴散と温度、添加位置及時間との関係を明かにしたから此實驗では Mo, Cr, V, C 及 W 等の添加劑を W の外は凡て下部に加へる様に 1,600°C で 10分間保持して Ni-鋼中への擴散を試験することにした。

添加劑の名稱及元素の量一

| 添加劑 | 成分 | 添加元素の量 | 添加位置 | 温度 (°C) | 時間 (分) |
|--------------|----|---------|------|---------|---------|
| Ferro-Mo | | 0.5% Mo | 下 | 1,600 | 10 |
| 高炭素 Ferro-Cr | | 0.7% Cr | 下 | 1,600 | 10 |
| 低炭素 Ferro-Cr | | 0.7% Cr | 下 | 1,600 | 10 |
| 金屬-Cr | 前出 | 0.7% Cr | 下 | 1,600 | 10 |
| Ferro-V | | 0.5% V | 下 | 1,600 | 10 |
| 電極-C | | 0.8% C | 下 | 1,600 | 10 |
| Ferro-W | | 6% W | 上 | 1,700 | 10 及 20 |

硬度曲線一 第 15 圖 A, B

曲線Aは炭素以上6種添加劑の擴散の有様を示すもので、1,600°C、10分間で殆ど皆完全に擴散し了れるを見る、今此等の曲線から各種元素を加へたるものの平均硬度を出し夫れから母材の平均硬度及添加劑中にあるCに基く硬度の増加を差引くと加へた元素に基く硬度の添加を得る。



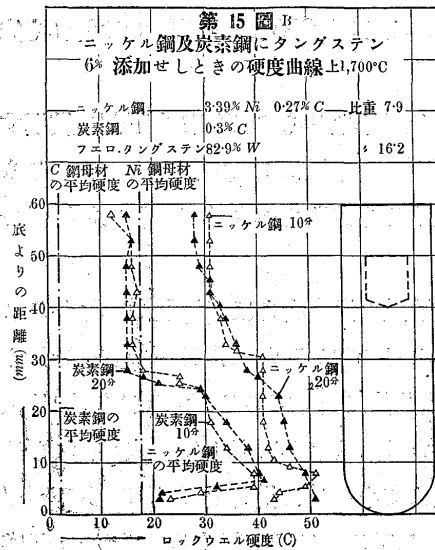
而して各元素の 0.1% による硬度の増加を計算してみると第 4 表に示すが如くである。

第 4 表 Ni-鋼に加へたる各元素の 0.1% が其硬度に及ぼす影響

| 元素名 | 母材 | Cr | | | V | C |
|-------------------------|------|------|-------|------|------|------|
| | | 高-C | 低-C | 金屬 | | |
| 添加量 % | — | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.8 |
| 平均硬度 | 17.5 | 27 | 37 | 31.5 | 31 | 33 |
| 母材の硬度 17.5 を減ず | — | 9.5 | 19.5 | 14 | 13.5 | 15.5 |
| * 添加劑中に含む C による硬度の増加を減ず | — | 8.5* | 16.5* | 14 | 13.5 | 15.5 |
| 添加元素 0.1% による硬度の増加 | — | 1.7 | 2.4 | 2 | 1.9 | 3.1 |
| | | | | | 3.1 | 4.2 |

これによつて見ると C の影響が最大で V, Cr, Mo の順序になつて居るが第 3 表と比較して見て純炭素鋼に対するよりも Ni-鋼に対する影響が遙に大であることが判る、殊に Cr では約 2 倍弱になつて居る。又同じ Cr の影響でも高-C の添加劑を加へた場合の最高なるは炭素鋼の項で述べたと同一の理由によるものと考へる。

次に曲線 B の右方は Ni-鋼に 1,700°C・上・10' 及 20' の條件で Ferro-



-W を加へて熔かしたものの硬度曲線であるが其何れに於ても下方に行くに従つて硬度を漸増し 8mm の所では最高 50 内外の硬度を示して居るが之れを比較の爲めに其左方に再録した同一條件で熔かした C-鋼への擴散曲線と比べて見ると W の下部への集積が著しく少いことを認める、換言すれば Ni-鋼への擴散が C-鋼への夫れに比して餘程容易であることを物語つて居る。

組織— 上部 58mm の所は寫眞 51 の如く細かきパーライトの鑄物組織を有し相當量の W が擴散してゐることを示し 10.5mm の所では硬度 43 で寫眞 52 の如く大部分マルテンサイトに化し 8mm の硬度最高の 51 の所では寫眞 53 の如く全部特徴あるマルテンサイトとなつて居る又 5.5mm の所では硬度が少し下つて 49 となつて居る、が寫眞 54 の如くマルテンサイトの地に $\gamma + Fe_3W_3C$ 共晶を有して居る、要するに下方に至るに従ひ W が漸増して居ることを示す。

VII. 實驗結果の考察

以上求め得たる結果から諸元素の擴散に対する種々の影響を考察して見ると大體次の如くである。

1) 添加の位置— W の如く母材に比して比重甚だ大に且つ熔融點高きものでは之を裝填する位置に拘らず著者等の實驗した 1,700°C までの温度では何時も下部に集積し

て完全に擴散せしむることは甚だ困難である、然し Ferro-W よりも金屬-W の方が幾分擴散し易い様である。

Ti の添加劑は其比重が母材に比して無暗に軽い譯ではないが低溫度では添加位置の上下に拘らず速に上方に浮揚し易い元素であるが下部に裝填して $1,600^{\circ}\text{C}$ で熔融すれば 10 分間で完全に擴散する。

Mo , Ni 等の如く母材に比して比重稍々大なるものは $1,500^{\circ}\text{C}$ では添加位置の如何、時間の長短に係はらず多少下部に集積する傾があるが $1,600^{\circ}\text{C}\cdot\text{上}\cdot 10'$ では何れも完全に擴散する。

其他母材に比して比重小なるものは何れも下部に裝填するを利益とするが P の如き鐵に對して親和力の大なるものは上下何れに添加するも時間さへ充分であれば低溫度で能く擴散する。

2) 熔融溫度— 熔融の溫度高きほど擴散の良好なることは申すまでもないことであるが W は前述べた如く $1,700^{\circ}\text{C}$ に於ても擴散甚だ困難である、之れは勿論 比重、熔融點高と云ふ 2 原因に基く、然し電極- C の如きは殆ど不溶性で比重極めて小なるに拘らず $1,500^{\circ}\text{C}\cdot\text{下}\cdot 10'$ 及 $20'$ で完全に擴散し了るのは鐵に對する親和力の旺盛なるによるのである。

3) 時間— $1,500^{\circ}\text{C}$ の低溫度では熔融時間の長短が擴散に影響すること大であるが $1,600^{\circ}\text{C}$ で裝填位置に適當にすれば多くの元素は僅に 10 分間で擴散し了るから時間の長短は餘り關係がない様である。

4) Ferro- Cr 中の C の多少— 前に述べた如く Bardenhener は高炭素フェロクロムの高溫度に於ける安定性を理由として擴散不良なりと説いて居るが著者等の得た結果によれば此種合金中の C の多少に拘らず $1,500^{\circ}\text{C}\cdot\text{下}\cdot 20'$ で相當良く擴散し $1,600^{\circ}\text{C}\cdot\text{下}\cdot 10'$ では完全に擴散

し了る事實から見て其言の當らざるを認める。

5) C 擴散の特異性— C 擴散の様は他の元素の夫れと著しく異つて居る様に思はれる、即ち寫眞 41 及 42 で見るが如く此元素は先づ添加劑の周圍及上方へ一様に擴散し了り由つて出來た低熔融點の熔體が内部に比して幾分溫度高き管壁に沿ふて上下に侵入し漸次其内部に擴散するものゝ如くである。

6) Ni -鋼中への諸元素の擴散— 普通 Ni -鋼に多く加へらるゝ Mo 以下 Cr , V , C 等の添加劑を其下部に裝填し $1,600^{\circ}\text{C}$ で 10 分間熔融して見たが何れも皆良く擴散して C -鋼に於けると大差はない、又 W は上部に加へ $1,700^{\circ}\text{C}$ で 10 分及 20 分間溶かして見たが下部への集積を免れない、然し C -鋼の場合に比して其擴散が遙に容易であることは確實である。

7) C -鋼及び Ni -鋼に加へたる諸元素が能く擴散した場合に其各 0.1% が夫等の硬度を増す程度を各別に表に纏めて見たが C -鋼に對しては C の影響が最大で P 之れに亞ぎ V , Ti の順序になり Ni の影響が最小である、又 3 種の Cr -添加劑の内高炭素フェロクロムを加へた場合が最大であるのは C 多き鋼ほど Cr の影響が大であることを示す。又 Ni -鋼に對しても C の影響が最大で V , Cr , Mo の順序になつて居る、而して硬度増加の割合が C -鋼に對するよりも遙に大で 3 種の Cr -添加劑中高炭素フェロクロムを加へたる場合が最大であることは C -鋼の時と同様である。

此研究をなすに當り Ni -鋼及種々の添加劑を寄與せられたる神戸製鋼所、三菱鑛業所及電氣冶金工業所等に對し甚深なる謝意を表す。

(於阪大冶金學教室、昭和 10 年 10 月 17 日)