タングステン-モリブデン熱電對 に依る溫度測定に就いて*

會 員 寺 島 元 三 郎

本論文は次の諸項。

従來用ひられて來た溫度測定法の缺點、タングステン-モリブデン熱電對の特性、タングステン-モリブデン熱電對を用ひ平爐の鎔鋼溫度の測定、鎔鋼の上層と下層の間の溫度差の決定、保護管の耐久性と測定に要する費用等に就いてかなり詳しく論じてある。

製鋼作業の際に遭遇する溫度の測定に於いて、現場に適用せられる満足な方法は未だ無い。鎔鋼の溫度は時々、白金-白金ロヂウム熱電對の使用溫度以上になる事がある。然しながら測定溫度が 1600°C を越す事少く、而も白金-白金ロヂウム熱電對が用ひられ得る如き状態にある時は特殊な場合に限り費用のかさむ事を犯しても使用せられる事がある。他の白金屬の熱電對は時にその使用範圍の極限が前者より高い事があるが、然し之等の金屬は白金-白金ロヂウムよりも高價であり、且、問題の溫度に於いて可成りひどく蒸發するのである。

光度に依る溫度測定法には次の缺點がある。即ち、必ずしも同一で無い状態の下に於いて異物質の輻射能は正確に定まつては居ない。従つて測定結果に對する補正は正確に定められない。輻射高溫測定裝置に依る測定には光度高溫計の場合よりも必要な補正が一層大きく、爲に之の缺點は益々著しくなる。

實際に今適用ひられ來たつた卑金屬の熱電對、例へばニッケル、ニッケル-クロム、コンスタンタン、銅等はそれ等の融點が低いので鋼の溫度測定に對しては到底使用されぬ。之に對しタングステンとモリブデンとよりなる熱電對に就いて研究する事は、それ等が卑金屬である事、融點の高い事等の理由に依つて有望なものと思はれる。之等兩者共に線材として得られ、而も均一であつて高溫で左程著しく酸化されず、過度に高價で無い等の事實は一層熱電對として使用し得ると云ふ豫想を有力ならしめる。

従つて之に對する研究がオーサン二世 (Osann jun) の發案に依つてハムボルンに於ける合同製鋼會社のアウグスト・チッセン・ヒュッテ (der August-Thyssen-Hütte, Hamborn, der Vereinigten Stahlwerke A. G.) に於いて著者等 2 人及びライベル (Dipl.-Ing. G. Leiber)

* 本稿は下記論文を邦譯せるものなり。

Temperatur messungen mit Wolfram-Molybdän-Thermoelementen. von Dr.-Ing. Bernhard Osann jun. und Dr.-Ing. Ernst Schröder. (Archiv für das Eisenhüttenwesen, Heft 2, August, 1933. P. 89~94).

の3人の共同の下に行はれた。研究は完成されなかつたが、一般に相當重要と思はれる二三の結果が得られた。

既に文獻に⁽¹⁾ ピラニイ (Pirani) とヴァンゲンハイム (V. Wangenheim). 更に⁽²⁾ シュルツ (A. Schulze) 等に依りタングステン-モリブデン熱電對に依る溫度測定が報告されて居る。然し現場に之等の金屬が使用し得ると云ふ事は報告されてない。尙文獻に就いて詳細に云へば非常な高温の測定に⁽³⁾ シャック (A. Schack) は製鋼工場に於いて白金-白金ロヂウム熱電對を用ひた事がある。彼はそれに依つて鎔鋼の溫度を測定した。⁽⁴⁾ ワットソン (H. L. Watson) とアブラムス (H. Abrams) はタングステン-グラファイト熱電對で溫度測定を行つた。此の際グラファイトは管に形造られ、その管の中にタングステン線を入れ、之等全部は大きな保護管で覆はれた。保護管とグラファイト管との間の空隙は還元氣圈にして置く爲に炭の粉をつめた。此の熱電對で平爐の中の空間に於いて長時間の測定が行はれ、更に鎔鋼の溫度測定も爲された。此の方法の缺點としては、非常に不活潑であると云ふ事である。

そこで以下述べる所の研究を行つたが、その目的としては出來得る限り簡單、而も現場で使用し得る鎔鋼の溫度測定法を發見する事である。

蠟付場所を有せぬ2本の裸線を鎔融金屬の中に入れたのみで溫度を測定し得る事は理論的に妥當である。之の方法に依つて融點の低い金屬の場合には、實際に⁽⁵⁾ ニッケル-ニッケル・クロム線で青銅の溫度を測定した如く、融體の溫度は測定出来る。吾々の場合、2本の線としてはタングステン線及びモリブデン線であるが、此の2本の線の間の蠟付場所とも云ふべきものは、此の測定方法に於いては鎔鋼それ自身である。然し此の際2本の線の間に於いて電氣的結合を生ずる範圍が等温にあると云ふ假定を必要とする。

又鎔鋼の場合の様な高温を測定する際には、湯の表面に於いては熱電對の線の間に決して電氣的結合があつてはならぬと云ふ事を念頭に置かねばならぬ。湯の表面に於いては内部より溫度低く、表面の溫度を測定する事は望ましくないからである。更に裸線は湯に浸されぬ部分への熱の傳導の爲に冷却され、その爲結局小さい金屬の附着物を生ずる。而して此の様な状態の下では、全然異つた溫度の所に於いて電氣的の結合を生じ、測定結果は悪くなる。然し此の影響は線が湯の表面を貫く場所に於いて耐火物の小管で絶縁する事に依つて除かれる。

(1) Z. techn. Physik (1925), S. 358. (2) Z. Metallkde. 22 (1930), S. 311. (3) Arch. Eisenhüttenwesen 3 (1929/30), S. 7/12 (Stahlw. Aussch. 169). (4) Stahl u. Eisen 49 (1929) S. 196. (5) G. Keinath: Elektrische Temperatur-messungen (München: Verlag R. Oldenbourg 1923) S. 243/44.

タングステンの融點は 3300°C であり、モリブデンのそれは 2570°C である。故に普通の意味の鎔融は何れに就いても、 1600°C の鎔鋼中に浸した場合起らぬ筈である。然し實際、線は徐々に鎔鋼中にとけ込む。従つて鎔融熱が消費され、線の冷却を起す。然しながら此の際、周囲の鎔鋼から線への熱の移動が非常に盛であり、實際には此の冷却は無視し得る。線を鎔鋼の温度迄熱するに要する熱の浪費を出來得る限り少くする爲、吾々の研究に於いては、線を浸す前に豫熱した。以上の操作に依つて此の測定方法が行はれるべき理論的の條件は一見充された様であつた。にも拘らず實驗は失敗に歸した。線に結合されたミリボルトメーターは多數の實驗中、或る一定の結果を示す事は甚だまれであり、多くの場合指針は目盛の零點から最高値の間を安定する事なく振れた。結果として得た値は測定すべき温度の變化に依つて起り得るより以上の變動を示した。之は恐らく或る電氣的の攪亂を生じた事に依ると思はれるが、その原因に至つては全く不明であつた。斯くの如き現象は普通の蠟付場所を有する熱電對にも起つた。

以上の實驗で好結果を得ず、次にタングステン、又はモリブデン線を熱電對の一にし、他を鋼の線にして實驗を續けた。此の際他の條件は既に述べた方法と全く同一であつた。此處で鋼線を用ひ得ると云ふ事に對する二三の論據に就いて述べる事とする。蠟付場所を有する熱電對に於いては、測定温度範圍に於いて熱電流を生ずる一線より他の線への物質的の移り變りがある。又モリブデン線とタングステン線を鎔鋼の温度測定に用ひる場合の如く蠟付場所を有しない時は、タングステンから鎔鋼、鎔鋼からモリブデンへの繼ぎ目は矢張測定温度範圍内にある。上

第 1 圖

述の如く湯の表面に於いて線を絶縁した場合は第1圖 a に示す様である。次に鎔鋼に浸された鋼線は下部に於いて鋼の鎔融點即ち約 1500°C 迄熱せられ、之は約 1600°C の鎔鋼からの熱の移動に依り直に鎔融され、鎔鋼の内部に於いて 1600°C 以下の温度範圍がある。第1圖 b に示す様である。物質的に固体の鋼から鎔鋼への移り變りがあり

従つて熱電流を起す。然しながら此の物質的の繼ぎ目は温度に依り制限せられ、同一の温度範圍即ち鎔融温度範圍にありと考へられる。鋼の鎔融點から 1600°C 迄の温度勾配は一相、即ち

銻鋼の中に存在する。故に何等熱電流を生じないのである。この理由に依つて鋼線を銻鋼の溫度測定に用ひ得る事が分る。然し此の場合、鋼線と銻鋼とが同一成分を有すると云ふ假定を必要とする。

その銻融點が銻鋼の溫度以下の金屬を熱電對に用ひる事も考へられる。例へば、融點 1452°C のニッケルを用ひる場合である。この際には前に述べた鋼線の時と熱的には同じである。唯ニッケル線はその銻融點が低いので銻け方が早く、銻鋼の中に於ける低温の範圍が擴がるのである。第1圖 c に示す様になる。此の場合純粹なニッケル線から銻鋼への継ぎ目があり、その間にこの兩者の合金を作つて居る。此の物質的の移り變りの全範圍に互つて、各點の溫度に相應して熱電流を起す。然し溫度の分布がその物質的の分布と一致せず、例へば 1600°C 以下の溫度範圍がニッケルと鋼と合金して居る範圍よりも廣いと云ふ事が起る。又溫度の分布と物質的の分布との關係が時に依り違ふと云ふ事も起り得るので、従つて種々の強さの熱電流を生ずる事になり、之等の理論的の理由に依つてニッケル線を使用し得ない事が知られるのである。

以上の理論を念頭に置き、鋼-タングステン、鋼-モリブデン熱電對を用ひて主に注鋼溫度の測定に對する實驗を行つた。此の場合溫度測定法として次の様な操作を用ひた。即ち鋼線を既に金型の中に注ぎ込んだ銻鋼と結合し、タングステン又はモリブデン線を取鍋の湯口の下で湯の流れの中に保つた。此の方法に依る實驗はタングステン-モリブデン熱電對を使用した時よりもいくらか有効であつた。測定の約半分は略々同一の値を示し、而もそれは銻鋼の溫度に對して適當な値であつた。然し一方測定中には、タングステン-モリブデン熱電對を使用した場合と同様に攪亂の現象の起る場合があり、此の方法も現場には用ひられそうもなく實驗も以上で打ち切る事とした。

以上の方法が總て失敗に終つたので次にタングステン-モリブデン熱電對を保護管に入れ測定を行つた。此の際必要な二線間の蠟付は強い弧光の中で銻かして作つた。即ち、モリブデン線を絶緣管に入れ僅かの距離はなしてタングステン線の上に重ね、アーク中に入れてモリブデン線が銻けて生じた滴でタングステン線を包んだ。最初は銻ける際に酸化せぬ様、アーク中に水素を通したが、後にはこの操作を非常に早く行ふ事に依り、水素を用ひなくとも酸化する事が殆ど無くなつた。

熱電對の檢定はタンマン爐で行つた。約 1640°C 迄は2本の線を直接並べた2本の保護管に入れ、白金-白金ロヂウム熱電對と比較した。白金-白金ロヂウム熱電對及び檢定に用ひたミリボルトメーターは豫めデュッセルドルフ (Düsseldorf) のカイザー・ウィルヘルム鐵鋼研究所 (Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung) に於いて特殊な檢定器によつて檢定されたも

のである。1860°C迄の温度に對しては同じ爐で同様に鐵鋼研究所 (Eisenforschung-Institut) で檢定されたホルボルン・カールバウム高温計に依つて檢定された。之には第2圖に示す様なライバー (Leiber) に依つて作られた装置を用ひた。圖中

第 3 圖

a は他と區劃されその壁の温度は何處も一樣になる様になつて居る。

第3圖はこの様にして得られた熱起電力-温度曲線である。約 600°C に最高點あり、約 1250°C に於て再び零點を通過して居る特殊な曲線である。故に之に依つて明かである

様に 400°C から 800°C

迄はこの熱電對は使用不可能であり、約 1250°C の温度に對しても不適當に思はれる。結局通常のミリボルトメーターを使用すれば目盛の全範圍に互つて使用不可能と云ふ事になる。1250°C 以上に於いては、曲線はほぼ直線となり、この範圍に於いて使用出来るのである。然しながら正確度の點から云へば餘り良好ではなく、1600°C の所で 100°C の温度差は 0.66 ミリボルトの電位差に相當する。之は白金-白金ロジウム熱電對に於ける電位差の半ばより僅に多いのみである。然し若し 17 ミリボルトの測定範圍のミリボルトメーターを使用して十分の一ミリボルトを読み、第二のミリボルトメーターで百分の一を正確に讀めば 3°C の正確度が得られる。又測定範圍の小さいミリボルトメーターを用ひても正確度は高くなる。(6) 此處でハ

(6) Chem. Fabrik 5 (1932) S. 361.

ノウ (Hanau) のジーベルト商會 (Firma Siebert) が鐵と合金せるモリブデンの熱電對を作つた事を一寸附け加へて置かう。此の熱電對は問題のタングステン-モリブデン熱電對よりもその熱起電力-溫度曲線が約 2 倍の傾斜を有すると云ふ利點があり、測定の正確度は明かに大きい。他の點に就いてはタングステン-モリブデン熱電對と同様に良好なものであつて、現場に適する様に思はれる。

タングステン-モリブデン熱電對の場合にも通常の熱起電力-溫度曲線を有する熱電對の場合と同様に、低温接部の溫度を考慮せねばならぬ。實際の測定溫度が 1600°C であり、低温接部の溫度が 50°C の時、第 3 圖に示す様な熱電位差が存在する。然しこの曲線は低温接部の溫度 20°C の時作られたものであり、此の溫度に對して換算する爲、ミリボルトメーター上に讀まれた電位差から 0.14 ミリボルトを差引かねばならぬ。この際の 0.14 ミリボルトは 20°C と 50°C の溫度差に相當するものである。この熱電對に於いても白金-白金ロデウムの時と同様に低温接部の眞の溫度の誤差はそのまゝ、直ちに攝氏の溫度の値として現はれず、 100°C 迄の範圍の電位差曲線が 1600°C 附近よりも傾斜がゆるい爲めに 1600°C の測定溫度に對しては約三分の二の大きさとなつて来る。

熱電對が溫度測定に際して破損しなかつた場合には、使用後もう一度檢定を行つた。多數の熱電對が測定及び檢定を合はせて 12 回、或は早く或は徐々に高溫に熱せられた。同じ熱電對の二つの檢定曲線に於いて差の最高が 15°C であつた。多くの場合此の差は更に少く、屢々曲線の一致するのを見た。かくて檢定の正確度は同一の檢定裝置を用ひた場合、 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ なる結果を得た。屢々熱電對を使用すると熱起電力が高溫に於いて稍々弱くなつたが、此の現象は甚だ微少であり、上述の正確度の範圍にあつて確かに此の現象があると斷言出來ぬ位のものであつた。依つて此の現象あるが爲にこの熱電對を使用し得ぬと云ふ理由は無い。

一つの線から作つた熱電對はその熱起電力-溫度曲線がよく一致し、線が均一である事が知られた。この均一性は別に線の個々の片の蠟付場所を約 1000°C に熱するも、ミリボルトメーターの針が動かぬ事に依つても確められた。アルグマイネン・エレクトリシテート會社 (Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft) の線は相當純粹であり、タングステンの化學組成は 99.1% W, 0.8% Fe, 0.02% P で C は存在せぬ。モリブデン線はモリブデンを 99.98% 含み、鐵は無い。

異なる線を用ひた熱電對は相互にその熱起電力-溫度曲線が著しく異つて居る。甚だしい時は 1600°C に於いて 50°C の差を有する場合もある故、各々の線に就いて檢定を行はねばならぬ。

金屬タングステン及びモリブデンは高溫に於いて酸化するものであり、線の形に於いても 1500°C で空氣中酸化の爲、相當侵されるのを見る。依つて檢定又は測定に於いて最初は水素又は窒素を保護管の中に通じたが、後に 2 mm の太さの線に對して 7 mm の内徑の保護管を

用ひ、出來得る限り保護管を細くし、且、口を石綿を用ひて塞いだ。而して管の中に存在する空氣は酸化の影響を殆ど無くする程度に抜いた。かくして熱電對の取扱ひを可成困難ならしめる保護瓦斯の問題は解決した。然し線が酸化する事に依つて熱電對の熱起電力に何等かの影響を及ぼすや否やを確かめる爲、白金-白金ロヂウム熱電對を用ひて檢定する際、 1500°C に於いてタングステン-モリブデン熱電對の保護管に壓力をかけた空氣を導き入れた。又同様に他のタングステン-モリブデン熱電對の保護管には燈用瓦斯を導き、故意に炭化物を作つてその熱起電力に對する影響をも見た。何れの場合も2時間そのまゝに保つた後、更に熱起電力-溫度曲線を取つたが何れも最初の曲線と一致した。依つてこの熱電對は酸化瓦斯及び炭素の多い瓦斯中に於いて長時間使用し得る事が判つた。

大多數の實驗に於いて特にタングステン線の脆い事及び線の電氣抵抗を考慮に入れて2mmの直徑の線を用ひた。この熱電對の用ひられる様な高溫度に於いては、線の溫度に依る電氣抵抗の増加が著しい爲、長い熱電對で而も細い線を用ひる時は測定の誤差を生じ易く、之は殊に抵抗の少いミリボルトメーターを用ひた時に甚だしい。只熱電對の線の短い場合及び高温の狭い範圍の測定にのみ使用する場合には1mmの線又は場合に依つては更に細い線を使用し得るのである。

以上の準備の後、2mの長さのタングステン-モリブデン熱電對を用ひて平爐の鎔鋼の溫度を測定した。保護管としては、1.75mのシリマニット ($\text{Sillimanit } \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) 製の管が用ひられた。シリマニットは軟化溫度が 1600°C 以上であるが、滓に浸され易く、依つてシリマニットの保護管を更にシリット (Silit SiC) の保護管で包んだ。此の保護管は白金-白金ロヂウムに依り鎔鋼溫度を測定する爲、シャック (A. Schack) に依り用ひられた事がある。熱電對の構造は第4圖に示す通りである。熱電對は

第 4 圖

の中に浸された。低温接

部は壓搾空氣を以て冷され、空氣の溫度を測る爲に水銀寒暖計を備へつけた。此の溫度は我々の場合 22°C であつた。熱電對は最初約1分程燃焼室中で豫熱され然る後湯の中に浸された。第5圖はミリボルトメーターに表はれた電壓とそれに相應する溫度を示す。此の圖によると浸して後最高百秒で溫度の上昇止まり、その時これが鎔鋼の溫度を示す事が知られた。

此の測定方法による結果を吟味する爲、試料を杓子に汲んで光度高温計により溫度を測定しその結果と比較した。此の方法は良く滓を取つて奇麗にした杓子で試料の鎔鋼を汲み、爐の外で靜かに注ぎ出して、その際に光度高温計によつて溫度を測定するのであり、普通製鋼工場に

第 5 圖

る事が知られる。最高の違ひが 15°C であり、而して七つの熱電的の測定法の平均値は杓子に依る測定法の平均値と約 6°C 違つて居た。

次にシリットなくシリマニットの保護管のみで4噸の電氣爐で同様な方法で二つの測定を行つた。シリマニットの保護管は測定には耐へたが銻鋼と滓に侵された爲に引き出す時壞れた。測定の一は 1665°C の結果を得、一は他の銻鋼に就いて 1655°C となつた。

又先に述べた熱電對をシリマニットとシリットの保護管に入れて平爐の銻鋼中で最大三回迄の測定を行ひ得たが、保護管の下端が壞れ、或は多くの場合熱電對の下端も損はれた。之等の損傷は時として2回目の測定にも現はれ、最初の測定で起る場合すらあつた。依つて之等を使用する事は不便且不經濟であり、特に良い性質を有する耐火材であるジンターコルンド (Sinterkorund) の保護管を用ふる事とした。此の材料は温度の變化によく耐へ、滓に侵され難く、且高温に於いて瓦斯に密であり、 1730°C で漸く軟化する。此の保護管に依つて4米の長さの熱電對の下端が包まれ、第6圖に示す如く爐の圓天井を通して入れられた。此の裝置の利點として熱電對の位置を略々爐床の中央に置く事が出来る事である。爐の

於いて行はれ、又⁽¹⁾ シュレーダー (E. Schröder) に依る鹽基性平爐法に於ける鋼と滓の熱容量に就いての研究にも採用されて居る。

七つの熱電的の測定結果と七つの同時に又はすぐ續いて行はれた杓子測定法の結果との比較が別にシュレーダーに依つて發表されて居る。

此の比較結果に依ると之等二つの測定法の結果がよく一致す

第 6 圖

(1) Stahl u. Eisen に出る答。

戸から熱電對を入れて測定する時は爐の端の方の温度が測られるのであつて、此の部分の温度は湯の主塊の温度と異つて居ると考へられる。更に爐の天井を通して測定すると、湯の種々の深さに於ける温度が知られ、滓と湯との境をなす層と爐床の底近くの湯の間に生ずる温度差を確め得る。此の温度差は平爐に於いて、冷金學的及び熱的の處置を講ずる際に重大な役割をなす。

第 7 圖

熱電對の構造は第7圖の様である。下の部分は850 mm の長さのジスターコールド管で作る(之以上の長さの管は作

られて居ない)。熱電對の線と線との分離にはジスターコールドの小管を用ひ、種々の陶器類を用ひる事を避けた。陶器類を用ひると滓を生ずる虞れがあるからである。ジスターコールド管に3m以上の長さの鐵管を繋いだ。圖に見る様にマグネシドNSTAIN (Magnesidonstein) の筒に依つて二つの管を結合させた。鐵管は更にシヤモット管で覆つた。斯くの如き方法に依り作つた熱電對を最短5分間爐中に保つたが、鐵管が熱せられて破壊する様な事はなく、故に面倒であり又爐の圓天井に於いては望ましくない水冷は行はぬ事とした。熱電對の低温接部は管から相當離れて居るが壓搾空氣で充分冷却した。

以上述べた装置に依る最初の測定は熱電對を爐中に挿入する際、可成徐々に操作したに拘らずジスターコールド管が割れた爲失敗した。2回目には熱電對を風に依つて冷却しつゝ更に注

第 8 圖

意深く挿入して成功した。然し此の回は湯及び滓から引き上げた後にジスターコールド管が割れた。なほ熱電對の挿付場所は無事であつた故、爐の空所の温度をこの裸線に依つた測定した。

測定結果は第8圖の様である。之に依ると湯の上層と下層の温度差は15°Cである。湯が可成激しく煮え立つ事がこの温度差を生ずる主な原因と考へられる。此の測定に於いて熱電對が損はれなかつた爲更に熱起電力-温度曲線を作つたが、その結果前述の曲線と一致した事を附け加へておく。

次に鎔鋼爐の朝顔の部分に於いて二回溫度測定をやつた。此の時は熱電對を爐の中に突込む爲、加工して先端をつぶした鐵管を用ひた。此の中にシリマニットの保護管で包まれた熱電對が入れられた。鐵管は滲炭の影響で 1500°C 以下の溫度で鎔けて終つたが之は測定に對して影響せず、1460°C 及び 1410°C の結果を得た。

以上の測定に對する費用を考へる爲、第1表に熱電對線、保護管等の價格をのせた。之迄述べられた保護管は耐久性が餘り無い爲、測定の一つ一つが高價なものとなり、研究に使用する事さへ既に問題となる事である。研究に對してはまだ許されるとしても、現場に於いては絶対に考慮せねばならぬ事である故、更に研究を重ねて改良された測定裝置を發明するか、又は他の保護管を使用して測定器具の耐久性を高め、その使用範圍を廣める事が必要である。上述の裝置に依つては何回かの測定の後、優良な保護管は壞れ、熱電對の線を失ふ事を勘定に入れねばならず、此の點から云つてタングステン-モリブデン熱電對は白金-白金ロヂウム熱電對より大いに優つて居る。1m のタングステン-モリブデン熱電對は 1mm の太さの線で 3.40 RM、2mm のもので 11 RM. であるが、1m の白金-白金ロヂウム熱電對では 0.66 mm の太さの

第 1 表

品 名	販 賣 會 社 名	價 格
1. タングステン線直徑 2 mm	AEG	~135.00 RM/kg = ~8.00 RM/m
2. タングステン線直徑 1 mm	AEG	~175.00 RM/kg = ~2.60 RM/m
3. モリブデン線直徑 2 mm	AEG	~ 95.00 RM/kg = ~3.00 RM/m
4. モリブデン線直徑 1 mm	AEG	~100.00 RM/kg = ~0.80 RM/m
5. タングステン-モリブデン熱電對、長さ 2 m, 内徑 2 mm	AEG	~22.00 RM
6. タングステン-モリブデン熱電對、長さ 2 m, 直徑 1 mm	AEG	~ 6.80 RM
7. シリマニット保護管、長さ 1.75 m, 内徑 6 mm	Europäische Koppers P.B. Sillimanit G.m. b. H., Essen Siemens-Planiawerke, Berlin	{ ~ 8.60 RM (1 本) 10.20 RM (1 包) 17.45 RM (1 本)
8. シリマニット絶緣管		
9. シリット保護管、長さ 1.50 m, 内徑 12 mm		
10. シリマニット、シリット保護管を有する長さ 2 m, 直徑 1 mm, タングステン-モリブデン熱電對		~43.00 RM
11. 10に於いて下部の破損による損失(線及び絶緣管の大部は尚ほ使用になへるものとす)		~30.00 RM
12. ジンターコールド保護管、長さ 850 mm, 内徑 15 mm	Siemens & Halske, Berlin	26.40 MR (1 本)
13. ジンターコールド絶緣管、内徑 4 mm	Siemens & Halske, Berlin	10.40 RM (1 包)
14. 下部にジンターコールド保護管を有する長さ 4 m, 直徑 1 mm, タングステン-モリブデン熱電對		~50.00 RM
15. 14に於いて下部の破損による損失(線及び絶緣管の大部は尚ほ使用になへるものとす)		~30.00 RM

もので 100 R.M. である事に依つて知られる。依つてタングステン-モリブデン熱電對を現場に於いて多數の高溫測定に使用する事は、將來有望である様に思はれる。

總 括

タングステン-モリブデン熱電對の特性を述べ、製鋼工場に於て此の熱電對を使用した測定實驗を述べた。裸線を用ひて鎔鋼の溫度を測定する事の不可能である事を確かめ、次に保護管に入れたタングステン-モリブデン熱電對を爐の扉又は圓天井から入れて平爐の鎔鋼の溫度を測定し成功した。同時に湯の上層及び下層の溫度差を知つた。此の際用ひられた保護管の耐久性が弱い爲、タングステン-モリブデン熱電對の値は比較的安いに拘らず、個々の測定は可成高價なものとなつた。要するにタングステン-モリブデン熱電對を經濟的に且有効に活用する爲には更に研究を進め、改良された測定器具を考案せねばならぬ。