

表

タングステン 鑛石を用ひて直接タングステン 鋼を 熔製せる工業實驗報告 (I)

(日本鐵鋼協會第 27 回講演會大會講演 昭 17.4 於東京)

原 田 源 三 郎*

TUNGSTEN STEELS MADE DIRECTLY FROM ORES

Genzabrô Harada

SYNOPSIS: By comparison of the formation heats of metallic oxides per kilogram, an interesting and unexpected fact was found that tungsten oxides (WO_2 as well as WO_3) are more reducible than the oxides of iron or manganese. The reducing power of the electric final slag is so strong that it reduces FeO or MnO in the metal completely. It was thought that it is possible to gain a refined tungsten steel by adding wolframite (61% WO_3) on to the bare bath and reducing two hours more with sufficient coke (18% by weigh) under normal reducing slag.

Being based on the abovementioned ideas, 35 times preliminary tests were conducted, and 1.8~2.4% W steels were melted 10 times in succession with the same 5-ton Héroult furnace of the Honkeiko Special Steel Co., Ltd.. The excellent result was summarized as follows:

- (1) The mean yield of tungsten amounted to 99.6% (nearly all tungsten was reduced) and there remained only traces in the slag.
- (2) All results of the mechanical test surpassed those of their specifications. In case the reducing is preferably 30 minutes longer, the more manganese reduced and the higher tensile strength obtained.
- (3) The present direct method of manufacture is more economical and less labourous than the ordinary FeW process.

Following the aforementioned researches, the Honkeiko Special Steel Co., Ltd. made success in melting low-alloy tungsten steels with less than 2~4% W by the present method.

Again, recently the author found by the log sheets a distinct difference in the reduction speeds between Mn and W. At present, the author is expecting future possibilities in the following three lines:—

- (1) Higher-alloy tungsten steels to be obtained by reducing wolframite for 60~70 minutes and refining them with a new second slag which contains no ore. ("3 slags process")
- (2) Further higher-alloy tungsten steels (high speed steels) to be obtained from the WO_3 manufactured by treating the wolframite hydrometallurgically.
- (3) Alloy steels with Mo, Ni, Co, Cu, Cr or Mn to be obtained by the same principle.

目 次

- I. 概 要
- II. 使用鑛石
- III. 熔製方針
- IV. 熔製結果
- V. 物理試驗結果
- VI. 全實驗結果の總括
- VII. 結 論

I. 概 要

私共はフェロタングステン FeW を用ひず、W の酸化物である W 鑛石を適量の還元劑と共に鹽基性弧光爐の還元期に投入して、直接 W 鋼を作りましたが、斯の如き一見無茶の様な作業はこれまで何處にも實施せられて居ない様

であります。然しよく考へて見ますと、弧光爐の還元滓は非常に強力で、熔鋼中に存在して居る FeO, MnO すら殆ど完全に還元致しますし、一方 WO_3 或は WO_2 の 1kg 當り生成熱を FeO, MnO と比較しますと明かに低く即ち還元せられ易いので(第 1 表参照)作業宜しきを得れば、この方法によりて希望の W 鋼を得ることが出来る道理だと思ひます。さうなれば FeW の製造工程を省略出来ますので數年前よりこれを實驗して見度いと考へて居ました。

たまたま昨年の夏本溪湖特殊鋼株式會社は FeW を製造すべく、大倉事業株式會社の岫巖重石採鑛所より WO_3 61% のウオルフラマイトを獨占的に獲得致しましたが、未だ緒に着かず 10 數 t を在庫して居た所に、〇〇鋼第 1 種甲や特殊工具鋼の如きロータングステン鋼を數百 t 製造割當を受けました。

* 株式會社本溪湖煤鐵公司

第1表 金属氧化物 1kg 當りの生成熱

氧化物	生成熱	氧化物	生成熱	氧化物	生成熱
Al ₂ O ₃	3.849	MnO ₂	1.440	WO ₃	846
MgO	3.585	MnO	1.280	WO ₂	620
SiO ₂	3.267	Fe ₂ O ₃	1.223	NiO	826
TiO ₂	2.730	Fe ₃ O ₄	1.167	Sb ₂ O ₃	580
CaO	2.348	FeO	913	SnO	527
V ₂ O ₅	2.355	MoO ₃	1.215	CuO	474
VO	1.557	MoO ₂	1.116	Cu ₂ O	306
Cr ₂ O ₃	1.605	CoO	855	PbO	228
CrO ₂	1.400				

Richards: Metallurgical Calculations, p. 18~19.

幸に私の擔當して居ました宮原工場も5電弧光爐を2基同年春より運轉して居ましたので、かねての計畫に従ひ池田常務の諒解を得て、最初から5t 爐により勇躍實驗に着手致しました。

第1回は特に3t 裝入にてW0.5~1.0の特殊工具鋼第3種を試み豫期以上の好成績を示しました。其後4.5電或は5t 裝入としW分も順次高いもの迄種々條件を換へて、35回實驗を繰返し、工場の全員がこの方法に慣れると共に、具體的に最も適當と思はれる熔解方針を決定致しました。

そして今度は其方針に従ひ10回連続してW1.8~2.4%の〇〇鋼第1種を熔製致しました所、果してWの歩留は平均99.6%に達し、其成品は顯微鏡下にも、又鍛造或は壓延作業を施しても全然事故無く、物理試驗も立派に軍の地金規格に合格し、非常に經濟的で、然も作業は却つて樂でありますから、同社では其後引續きこの方法によつて、この種のW鋼材を多量製造致して居ます。

後刻申述べます通り何等特別の装置も要らず、困難も無く、極めて容易に目的を達することが出來て、時局下にWの如き稀有貴重なる資源を完全に利用し得たのみならず同様な原理で、Mo, Co, Ni, Cu, Mn等も直接回收し得る様に思はれまして、ここに全熔解回數47、インゴット194t ウォルフラマイト使用總量5.5tの全實驗結果を、使用鑛石、熔解方針、熔製結果、物理試驗結果、實驗結果の總括の順序によつて申述べ皆様の御高教を請ふ次第であります。

II 使用鑛石

1. 品位

滿洲國奉天省岫巖縣の大倉事業株式會社岫巖重石採鑛所産のウォルフラマイトで塊60~30mm小粒10~3mm及び粉末1mm以下の3種があります。塊及び小粒は山元にて手選選鑛を行つたもので所々に僅か乍ら美しいシーライトの針狀結晶を有し、不純物は殆ど珪石ですが、粉末は山元で簡単なネコナガンを行つて居る關係か珪石は殆ど無く

7.8% ギャレナを含んで居ます。これはギャレナが採掘中に粉末になり易いのと珪石が比重差により容易に分離せられるからだと思ひます。

何れも50kgづゝ麻袋に入つてをり全部WO₃60%ものとして購入して居ますが、品位は57乃至65%の間にあり中でも60~61%のものが最も多數を占めて居ます。

第2表の①は塊の1例で②③④は粉末10袋を4分法によりサンプリングした分析例で、平均品位は約61%でありますから、本實驗では全部鑛石の品位をWO₃61%, Wとして48.5%, として諸種の計算並に作業を行ひました。

第2表 ウォルフラマイトの成分

	① 塊	②粉 ₁	③粉 ₂	④粉 ₃	粉の平均
WO ₃	60.8	62.18	60.62	60.40	61.07
SiO ₂	12.9	1.62	3.2	1.70	2.17
FeO	10.2	8.85	9.65	8.78	9.09
MnO	10.6	10.5	10.8	10.51	10.6
CaO	1.0	4.96	4.68	4.69	4.77
Al ₂ O ₃	1.8	1.8	1.3	1.82	1.64
MgO	0.90	0.73	1.59	0.85	1.06
Pb	0.80	5.7	4.12	6.91	5.58
Cu	0.10	0.10	0.12	0.12	0.11
S	0.43	1.62	1.96	1.65	1.78
P	0.020	0.019	0.027	0.036	0.024
灼熱損失	0.30	2.04	2.20	2.17	2.14

47回の實驗中Wの歩留が100%を超過した例が9回ありまして、内1回は明かに作業上の過失と判明しましたがこれ等は品位が平均値より高かつた場合であり、逆に十分還元して鋼滓中にもWが全然残留しなくても、歩留が90%前後の例もあります。

塊や小粒を爐中に投じますと、比重は略々7であるにかゝらず、熔鋼の表面張力と温度差との爲に中々沈まず、ぶくぶくと動きながら浮いて居ますが1~2mn後に熱の爲に破壊せられて見えなくなります。

理想的に申しますと全鑛石を一度粉碎致しまして、均一に混合した上で使用すべきでありませうが、幸に我々の場合は鑛石の品位差よりWの規格の範囲が廣いので、其中央を狙ひ注意して製鍊すれば、塊、小粒、粉のまゝでも立派に規格に合致することが出來ました。

こゝで一言FeWに言及しますが、以前度々FeWを用ひましたが、その品位は往々にして可成り大きな差異がありまして、1樽中の平均値を知るに相當苦しんだことがあります。これは製造工程を考へますと或程度はやむを得ぬ様で是非均質なものを得るためには、一度作つたFeWを小さく粉碎しよく混合してこれを再熔解すると聞いて居ます。又FeWの製造に際しては相當量のWが鋼滓中に

入り、熔解温度が高いために、1回毎に爐を取壊し、電力消費量はt當り6000~10000kWhで、これに相應して電極の消耗も多い様です。

こんな事情でFeWの製造には深い技術と經驗と電壓調整の容易な特殊なる變壓器を要すると承つて居ます。又これを使用する際には小豆位の大きさに砕いた方がよい様ですがこれが又可成り手數を取り飛散損失も相當あります。

我々は本實驗によりW2.4%以下の場合はこの面倒な工程を完全にオミットすることが出來、順次Wの高いものにもこれを試みつゝあります。

2. 成分金屬の還元

これは還元鋼滓の強さ、還元時間、爐内温度等によることは勿論であります。後述の熔製方針に従つて作業すれば(a)Wは1h後に90%以上約2hで完全に還元せられ(b)Fe(c)Mnはこれに次ぎますがFeの方は問題ではありません。

元來Mnが高いとW鋼の熱處理に害が有りますので、普通その限度は0.5或は0.45%以下となつて居ます。

我々のウオルフラマイト中のMnはWの17%に相當してをり、これが大半熔鋼中に入りますので原鐵中のMnを極度に低下しましてもW4~5%の場合は鐵石中のMnの爲に0.52或は0.6となり規格を突破します(第46,第47参照)。

斯の如く、本方法によるWの最高限度は意外にもMnの爲に限定せられるのであります。

若しシーライトやタングスタイトの様なMnを含まぬ鑛石を得れば問題はありますが、一番産出の多いウオルフラマイトの場合に如何にしてこの難關を突破するか?これの打開に次の2方法があると思ひます。

第1はMnOとWO₃の生成熱の差異を利用する。

WO₃は爐内にて容易にWO₂になりますが、其生成熱はMnOの1/2以下であります。後節の第4表に示す様に鋼滓中のWO₃は投入後1hにて殆ど全部と言つてもいい程還元せられて居ますが、MnOは極僅かだけ還元せられそのまゝ鋼滓中に殘存して居ます。こゝで一度鋼滓を除去し新にも一度還元鋼滓を作る、つまり3鋼滓法であります。第2は半濕式法で、ウオルフラマイトを曹達に少量の食鹽及び硝石を加へた融劑で溶かし、水中に投入してWのみをNa₂WO₄の水溶液として他のものと分離し、これにHCl

を加へてWO₃の沈澱を得、これを本方法によりて利用する。

兩方法とも興味深いものがありますが、次の機會に譲ります。

(d)Pb.鉛は一番早く還元せられますが、元來鐵と鉛は全然固熔體を作らないので、Osannの鐵冶金學(BdI.S.S.640~641)には鑛石中の鉛は熔鑛爐中で一部氣化するが大部分は比重差の爲に鉄鐵の下に沈み壁の合せ目や煉瓦の中を貫通して爐床に集るからこゝに坑道の様な溝を掘つて鉛を採取すると書いてあります。我々の場合鉛は還元後熔鋼を通つて爐床上に沈み出鋼の時に又熔鋼中に混入せられて鋼質を害するのではなからうかと心配しましたが幸に熔鋼表面上で直ちに還元せられ、高温に會つて容易に沸騰して氣化します。鉛の沸點は理科年表(昭和16年版p.D-50)には1620°Cとあり、後藤博士の合金學には1555°Cとありますが、我々の實驗では、鑛石を入れて送電するといつても5~6mm間煙の色が赤黄色を帯びその後段々と消えて普通の黒い煙に變ります。(PbO黄Pb₂O₃赤)有の儘に申しますと私は初めは鉛の存在に氣付きませず、ウオルフラマイトの粒や塊に殆どギヤレナが見えませんでしたから、この色はWO₃黄、W₄O₁₁紫、WO₂チョコレートの爲かと思ふて居ましたが、どうもおかしいので、粉末の分析を見て、初めてこれを知つた様な次第でありました。第36~第45の全部の定性試験を行ひましたが鉛は熔鋼中には全々入つてをらず、壓延又は鍛造を行ひましても毛割も龜裂も生じませず、殆ど何等の惡影響の無かつたことは非常な幸でありました。

(e)Cu(f)Pは熔鋼に入りますが、(g)Sはこの鋼滓によつて完全に除去せられます。

以上の如く、吾々のウオルフラマイトは原鑛のままです幸に實用に供されますが、Sn,Zn,Sb等を有する場合は豫備處理を要しますし、Pbも除去回收するのが賢明かとも思ひます。

III 熔製方針

35回の實驗結果を比較検討して次の熔製方針を定め、第36~第45の10回連続製鍊を行ひました。

1. 目的鋼種及其規格

〇〇鋼第1種甲

成分 W—1.8~2.4%

C—0.6~0.75%

Mn—0.2~0.5% P—0.03%以下

S—0.03%以下 Si—規格なし

機械的性質

第4種試験片及衝撃試験片を以て、860°Cより油焼入れし次に580~650°Cより焼戻を行ふて抗張力100kg/cm²以上伸14以上絞40以上シャルピー衝撃値3kg-m/cm²以上ブリネル硬度270以上

2. 装入原鐵及び酸化製鍊

使用爐の公稱容量は5tですが、胴徑2750mm胴高1675mmで標準サイズより、餘程小さく色々と試みましたが5匁装入はどうもオーバチャージになりますので、装入原鐵の計を4.5匁とし其中1.5匁は本溪湖煤鐵公司製の海綿鐵、1匁は工場戻屑、残り2匁は購入屑鐵で主に昭和製鋼所より得たピレットの末端であります。

煤鐵公司製の海綿鐵は同社では特に高純鐵と申しますが廟兒溝の富鐵を磁力選鐵にて品位70%とした選粉に約7%の水分を加へたものを、徑120mm、厚さ30mmの丸形に成型し、團鐵爐にてヘマタイトに變成し、これを粉骸に石灰を加へた還元劑と共に坩堝に互層に入れ外部より1000°Cに30h加熱還元し、徐冷却後取出し、プレスにかけて居ます。製造直後の成品成分はT.Fe 96.5%、金屬鐵92~93%、P—0.011、S—0.008%程度ですが、残念乍ら保存中にも少しづつ酸化致します。私共は昭和9年以來、これを弧光爐或は高周波爐にて連續熔解致して居ますが、その酸化の度を見て木炭或は低磷コークス粉を、1~3%加へて熔解致します。普通鋼材の再酸化は700°C位までは極く輕微でそれ以後ぐんぐん進みますが、我々の海綿鐵は300°C前後ですでに再酸化を開始し600°C位迄はH₂、CH₄、CO等が多量に存在して居ても尙且つ少量の漏洩空氣の爲にどんどん酸化致します。酸化圈なら尙更であります。600°C以上に於てこの兩再酸化を再還元し、尙熔落のCを0.5%見當に致す爲に上の木炭或はコークスを加へるのであります。

若しCが低すぎれば低磷鉄にて加炭し、熔鋼の温度の上昇を待つて、C 0.35~0.40迄オーアリングして酸化鋼滓を掻き出します、かうすればオールスポンヂでも歩留94~5%位になります。

この様に酸化製鍊は、一般操業と何等擇ぶ所はありませんし、又必しも上の様な原料鐵を要する譯ではありませんが、私共は鋼材の使用用途を考慮して、この原料を選びまし

た。

要は原料を選び過酸化に陥らぬ様に注意し十分丁寧に除滓致します。

3. 還元製鍊

本實驗の主眼點でありましてウ、ルフラマイトを190kg又は200kgとその約18%に相當する粉コークス約35kgとの混合物を酸化鋼滓を除去せる裸湯の上に、成可く電極の直下を避けて急ぎ投入し、續いて其上に石灰150kg、コークス30kg、螢石15kgより成る還元鋼滓を投入して扉を閉ちて直ちに送電します。

Wの歩留を100%熔鋼の歩留を95%とすれば190kgの場合はWは2.13%、200kgの場合は2.24%となり、成品の規格の中央よりやや高目になります。

コークスの灰分は約20%で、その使用量はW 鑛石中のWO₃、FeO、MnO中のO₂と作用しCOガスとして除去すると考へた値の20%増しに相當致します。

鋼滓の配合比は1₀:2:1で普通のカーバイドより寧ろコークス分は低く、螢石もW 鑛石中の珪酸を考慮して少し少く致します。

熔鋼上の装入物の厚さは約10cm位になりますが還元用及び鋼滓用のコークスの爲にアークは穴を穿つて容易に熔鋼上に達し、能率よく鑛石を還元致しますから、初め黄味及び赤味を帯びた煙も56mn後には普通の通り黒くなり、5~60mn後にはカーバイドを生じます。即ち斯様に行へばカーバイドの成製は鑛石を加へなかつた場合と殆ど差違はありません。

こゝで爐内を十分攪拌致しまして第1回のサンプルを取ります。この際往々にしてホワイトスラッグになつて居ることもあります。爐況に應じてコークス、石灰、螢石を適當に加へ1'40'頃又十分に攪拌して第2回のサンプルを取り、FeSiを加へ石灰、コークス、螢石にてスラッグを調整します。

1'50'頃又十分に攪拌して第3回のサンプルを取り熔鋼沈靜状態、スラッグの色澤、流度、カーバイドの強弱を十分吟味し2'0~10'頃最後のサンプルを取り熔鋼の温度及び作業全體の状勢を判定して出鋼します。

還元期の後半、弱カーバイドを維持すればWは勿論FeもMnも大部分還元せられFeSiの使用量は装入t當り3kg見當でいゝ様です。

還元期中のCの増加量は大體0.25~0.30%位であります。

第 3 表 第 36~第 45 の熔製結果

實驗 番號	製鋼 番號	装入原鐵				除滓 前の C	良 塊	湯道 其他	熔鋼 歩留	成品の成分					W 歩 留	還元製 鍊時間	使用 電力	
		海綿鐵	戻鋼	屑	鑛石					C	Si	Mn	P	S				W
第 36	ル445	1500	1000	2000	200	0.37	4125	260	95.3	0.68	0.17	0.34	0.009	0.008	2.12	96.0	2° 5'	4580
第 37	ル448	"	"	"	190	0.28	550	3850	91.6	0.68	0.25	0.34	0.009	0.008	2.05	98.2	2°55'	3880
第 38	ル451	"	"	"	"	0.38	4400	280	100.5	0.65	—	0.42	0.018	0.007	2.17	111.2	2°38'	3890
第 39	ル452	"	1800	1200	"	0.39	4125	310	96.4	0.69	—	0.45	0.014	0.007	2.16	104.2	2°13'	3650
第 40	ル455	"	1000	2000	200	0.26	3850	390	92.0	0.65	0.13	0.44	0.016	0.008	2.22	97.0	2° 5'	4020
第 41	ル456	"	"	"	190	0.33	4255	260	95.8	0.67	—	0.47	0.014	0.008	2.16	106.0	2° 0'	4240
第 42	ル457	"	"	"	200	0.37	4400	"	98.1	0.84 [▲]	—	0.46	0.022	0.008	2.01	96.6	1°55'	3740
第 43	ル458	"	"	"	"	0.40	4125	"	92.1	0.71	0.24	0.42	0.019	0.009	2.02	91.3	2°10'	3520
第 44	ル459	"	"	"	190	0.39	4255	510	101.0	0.58*	—	0.39	0.015	0.009	1.95	101.0	1°47'	3370
第 45	ル460	"	"	"	"	0.42	3850	260	87.3	0.73	0.20	0.47	0.014	0.008	2.12	94.4	2°12'	3900
									平均	94.5					平均	99.6		

す。

全操業中 FeMn は加へません。若し加へると規格を突破しますから。

以上の諸點中 W 鑛石の投入時期が極めて大切であります。豫備實驗の時に W 鑛石を 2 回に分けたり、始め還元鋼滓のみを投入して暫時製鍊せる後に鑛石と還元剤を加へるとか或はカーバイドが発生せる後に加へるとか、色々試みましたが、これでは折角のカーバイドが破壊せられたり或は其生成に長時間を要して其間に天井が流れるとか爐床が浮上るとか或は C の増加量が高すぎるなどの爲に完全な還元が出来なくなります。豫備實驗中 W 歩留の低かつたのは殆ど全部この爲であります。

WO₃ 又は WO₂ の生成熱は非常に低いので或は本實驗よりも弱いカーバイド或はホワイトスラッグでも尙且つ容易に還元せられるかと思ひますが、〇〇鋼の場合はこの程度で順調に實施せられます。

一般に W 鋼は C が高目のものが多いので本方式による直接製鍊は比較的容易であります。

IV 熔 製 結 果

第 3 表に示す通りで、これを總括致しますと

1. 成 品 成 分

W は最高 2.22 %、最低 1.95 %で一つ残らず、立派に合格致しました。

Mn は FeMn を少しも加へずに最高 0.47、最低 0.34 %です。P 及 S は共に良く低下して居ます。これは原料をよく選び且つ本法が脱磷脱硫に適して居る爲であります。C は第 42 は爐中分析の誤差の爲に又第 44 は作業上の僅な見込によりて残念乍ら規格外に出ました。實に恥しく残念でなりません。

2. W の 歩 留

最高 111.2 %、最低 91.3 %、平均 99.6 %であります。これは鑛石重量に 0.485[WO₃-61% として]を掛けた W の推定量と、熔鋼重量に W の % を掛けた値との比であります。

3. 熔 鋼 歩 留

装入原鐵、加炭用の低磷銑鐵、FeMn 鑛石中の W 等全装入金屬の和と、成品に湯道、餘湯、戻屑を加へた全熔鋼との比であります。最高 101 %、最低 87.3 %で平均は 94.5 %であります。

4. 造 塊

鋼塊は皆 275kg 型で全部押湯をつけて居ます。四角錐で平均對邊距離は 200mm、高さは 800mm、傾斜は 4 % あり始め 14 本を下注し、殘湯を上注にしました。

第 37 は出鋼温度が稍低かつた上に、クレーンの故障により、僅に 2 本だけ上注致しました。

装入金屬と鋼塊との比は 80.6 %であります。

5. 電力消費量

装入電當り 826kWh、鋼塊電當り 1002kWh で、普通製鍊の場合と違はず、電極消費量は完全に測定することは出来ませんでした。別に切換も致しませんでしたから、電力と同様大差ないものと思はれます。

6. 爐壁、爐床、天井の損傷

これも通常法と少しも違ひません。

7. 鋼 滓

第 36、37、38、スラッグ中の W を見ましたが何れも、痕跡でした。實はこれを度々完全にやつて見るべく試料を採取致しましたが、丁度他の作業の関係で實施出来ませんでした。

其後ル 633 にて同様に〇〇鋼第 1 種甲を熔製しました。

時小生も立會つて試料を取り、これを煤鐵公司の分析課にて分析致しましたので、御参考に供します。

第4表 ル633の鋼滓分析(昭17.5.8)

番	採取時刻	W	Si	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Ti	全炭	S	P
1	1°0'	0.28	18.58	3.67	7.98	2.54	61.87	4.27	0.94	2.84	1.26	0.0084
2	1°30'	0.26	22.68	3.24	1.77	3.13	59.57	7.26	0.51	2.62	1.31	0.0080
3	1°45'	0.22	20.30	1.82	3.25	3.68	57.38	10.90	0.52	1.40	1.11	0.0088
4	2°20' 出鋼前	0.07	20.08	3.12	3.54	2.31	53.36	13.99	1.11	0.86	1.02	0.0113
5	2°25' 取鋼中	痕跡	27.18	11.14	4.42	1.44	40.13	14.25	1.09	0.79	0.70	0.0126

本結果中最も興味深いものは WO₃ であります。還元滓を投入せる直後に於ける WO₃ は 122kg で、全鋼滓量は 431kg (鑛石 200kg, コークス 36kg, 石灰 150kg, コークス 30kg, 螢石 15kg, 計 431kg) ですから、 $\frac{122}{431} = 28.3\%$ に相當するものが 1h 後には上表の如く 0.28% 即ち $\frac{1}{100}$ に還元し低下しております。

次に FeO, MnO の變化は多少不自然の様に見受けませんがこれはよく攪拌しても尙且つ均齊にならない爲かとも思はれますが、大局的に見て最初 5.6% のものが 1h 後に約半減しその後 1h つまり出鋼直前には最初の約 1/4 程度まで還元せられて居ることあります。

ここに前述の 3 鋼滓法の秘鍵があります。

V. 物理試験結果

1. 試料の採取

第 36, 37, 40, 43, 45 の 5 チャーチから各 1 本づゝ鋼塊を取りました。普通作業では能率を考慮して前記の 200 ㍉のインゴットを直接 1250HP の小型用粗ロール (ロール径 560 胴長 1600mm 回轉數毎 mn 65) にて、回パスさせて 84 ㍉のピレットにし十分にチツピング或はグラインディングして更に仕上ロールにかけますが、本實驗では折悪しく粗ロールの故障の爲に 2t ハンマー (スチームハンマーをコンプレストアールにて動作する) にて 80 ㍉の鋼片とし更に 1/2 ハンマーにて 25mmφ 及び 15mmφ を鍛造して試料に供しました。

2. 試料の作成

小型電氣マツフル爐により規格に従ひ夫々表に記入せる温度並に時間により 2 重焼入を行ひ第 4 種抗張試験片及びシャルピー式衝撃試験片を製作しました。

3. 試験機

Riehle Brothers 50t 抗張試験機
 シャルピー式 30kgm 衝撃試験機 } 東京衡器製
 ブリンネル硬度計

4. 試験結果

第5表

試験番号	製鋼番号	熱処理		抗張試験片				衝撃試験片			
		焼入	焼戻	抗張力	伸	絞	破断状況	硬度	衝撃値	平均	硬度
第36	ル445	860°C	580°C	103	17	38	カツ	311	5.3	4.8	311
		1h 油冷	1h 油冷	101	18	37	ブ	"	4.5		
第37	ル448	"	600°C	104	19	44	"	321	5.6	4.7	321
			1h 油冷	101	"	42	"	"	4.1		
第40	ル455	"	"	102	20	49	"	"	4.1	4.1	311
				101	"	47	"	"	4.0		
第43	ル458	"	580°C	102	19	44	"	311	7.1	5.8	302
			1h 油冷	100	20	49	"	"	5.2		
第45	ル460	"	600°C	110	19	47	"	352	4.0	4.2	331
			1h 油冷	108	"	46	"	341	4.4		
地金規格	860 油冷	580~650° 油冷	100 以上	14 以上	30 以上		270 以上	3.0 以上		270 以上	

第5表に見るやうに全部規格に合格致しましたが、詳細に點検しますと衝撃値、伸、絞、硬度等何れも十分であります。抗張力は少々低目であります。海綿鐵を用いたものは一般に斯る傾向があると言はれて居り、本實驗でも期せずしてこの傾向が現れましたが、私はこれに就いて多少の疑問を持つて居ます。例へば上の結果の中第 45 は規格に照しても抗張力は高うござゐますが、Mn も他より高う御座ゐます。こゝに何か残つて居るやうな氣がします。本溪湖海綿鐵のみを弧光爐で溶解致しました場合 C が 50 位ありましても 30 前後の様に見勝であります。これは P, S が前に述べました様に低い外に Mn も 0.18% 位しか無いのも其の 1 因と思ひます。

更に熔鋼中の Mn 分がはたして金屬 Mn かそれとも鋼中に浮遊せる MnO か MnS かも斷言出来ませんし、又鋼中のガスに就ては残念乍ら分析を行つて居ない現場勤務員であります。海綿鐵の關係者として、若し Mn, Si を適當に調整すれば、衝撃値、伸、絞は高く然も抗張力の低いものが得られることを待望しつゝ目下次の研究を繼續中でありませう。

5. 顯微鏡試験

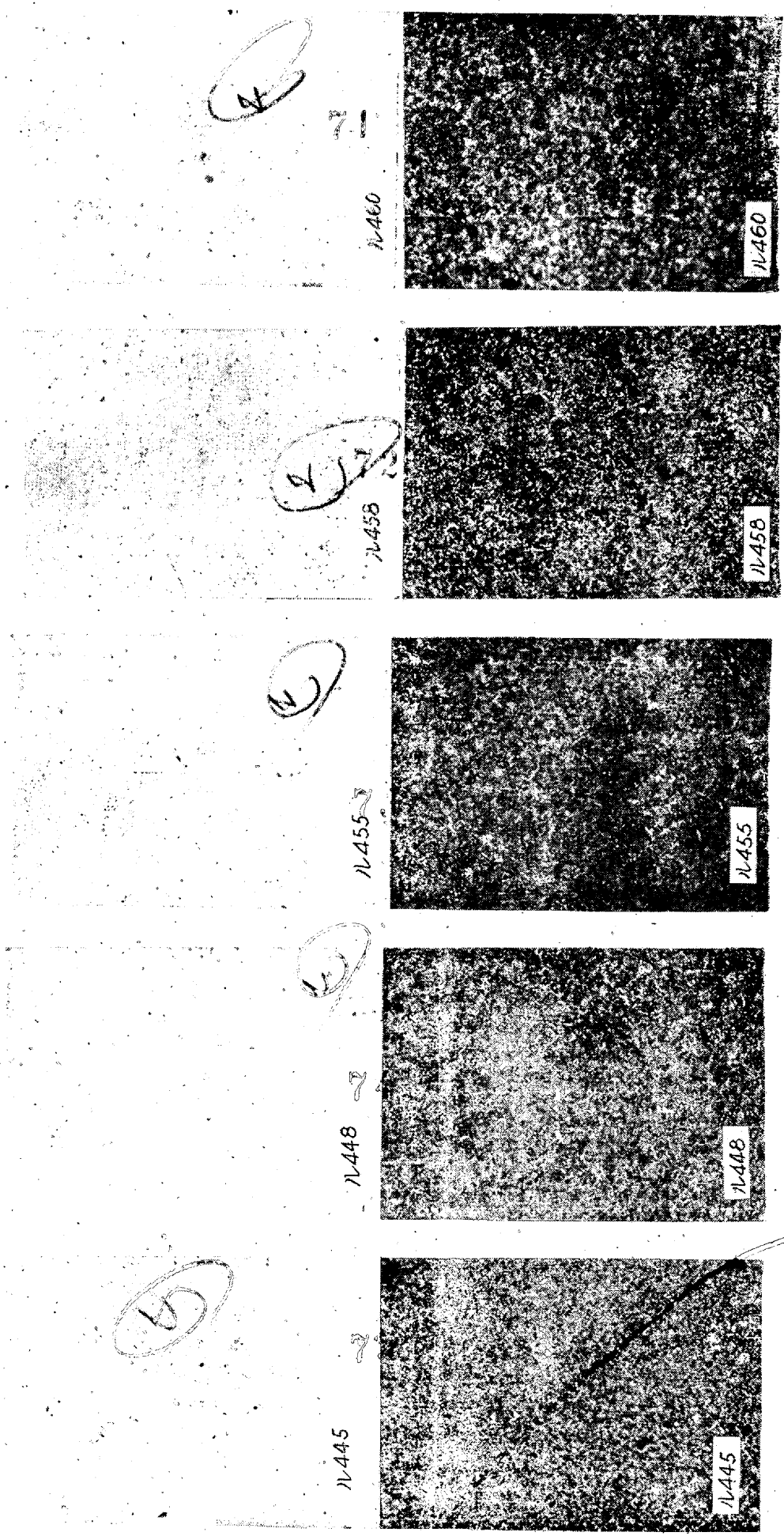
上の衝撃試験片に就て腐蝕前と腐蝕後の寫眞を撮りました。倍率は皆 100 倍です。大きな非金屬介在物は見えませんが、これに就ては特に皆様の御指導を仰ぎ度く、私共は更に更に製鍊技術を修鍊せねばならぬと思つて居ます。

VI. 全實驗結果の總括

最後に第 1 より第 35 迄の豫備實驗及び第 36~第 45 の ○○鋼第 1 種と最後の特殊工具鋼第 1 種實驗 2 回計 47

8

4



タングステン 鑛石を用ひて直接タングステン鋼を熔製せる工業實驗報告 ×76

第 7 表 タングステン 鑛石を用ひて直接 タングステン 鋼を熔製せる工業實驗記録

實驗 番	製鋼 番	熔製 年月日	目的鋼種	裝入原料 kg					配合原料 kg				
				工場 戻鋼	購入 屑鐵	海綿 鐵	低磷 鉄	計	FeSi	FeMn	FeCr	低磷 鉄	W鑛 石
1	ル 368	16-8-28	特殊工具鋼第3種	—	—	2500	500	3000	5	36	37.5	—	45
2	ル 377	9-2	"	2000	1500	1500	—	5000	10	47	60.0	—	66
3	ト 80	9-8	"	"	"	"	—	"	5	48	"	92	"
4	ト 281	"	"	"	"	"	—	"	8	50	"	—	"
5	ト 282	9-9	特.工.2	—	3500	1500	—	5000	10	15	60.0	—	115
6	ト 283	"	"	—	"	"	—	"	"	25	"	—	"
7	ト 284	"	"	—	"	"	—	"	5	"	"	125	"
8	ト 285	9-10	"	—	"	"	—	"	"	17	"	150	"
9	ト 286	"	"	—	3900	1100	—	"	7	15	"	"	"
10	ト 287	"	"	—	3500	1500	—	"	5	25	25	195	"
11	ト 288	9-11	"	—	"	"	—	"	8	17	"	100	"
12	ト 289	"	"	—	"	"	—	"	10	15	"	50	"
13	ト 290	"	"	—	"	"	—	"	"	25	"	—	"
14	ト 291	9-12	"	—	"	"	—	"	"	5	"	—	"
15	ト 292	"	"	—	"	"	—	"	"	17	"	125	"
16	ト 293	"	"	—	"	"	—	"	5	17	"	—	"
17	ト 294	9-13	"	—	"	"	—	"	10	20	"	50	"
18	ル 386	9-14	〇〇鋼第1種甲	1000	2000	1500	—	4500	5	23	60	—	190
19	ル 387	"	"	"	"	"	—	"	10	"	—	—	"
20	ル 388	"	"	"	"	"	—	"	"	14	—	—	"
21	ル 389	9-15	"	"	"	"	—	"	15	25	—	—	"
22	ル 390	"	"	"	"	"	—	"	10	18	—	50	"
23	ル 402	9-20	特.工.2	800	3450	—	250	4500	10	18	54	—	115
24	ル 403	"	"	2000	1000	1500	—	"	5	"	"	100	"
25	ル 404	9-21	"	"	"	"	—	"	"	"	"	180	"
26	ル 405	"	"	"	"	"	—	"	8	16	"	—	"
27	ル 406	"	"	"	"	"	—	"	10	18	"	100	"
28	ル 410	9-23	〇.〇.鋼	3400	300	800	—	4500	10	10	—	—	220
29	ト 299	9-26	—	1000	2500	1500	—	5000	15	23	—	—	210
30	ト 300	27	特.工.3	2000	1500	"	—	"	20	50	60	—	90
31	ト 301	"	〇.〇.鋼	1000	2500	"	—	"	15	15	—	—	210
32	ト 302	"	特.工.3	3500	—	"	—	"	20	50	60	—	90
33	ト 305	29	特.工.4	1000	2500	"	—	"	15	17	—	—	"
34	ト 306	30	"	"	"	"	—	"	10	11	—	—	"
35	ル 415	10-3	〇.〇.鋼	"	2000	"	—	4500	5	10	—	250	190
36	ル 445	10-23	〇.〇.鋼	1000	2000	1500	—	4500	7	—	—	—	200
37	ル 448	24	"	"	"	"	—	"	10	—	—	200	190
38	ル 451	25	"	"	"	"	—	"	"	—	—	60	"
39	ル 452	"	"	1800	1200	"	—	"	"	—	—	—	"
40	ル 455	27	"	1000	2000	"	—	"	20	—	—	—	200
41	ル 456	"	"	"	"	"	—	"	10	—	—	120	190
42	ル 457	28	"	"	"	"	—	"	"	—	—	150	200
43	ル 458	"	"	"	"	"	—	"	"	—	—	160	"
44	ル 459	"	"	"	"	"	—	"	17	—	—	120	190
45	ル 460	29	"	"	"	"	—	"	13	—	—	100	"
46	ル 497	11-16	特.工.1	—	1500	1500	—	3000	20	—	35	60	270
47	ル 499	11-17	"	—	"	"	—	"	20	—	—	—	"
計	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表

17

タングステン鍍石を用ひて直接タングステン鋼を熔製せる工業實驗報告

149

實驗場所 滿洲國本溪市 本溪湖特殊鋼株式會社宮原工場及研究所
 使用電氣爐 宮原工場第1號及び第2號鹽基性弧光爐
 使用鍍石 大倉事業株式會社 岫巖重石採鑛所產ウオルフラマイト(滿洲國奉天省岫巖縣) 昭和17年9月

W鍍石中 W kg	装入及配 合原料計 (金屬)	熔 鋼 kg			熔鋼と装入 及配合原料 計との比%	良塊と %	成 品 化 學		
		良塊	湯道餘 湯及屑	計			C	Si	Mn
21.8	3145	3575	240	3815	121†	114†	0.74	15	49
31.9	5149	4125	560	4685	90.8	80.2	0.91	14	99
"	5237	4675	410	5085	97.2	89.3	0.91	33	99
"	5150	"	450	5125	99.6	90.8	0.84	14	86
55.7	5141	4400	420	4820	93.8	85.7	1.16	20	61
"	5151	"	260	4660	90.4	85.4	0.85	12	65
"	5271	4675	"	4935	93.8	89.0	0.99	33	64
"	5288	"	"	"	93.3	88.4	0.98	16	40
"	"	"	510	5185	98.2	"	1.08	40	53
"	5341	"	640	5315	99.7	87.6	0.99	20	69
"	5241	"	390	5065	96.6	89.3	"	"	"
"	5191	"	330	5005	"	90.2	1.00	12	53
"	5151	"	310	4985	96.7	90.7	0.97	20	74
"	5146	4400	260	4660	90.7	85.6	1.12	19	51
"	5131	4125	"	4385	85.5	80.3	1.38	17	69
"	5263	4675	"	4935	93.7	89.0	0.91	23	73
"	5196	4125	660	4785	92.0	79.4	1.10	35	67
92.2	4680	3850	280	4130	88.5	82.4	1.17	33	83
"	4625	"	240	4090	88.4	83.2	1.00	—	73
"	4616	4125	340	4465	96.8	89.5	0.66	—	55
"	4632	3850	260	4110	88.7	83.2	0.83	—	88
"	4670	"	"	"	87.8	82.4	0.67	—	67
55.7	4638	3850	260	4110	88.7	83.0	1.38	17	69
"	4733	4400	"	4660	98.5	93.0	1.03	29	53
"	4804	4125	430	4555	94.7	86.0	1.04	27	55
"	4634	3850	390	4240	91.4	83.2	1.18	27	63
"	4738	4125	360	4485	94.8	87.3	1.19	24	73
106.5	4626	3575	260	3835	82.9	77.2	1.01	—	83
101.5	5140	4675	"	4935	96.0	91.0	0.60	—	64
43.6	5174	"	340	5015	96.9	90.3	0.86	21	86
101.5	5132	4400	390	4790	93.4	85.7	0.77	—	69
43.6	5174	"	"	"	92.6	85.1	0.94	22	97
"	5136	4675	"	5065	98.7	91.2	0.55	20	40
"	5125	4950	260	5210	101.8	96.5	0.63	21	31
92.2	4857	3850	420	4270	88.0	79.2	0.70	—	59
97.0	4604	4125	260	4385	95.3	89.8	0.68	17	34
92.2	4802	550□	3850□	4400	91.6	11.5	"	25	"
"	4662	4400	280	4680	100.5	94.4	0.65	—	42
"	4602	4125	310	4435	96.4	89.7	0.69	—	45
97.0	4607	3850	390	4240	92.0	83.4	0.65	13	44
92.2	4722	4255	260	4515	95.8	90.3	0.67	—	47
97.0	4757	4400	"	4660	98.1	92.5	0.84+	—	46
"	4767	4125	"	4385	92.1	86.5	0.71	24	42
92.2	4722	4255	510	4765	101.0	90.2	0.58*	—	39
"	4705	3850	260	4110	87.3	81.8	0.73	21	47
—	—	—	第36~45の平均		94.5	—	—	—	—
130.8	3246	2620	440	3060	94.5	80.8	1.37	16	52
"	3186	2710	310	3020	94.7	85.0	1.46	23	60▽
3360.0	226996	194240	—	213900	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	94.3	85.6	—	—	—

表

還元鋼塊滓材料			加炭用		實番 驗號	電力 消費 kWh.	記 事
石灰	螢石	コー クス	コー クス	電極 屑			
160	5	45	20	—	1	3500	† Wの歩留りのいい場合は S 十分低くなつて居る 爐床が掘れて熔鋼がました。鏝中は W は痕跡。インゴット {は初の大部分下注 {餘湯 上注 ノズル径 50 mm
230	20	57	—	40	2	3763	
210	30	67	—	—	3	3860	
225	35	65	—	—	4	4400	
200	20	75	—	—	5	4160	* W鑛石及還元劑を2回に分つて投入せり 鏝中の W …… 0.21
〃	25	63	—	—	6	3840	
〃	30	54	—	56	7	4855	
〃	20	78	—	—	8	4360	
〃	〃	28	35	—	9	4280	
〃	35	57	—	—	10	4255	
〃	—	40	—	40	11	4185	
〃	10	20	—	30	12	3350	
〃	25	60	—	—	13	3540	
〃	40	50	—	70	14	3815	
130	20	50	—	50	15	〃	† 一同に全部投入せり
180	35	54	—	55	16	4270	電極把持器の故障の爲に酸化製鍊時間延びる
210	40	57	—	50	17	3390	
320	—	40	—	—	18	4220	目的を變更して工具鋼第 11 種として出鋼せり
230	40	88	—	40	19	3710	
220	10	80	—	25	20	3852	☆ (何かの間違ひか?)
230	10	70	—	40	21	4340	
180	20	60	—	10	22	3670	
210	5	60	—	50	23	3240	
〃	〃	50	—	35	24	3615	
250	—	45	—	—	25	3595	
130	20	40	—	—	26	3420	
300	20	30	—	15	27	3730	
160	—	100	—	12	28	3320	
180	—	80	—	30	29	4200	(以下全部 W 鑛石及還元劑は一度に投入せり)
150	7	50	—	25	30	3505	△ (秤量誤差か?)
230	30	80	—	〃	31	3760	
180	35	63	—	—	32	3480	
220	25	75	—	—	33	3860	
210	8	50	—	—	34	4760	
200	30	58	—	6	35	4340	(これ迄の Mn には鑛石から入つたものが相當ある)
190	15	67	—	—	36	4580	鏝中の W は痕跡
250	60	39	—	10	37	3880	〃 □ (出鋼温度が低すぎたため下注不能となれり)
300	25	59	—	—	38	3890	
210	25	47	—	8	39	3650	
290	〃	58	—	16	40	4020	
205	31	54	—	10	41	4240	
250	10	30	—	8	42	3740	+ (爐中分析誤差のため成品 C 高すぎる)
240	15	44	—	—	43	3520	
260	30	51	—	—	44	3370	* (作業にあやまありりて C 低くすぎた)
250	—	43	—	4	45	3900	
—	—	—	—	—	—	—	① 爐中分析を今少し迅速にしたい ② 多數の鋼滓を分析したかつた
250	10	90	—	—	46	3600	
220	30	90	—	—	47	2700	▽ 豫期通り Mn がやゝ高くなつた
—	—	—	—	—	—	18 0945	{ 797 kWh 電 装 入 { 934 〃 鋼塊

第6表 總括表

鋼種	成分規格							熔製 回数	W歩留			平均 熔鋼 歩留
	C	Si	Mn	P	S	W	Cr		最高	最低	平均	
No.36以下 特殊工具鋼 3種	0.9~1.0	<.35	9~1.2	—	—	0.5~1.0	0.5~1.0	6	99.8	72.8	90	99.7
No.35迄 4 "	0.45~0.55	"	<.5	—	—	"	"	2	110.5	95.6	103	100.3
2 "	1.0~1.0	"	"	—	—	1.0~1.3	"	18	103.0	64.6	85.6	94
〇〇鋼第1種	0.6~7.5	—	2~5	<.03	<.03	1.8~2.4	—	19	103.6	61.6	90.5	90
"	"	—	"	"	"	"	—	10	111.0	91.3	99.6	94.5
特殊工具鋼1種	1.3~1.4	<.35	<.5	—	—	4.0~5.0	0.5~1.0	2	95.6	93.7	94.7	94.6
計								47			93.0	94.3

インゴット 合計 194240 kg 装入金屬合計 226996 kg

ウォルフラマイト " 5520 kg

電力 装入電當り 797 インゴット電當り 934 kWh.

回の實驗結果を總括しますと第6表であります。

尙各熔製記録の詳細は(附表)第7表を御参照願ひます。製鋼番號中“ト”の記號は第1號爐“チ”は第2號爐を示します。其後C, Mn等多少規格脱れのものも加工して見ましたが全く事故はありませんでした。

VII. 結 論

本溪湖特殊鋼株式會社に於きまして 5t 鹽基性弧光爐の還元期にウォルフラマイトと適量の還元用コークスを加へ、普通鋼滓下に2h 製鍊してW 1.8~2.4%の〇〇鋼第1種を得ることに成功しました。歩留は高く經濟的でも作業は却つて、樂でありますから同社で引續き本法により、〇〇鋼や特殊工具鋼第2,3,4種等のロータングステン鋼を熔製致して居ます。物理試驗結果より見て、更に30mn位永く還元製鍊を行へばMnは更に還元せられて抗張力も更に向上するものと思はれます。

本方法によるW 最高限度は鑛石中のMnの爲に限定せられます。第46, 第47にてW 4~5%のものを試みましたがW, Cr, Si, P, Sは何れも難點はありませんでしたがMnは0.52と0.60となり残念乍ら規格を突破しました。

本實驗中最も遺憾に存じますのは、作業及び設備の都合とは言へ鋼滓の研究が不十分でありまして、完全分析は僅にル633の一つのみでありました。この結果を見て、生成熱の第1表を更に検討しますとWはMnより餘程速く還元せられますから、3鋼滓法によりWより高い鋼材もこのウォルフラマイトにても熔製し得る様に思はれます。

又更に半濕式法として、WO₃を得て高速度鋼の熔製にこれを應用したり或は又W以外にMo, Ni, Co, Cr, Mn等も本方式により處理出来ると思はれますので、皆様の御検討を賜はりまして、非常時局下に資源利用に一捨石たり得れば私共光榮これに過ぎません。

終に今春本學會にて申述ぶる筈の所、事情により今日まで延期致しましたことを御詫び申上げます。次に本報告は昨年の夏から秋にかけて、本溪湖特殊鋼株式會社に於て、實驗致しましたものを、同年11月17日煤鐵公司に轉じた後に取纏めましたもので、この發表を許された煤鐵公司並に特殊鋼會社の上司に感謝しこれに協力して下さつた熱田友二、飯田正雄兩工學士及び河野末治、大副正利の兩技術員並に同社宮原工場及び研究室の諸君に御禮を申述べる次第であります。