

## 技 術 資 料

### コンセルアーク熔解法について

高尾善一郎\*・草道英武\*\*・八木芳郎\*\*\*

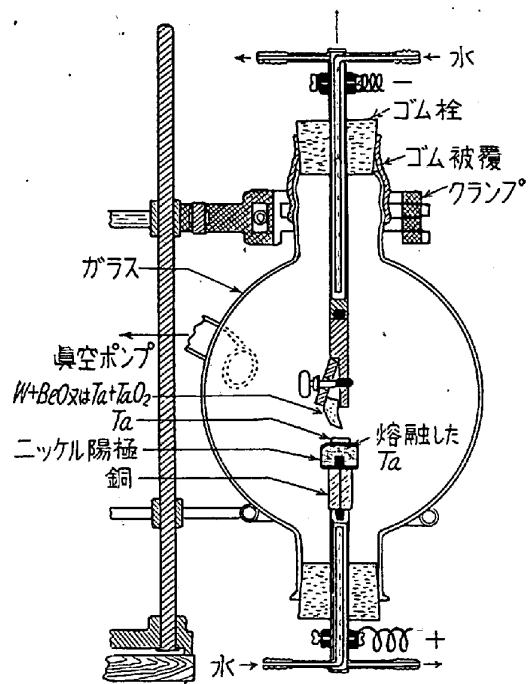
#### ON A METHOD OF "CONS-EL ARC" MELTING USING A CONSUMABLE ELECTRODE IN VACUUM —Review—

*Zenichiro Takao, Hidetake Kusamichi and Yoshiro Yagi*

#### I. 結 言

冷鑄型を用いた消耗電極式真空アーク再熔解鑄造法（真空アーク法と略称する人もあるが筆者は以下コンセル法と記す）が最近の鉄鋼業界の話題となつてきた。コンセル法というのは Consumable electrode（消耗電極）の頭文字をとつて名づけたものであるがその特長は（1）消耗電極式アーク熔解法（2）連続熔解鑄造法（水冷銅のつぼは同時に鑄型ともなつてゐる）（3）雰囲気調節熔解法（もちろん真空熔解が可能）（4）浮揚精錬作用がある。の4点に帰することができる。以上の結果としてコンセル材にはつぎの特長が認められる。（1）高純度金属および合金となつてゐる。（2）熱間加工性が良い。（3）高温クリープ性質が良い。（4）偏析が僅少。一般的にいつて、熔鋼の真空処理法としてはコンセル法は真空鑄造法とともに重要視されてきた新しい真空技術といえるが前者は後者ほど大量安価には処理できない欠点はあるがその製品ははるかに品質が優秀で、真空高周波熔解製品の品質と同程度と認められつゝある。しかも従来の真空高周波熔解炉と比較すればはるかに多量処理が可能であるからとくに注目されはじめたわけである。

コンセル法はもともとチタンの熔解法として 1953 年以降米国で大発展したものであり、特殊鋼（以下ニッケル基クロム基などの耐熱合金をふくむものとする）の熔製法として利用されはじめたのは 1955 年以降のことである。現在米国では鑄塊単重最大 8 t 余のものが生産加能となつており本法を採用する会社は 10 社におよび 1958 年には 38,000 t のコンセル鑄塊の生産が予想されている<sup>1)</sup>。わが国ではこの種技術の一部は米国の発表より早く筆者などによつて特許申請されている<sup>2)</sup>が未だ実験段階を出ておらず国家的見地からの早期実用化が望ましいと考える次第である。以下コンセル法発展の歴史をひもといてその技術を紹介し、将来についての私見も述べ



第 1 図 A. O. Simpon-W. V. Bolton  
のアーク炉

させていただきます。

#### II. コンセル法の歴史と将来

1839 年 Robert Hare<sup>3)</sup> は雰囲気調整アーク炉を作つて白金を熔解したのがこの種アーク炉の最初のもといわれている。1903 年 Von Bolton はタンタルの熔解に第 1 図に示す消耗電極式真空アーク炉を使用した。Otto Archibald Simpson はさらにこの炉を改善し電球フィラメントや医療用のタンタルを約 1 t 熔解した。この炉はかなり今日の消耗電極式真空アーク炉に近いも

\* 神戸製鋼所、神戸研究部長 工博  
\*\*       〃       神戸研究部 理博  
\*\*\*      〃       神戸研究部



第 1 表 米国における真空熔解と脱ガスの現況 (C. T. Evans<sup>5)</sup>)

真空処理法	会社数		最大鋼塊トン数		年間鋼塊生産能力トン数	
	1957年末	58年予想	57年末	58年予想	57年末	58年予想
真空鑄造法	3	6	160	190	22,000	90,000
真空高周波熔解法	14	15	1.4	2.3	8,600	11,000
コンセル法 (チタンを除く)	4	10	5.5	8.2	22,000	39,000

ル材を使用している。

米国における特殊鋼のコンセル法に関する研究はわが国と相前後して進められたものと考えられ、現在にいたるもなほ多くの研究発表は見られない。これは非消耗電極式アーク熔製法が最初チタンの熔解法として発展させられたため、チタン加工業者が前述の Gilbert などの研究結果をとり入れてコンセル法にきりかえるまでに長期間を要したためと考えられる。しかし 1957 年末には米国においては Allegheny Ludlum Steel 社をはじめとして Universal Cyclops, Republic Steel, U.S. 社などがすでに特殊鋼専用のコンセル炉を稼働させている他、チタン熔解炉を特殊鋼用に転用しているチタン工場もあるものと予想されている。

第 1 表には米国における鋼の真空熔解と真空鑄造の現状を示しているがコンセル法より 10 年も早くスタートした真空高周波熔解法の発展速度が頭打ちになりつつあるに比べてコンセル法のめざましい発展ぶりが注目値しよう。

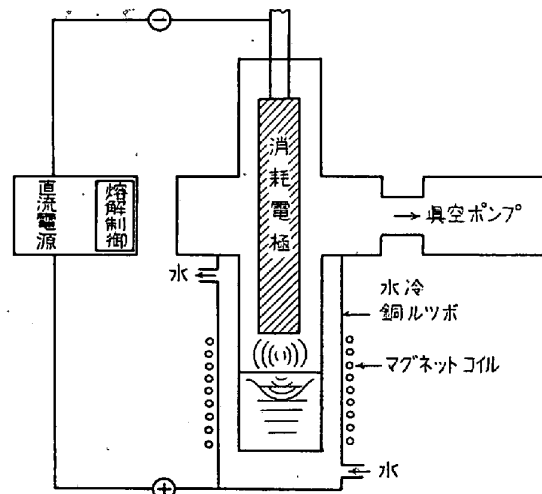
また英国では 1957 年末、William Jessop and Son 社<sup>6)</sup>がコンセル炉を稼働開始している。Gruber によれば将来は単重 25 t までの鋼塊がコンセル法によつて熔製可能でそのときの再熔解経費は歩留が良いため空气中熔解経費にかなり近いものになることが予想されるという。しかもその品質が大気中熔解のものに比して格段にすぐれていることは当然である。

現在コンセル法はほとんど直流アークによつているが将来は交流アークを使用する可能性が充分ある。核融合反応の研究がすすむにしたがつて従来不明の点が多かつたアーク現象も漸次解明されるものと思うがこれの応用は真空技術就中真空ポンプのめざましい発展と相俟つて化学工業などにますます広がるであろう。このことは同時にコンセル法の発展をも意味している。現在のコンセル法は、将来、既存の連続鑄造真空鑄造などの技術と結びついてますます発展することが予想されるところである。

### III. コンセル熔解炉の構造と その操業法の特長

コンセル炉の説明図を第 3 図に示した。

大気中熔解あるいは真空中熔解した消耗電極を水冷銅のつぼ中に熔解させ、熔湯は下部から順次凝固して鋼塊となる。通常は消耗電極を陰極、熔湯を陽極として、その間に直流アークを飛ばして熔解する。



第 3 図 コンセル炉の説明図

アークの安定と熔湯の攪拌を目的として磁場をアークと熔湯に作用させることも可能であるが、まだ熔解操作性や鋼塊に与える影響については定説がないようである。鋼塊直径と熔解電流の間には大体直線関係が認められ当社の 2 t 鋼塊までの実験結果では鋼塊直径 10 mm について約 330~350 A の直流電流を要すると考えれば大きな間違いは生じない。鋼塊直径、直流電流および鋼塊単重を当社の経験からわり出せば第 2 表のとおりである。

直流電源としてはセレンおよびゲルマニウム整流器が使用される。

第 2 表 コンセル鋼塊直径、所要電流および鋼塊単重

鋼塊直径 (mm)	直流電流 (Amp)	鋼塊単重 (t)
300	10,000~11,000	0.5
500	16,000~17,500	2
800	26,000~27,000	6
1000	33,000~35,000	12

真空ポンプは油拡散、エジクターポンプ、ルーツ型

メカニカルブースターポンプ、キニー型ロータリーポンプなどが組合わされて使用される。

熔解中の真空度は通常 1~100 マイクロン (1 マイクロンは 1/1000 mmHg) であるが漸次高真空アーク熔解に移行しつつある。

熔解中の電圧は通常熔湯と消耗電極との間のアーク間隔に関係があつて、この距離の大きいほど電圧は大きくなるが真空度によつて単位アーク間距離当りのアーク電圧降下の程度はことなり、高真空熔解になるにしたがいこの値は小さくなり、また操業中の熔湯と消耗電極間の距離が近づく傾向があつて制御は困難となる。

一方真空度がわるくなるにしたがつて単位アーク間距離当りのアーク電圧降下が大きくなり操業中の熔湯と消耗電極間の距離が大きくなる傾向がある反面、アーク電流電圧の変動が大きくなるためにかえつて自動制御が困難となる。

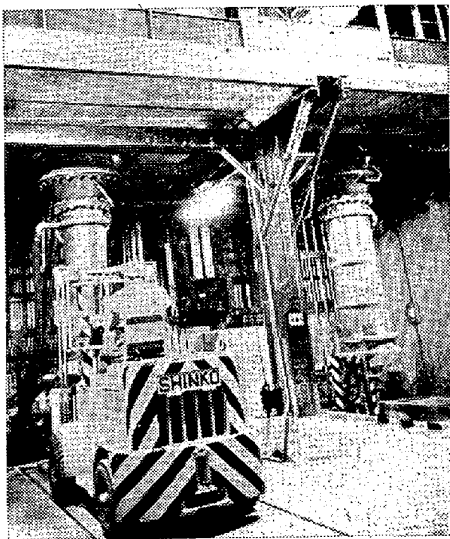
通常の熔解操業の自動制御は電流、電圧変化によつておこなうが (アンプリダイン、ロートロールなど) 高真空の場合には  $Co^{60}$  などの放射線を利用して、アーク間距離を正確に検出して、これを制御することも考えられている。

コンセル炉にとつては自動制御は非常に重要な問題となつている。それは電力費や熔解時間の短縮のみを意味するものではなく、安全操業のためである。

すなわち、チタンの熔解では熔解中に大爆発事故が再三経験され、根本的にはまだその原因がつかめないまゝに対策が種々考慮されて来た。

融点のひくい銅るつぼ中で融点の高い反応性金属であるチタンを熔解し、しかも消耗電極と銅るつぼの間隔は

通常 100 mm 以下であるから、アーク電流が消耗電極と熔湯間に飛ばずにるつぼとの間に飛び銅るつぼを損傷して冷却水が熔湯中に侵入することは考えられることであるがかくのごとくアークによる銅るつぼの損傷はきわめて危険で



第4図 コンセル熔解工場 (神戸製鋼)

あるため、これを防ぐ方法として、アーク間距離を常に制御して電極とるつぼ間にサイドアークが発生しないよう、あるいは電極と熔湯が短絡しないように適正に保持しなければならない。さらなるるつぼの周辺は防爆壁をもうけ運転は安全位置から遠隔操作される。(第4図参照)

チタンのように高反応性金属でない鋼のコンセル熔解ではまだ爆発の経験もなく、チタンほど危険視しなくてもよいという考えから比較的簡単な工場建物でよいとするむきもある。たとえばコンセル炉の製造業者として有名な Heraeus 社では簡単な熔解炉配置を考えている。

以上コンセル炉とその操業法の特長について簡単に記したが本熔解法の特長を列記するとつぎのごとくである。

(1) 消耗電極式アーク熔解法であるから電極から熔湯中へ異種金属が混入する心配が全然ない。しかも熱源をアークに求めているので高熱が得られる。

(2) るつぼは水冷銅を使用するので、るつぼ材料から不純分が熔湯中に混入することはなく、純度の高い金属や合金を熔製するのに適する。しかもるつぼは同時に鑄型と成つていて連続鑄造と同様組織の健全なインゴットが得られ熔解操業の最終段階で Hot Topping をおこなうことにより収縮孔を最も少くすることができる。

(3) 真空または不活性ガス中で熔解鑄造するので不純物が雰囲気から混入する恐れも、活性合金元素を不純化する恐れもないばかりでなく、原料中や熔湯中にふくまれている不純物を除去するに好都合な条件を備えている。また高周波真空熔解で認められる各種の効果たとえば解離反応、真空分溜、還元反応等々が有利な条件下に実施される。

消耗電極から湯滴状に落下する状態では表面積がきわめて大きくなるのでとくに上述の精錬作用のおこなわれる機会が多い。

(4) 浮揚精錬: 消耗電極から湯滴状に熔湯上に落下し熔湯は順次凝固する。このとき比重のかるい酸化物や窒化物などの非金属介在物は熔湯上に浮遊分離されいちじるしく純度は向上する。真空熔解では熔湯中の非金属介在物などが気泡となつて除去される場合が多くなります。浮揚精錬作用を促進することになる。

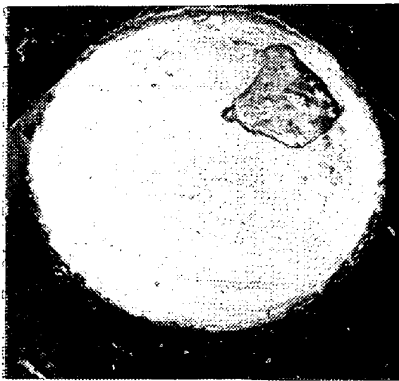
これら特長のうち精錬作用については次節ににおいて詳述することとした。

#### IV. 熔製材の品質

(1) 浮揚分離精錬 当社ではチタン鑄塊単位 1 t (鉄鋼換算 2 t) まで熔製可能なコンセル熔解炉をすでに 1 年以上稼働させているが工業用純チタンやジルコニウ

ムをアルゴン中あるいは真空中でコンセル熔解しても非金属状物質が熔湯上に浮上分離される状態はみられない。しかし鉄鋼材料をコンセル熔解すると事情はこれとことなる。筆者らは前述せるようにはじめ高価なチタンを用いてコンセル熔解現象の研究をすすめるかわりに砂疵発生のため廃材となつた炭素鋼圧延材 (SS-41) を利用した。すなわちこの表面を清浄にしたものを消耗電極としコンセル熔解したところ電極材の外観上は不純分が見られなかつたにもかかわらず、熔湯表面には非金属状物質 (ノロ状物質) が浮上分離し、熔解のすすむにつれて多くなることを発見した。

雰囲気による酸化、窒化などは考えられず、炉床材からの不純物の混入もなく、しかも使用する消耗電極の表面はサンドブラストおよび酸洗により完全に清浄な表面を呈している以上、これらの不純分は消耗電極内部に分散してふくまれていたのが熔湯表面に浮揚分離されたものと考えざるを得ない。この不純分の浮揚分離は 780 mmHg アルゴン圧下の熔解でも真空中での熔解においても認められた。炭素鋼において認められた浮揚分離現象は特殊鋼、特に鉄およびニッケル基合金においてこれより酸化や窒化しやすいチタン、ジルコニウム、モリブデン、アルミニウム、クロム、タンゲステン、バナジウムなどを多くふくんだ合金のコンセル熔解にも予想どおり確認された。



第 5 図 Cr-Mo 低合金鋼のインゴット表面に絞り出された不純分

研究がすすんでいることが、W. W. Dyrkacz などの研究結果により明らかにされた。

A-286 (0.05 C, 1.3 Mn, 0.50 Si, 15 Cr, 26 Ni, 1.3 Mo, 2.0 Ti, 0.2 Al, 0.3 V, Balance Fe) を用いその消耗電極中に 0.25% の窒素を添加してコンセル熔解したところチタンの窒化物が熔湯の上に浮揚分離されることをマクロ組織と化学分析結果をもつて、W. W.

Dyrkacz 等は昭和 31 年米国電気化学学会で証明している<sup>9)</sup>

熔湯よりかるい非金属介在物が浮揚分離されるためには非金属介在物の浮揚速度  $V$  は熔解製造速度  $V'$  より大きいことが必要である。しかして  $V$  は Stokes の式からつぎのとおり示される。

$$V' \leq V = \frac{2}{9} g \cdot \frac{r^2}{\eta} \cdot \frac{D_M - D_s}{\eta}$$

$V'$ : 熔解製造速度 (cm/sec)

$V$ : 非金属介在物の浮上速度 (cm/sec)

$g$ : 重力による加速度 (980cm/sec<sup>2</sup>)

$\eta$ : 熔湯の粘性係数 (dyne/cm<sup>2</sup>sec)

$D_M$ : 熔湯密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$D_s$ : 非金属介在物密度 (g/cm<sup>3</sup>)

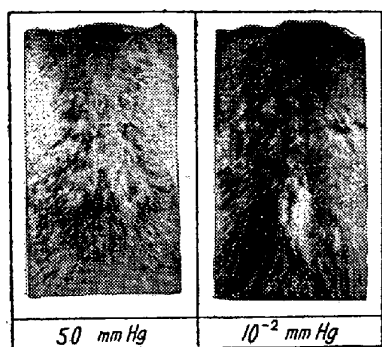
$r$ : 非金属介在物の半径 (cm)

したがって非金属介在物をできるだけ多く浮上分離させるためには熔湯中にて浮上分離できない非金属介在物の臨界半径をできるだけ小さくすることが必要であり、そのためには  $V'$  と  $\eta$  を小とし、 $D_M$  を大きく  $D_s$  を小さくすることが必要である。これからコンセル熔解法における熔解操業法や消耗電極の製造法に関する基本的な指針が得られる。また真空熔解ではアルゴン圧中熔解などに比してよく熔湯からの気泡の発生が熔解中に認められるがこれは脱ガスなどの精錬作用がよくおこなわれることを意味していると同時に浮揚分離をも促進することになると考えられる。

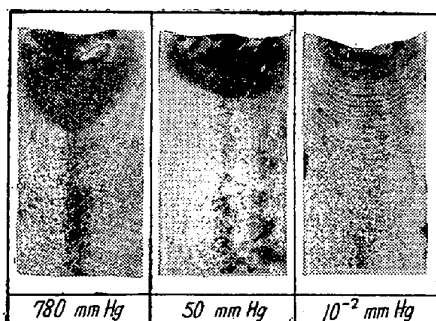
(2) 真空精錬: 熔湯の真空処理による精錬作用については本熔製法に限つたものではなく高周波真空熔解によつても、真空製造によつてもおこなわれる可能性のあるものである。前者については日本金属学会誌に井街博士等の紹介<sup>7)</sup>があり後者については本誌に中司氏がすでに紹介<sup>8)</sup>されたところであるからこゝではとくに記述をさけることにする。

(3) 鑄塊の特徴

(a) コンセル鑄塊のマクロ組織は連鑄組織と同様である。すなわち、空気中で熔湯を鑄型に注入して鑄塊を作る通常の造塊法では鑄塊の周辺部から中心部に向つてほとんど水平に発達した柱状晶部が認められるが本熔製法による鑄塊は上記部分はほとんど認められず水冷鑄型を使用するため柱状晶が側面からただちに斜上方またはほとんど垂直上方に発達しているのが認められる。これは炉内圧に関係ないようである。第 6 図に 18-8 不銹鋼の 50mmHg アルゴン中および 10<sup>-2</sup>mmHg 真空中コンセル熔解材のマクロ組織を示した。



第6図 各種圧力中で熔解せる18-8 ステンレス鋼のマクロ組織



第7図 30ガウスの磁場下各種圧力中でコンセル熔解せる SS-41 のサルファープリント



第8図 空気中熔解およびコンセル熔解 Ni-Mo-V 低合金鋼のサルファープリント<sup>6)</sup>

(b) サルファープリント: SS-41 を用いた筆者らの研究では硫黄偏析は鑄塊頭部を除いては一般に認め難いようである。しかし磁場を作用させて熔解操作をした場合にはことなつた結果が得られ

ているのでまだ充分な結論を述べることは困難な状態にあると思う。参考のため第7図に30ガウスの磁場を作用させた場合のサルファープリント写真の一例を示す。

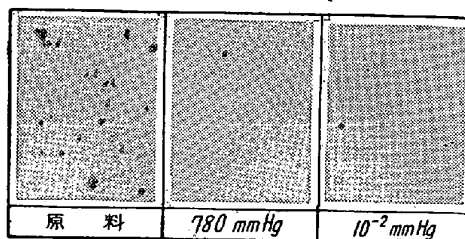
W. W. Dyrkacz などは Ni-Mo-V 低合金圧延鋼材で試験した結果、空気中熔製材のものに比しコンセル材は第8図に示すごとく硫黄偏析がなく硫化物系不純物が減少するという結果を得ている。

(c): 体積的欠陥

多くの試験結果から、コンセル熔解のものは一般に体積的欠陥の少ないものが得られると結論される。しかしある種の材質については電極製造条件、熔解操作条件によつては体積的な欠陥が鑄塊表面のみならず内部にまでいちじるしく多数発生することが見受けられるのでその対策が必要である。なお Hot topping が容易に実施できるので Shrinkage hole がほとんどないかあつても鑄塊頭部近くの小さいものにすることが可能である。

(d) 非金属介在物の顕微鏡測定

ニモニック 80 について著者の研究結果を示すと第9図のとおりである。W. W. Dyrkacz によつても同様に報告されている。非金属介在物を顕微鏡でしらべると高真空度のものが 780mmHg アルゴン中溶解したものより多く減少しているのが認められる。



第9図 非金属介在物分布状況 ×400 (2/3) (ニモニック80)

(e) 鑄塊の化学分析

コンセル熔製鑄塊には偏析が一般に認められない。化学成分のうち Mn, S およびガス成分の減少が真空熔解したものに認められる。第13表にニモニック 80 インゴット中の酸素、窒素、水素分析値の比較表をかかげた。この傾向は非金属介在物の顕微鏡試験結果からも推定されるところである。

第13表 ニモニック80 インゴットのガス含有量

	O (p.p.m)	N (p.p.m)	H (p.p.m)
Air melt	76	112	5
780mmHg Ar 中メルト	45	78	tr.
10 <sup>-2</sup> mmHg メルト	23	41	tr.

Edwad A Lorica<sup>9)</sup> は W. W. Dyrkacz のコンセル熔解実験結果を引用し真空高周波熔解結果とのガス減少程度の比較を試みている。これを整理すると第14表のとおりである。

これによると空気中熔製材を消耗電極材としたコンセル

第14表 各種耐熱材料のガス含有量 (p.p.m)

材 質	熔 解 法	O	N	H
A-286	空気中熔解電極	13.0	300.0	13.1
	コンセル真空熔解	5.0	20.0	2.8
	真空高周波熔解	3.0	50.0	2.3
Waspaloy	空気中熔解電極	31.0	420.0	17.2
	コンセル真空熔解	2.0	120.0	2.2
	真空高周波熔解	3.0	120.0	2.3
M-252	空気中熔解電極	15.0	160.0	16.0
	コンセル真空熔解	6.0	40.0	1.7
	真空高周波溶解	5.0	30.0	1.5

第 15 表 真空熔解, 真空脱ガスの種々の方法の比較\*

	熔 解 条 件			製 品 の 特 長				
	温 度	圧 力	熔解時間	熱間加工性	ガス含有量 (p.p.m)	清浄度	偏 析	物理的性質
空气中熔解	1370°C } 1700°C	1 気圧	2 h } 3 h	僅かに良好 } 稍々良	H <sub>2</sub> 4~20 O <sub>2</sub> 10~150 N <sub>2</sub> 30~500	稍々良	普 通	普 通
真空脱ガス	1370°C } 1700°C	熔解: 1気圧 脱ガス: 0.5~ 10mm	1/2h~4h (40~50t の鋼で)	稍々良 } 良	H <sub>2</sub> 1~4 O <sub>2</sub> 10~40 N <sub>2</sub> 40~120	稍々清浄 ~ 清 浄	普 通	5~50% 改善される
真空高周波熔解	1370°C } 1700°C	1~100μ	1~5h	良	H <sub>2</sub> <1 O <sub>2</sub> 4~10 N <sub>2</sub> 3~50	非常に清浄	普 通	20~200% 改善される
真空アーク 再 熔 解	空气中 熔解電極	1370°C	15mn	良	H <sub>2</sub> 1~2 O <sub>2</sub> 6~30 N <sub>2</sub> 40~100	清 浄	比 較 的 に 無 い	10~100% 改善される
	真空高周 波熔解電 極	4720°C	30mn	非常に良好	H <sub>2</sub> <1 O <sub>2</sub> 1~5 N <sub>2</sub> 2~20	極めて清浄		30~300% 改善される

\* A. M. Askoy, Vacuum Metals Corp. および H. Gruber の論文より引用, (日本特殊機械 K.K. 堀氏の提供による)

ル熔解材の酸素, 窒素, 水素の減少程度は高周波熔解材のそれと大同小異である。筆者らの研究結果もこの傾向を示しているが Gruber の報告するところによると高周波真空熔解材の方が一般によいようである。また理論的にも当然なことながら真空高周波熔製材を消耗電極とした場合のコンセル熔製材が最もガス減少がいちじるしくなるとしている。第 15 表に Gruber の結果を示した。

(4) 機械的性質

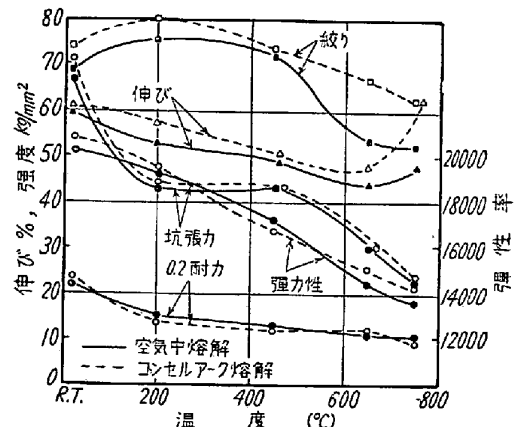
コンセル熔解せる各種金属材料は上述せるとき特長をそなえるため, その機械的性質, クリープ性質, 熱間加工性質その他の諸性質に普通熔解法ではみられない幾多の特長を示す。本項では筆者および外国でおこなわれたコンセル材のこれら諸性質に関する研究結果を述べることにする。

(a) 常高温短時間抗張性質

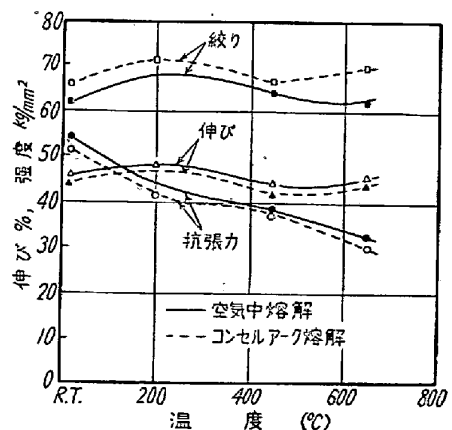
筆者らは各種のステンレス鋼について空气中熔解材とコンセルアーク材の常温および高温短時間抗張試験をおこなった。第 16 表は常温抗張性質を第 10, 11 図に AISI 304 および 316 L ステンレス鋼の短時間高温抗張試験結果を示す。

これ等の結果, 常温試験では強度, 伸びについては両者にほとんど差が認められないが絞りについてはコンセルアーク材の方が少しではあるが常に大きい。

高温においても強度はほとんど変わらないが, 靱性はコンセル材の方がやや良好である。第 17 表に Allegheny



第 10 図 AISI 304 ステンレス鋼の短時間高温抗張性質



第 11 図 AISI 316 L ステンレス鋼の短時間高温抗張性質

第 16 表 各種ステンレス鋼の常温抗張性質

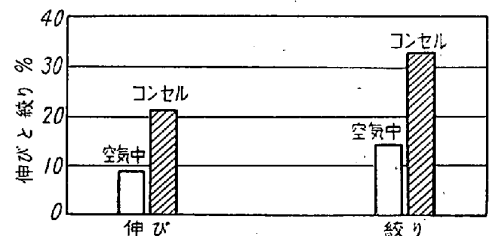
鋼種	種別	抗張性質		伸び G. L. 50mm %	絞り %
		抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	0.2 耐力 kg/mm <sup>2</sup>		
AISI 304	空気中熔解材 コンセルアーク材	67.8	22.0	60.4	68.6
		70.5	22.8	59.3	73.3
AISI 316L	空気中熔解材 コンセルアーク材	54.5	21.0	44.3	62.0
		51.6	17.8	45.7	66.2
AISI 347	空気中熔解材 コンセルアーク材	50.3	26.7	64.2	73.0
		50.3	23.9	60.0	76.5
E 312	空気中熔解材 コンセルアーク材	74.7	58.2	31.6	57.5
		73.4	51.0	37.6	63.2

第 17 表 SAE 4340 ピレットの常温抗張性質<sup>6)</sup>

種別	抗張性質	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	0.2% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	0.02% 耐力 kg/mm <sup>2</sup>	伸び %	絞り %
コンセルアーク材 265mmφ ピレット	109.9 131.6 184.8	98.0 120.1 149.8	95.9 107.8 121.8	12.0 8.0 6.7	43.9 33.8 13.3	

Ludlum Corp. でおこなった普通熔解およびコンセル熔解せる SAE 4340 ピレットの横方向の常温抗張試験結果<sup>6)</sup>を示す。試料は各種強度に熱処理をおこなっている。これより横方向の抗張性質において抗張力、耐力は両者ほとんど変りないが靱性、とくに絞りがコンセル材がいちじるしく改善されるのが分る。

耐熱材料のコンセル熔解は米国などで多くおこなわれ今後発展の可能性の大きい分野の一つである。A-286は Ti, Al を含有するためコンセル熔解による材質の改善がとくにいちじるしい鋼種である。A286 鍛造材の中心部より採取した試料の横方向の抗張試験結果を第 12 図に示すが、靱性の改善が顕著である。また著者らは Timken 16-25-6 をコンセル熔解したがこの材料はいわゆる hot cold work して用いられるのが普通である。800°C で 15% h.c.w. した材料の常温抗張性質を第 18 表に示すが強度、靱性ともにコンセルアーク材の方が大きく、とくに靱性の改善がいちじるしい。



第 12 図 空気中熔解およびコンセル熔解せる A-286 ピレット中心部の横方向靱性  
試材は HRC 30 に時効処理<sup>6)</sup>

要するに短時間抗張性質においてはコンセル熔解によつて強度はほとんど変りないが靱性の改善される傾向があり、とくに横方向の性質の改善が明かである。

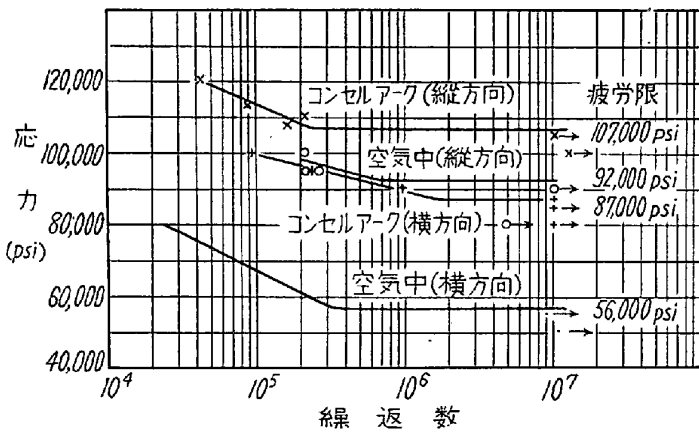
(b) 疲労性質

一般に金属材料は真空熔解により疲労性質が改善されるといわれている。第 13 図に SAE 4340 ピレットの空気中熔解材とコンセル材の縦方向および横方向に採取

第 18 表 空気中熔解およびコンセル熔解 (100mmHg Ar 中) Timken 16-25-6 の常温抗張性質

処理法	種別	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	耐力 0.2% kg/mm <sup>2</sup>	伸び %	絞り %
h. c. w	空気中熔解材	92.2	75.7	18.6	29.2
	コンセルアーク材	94.3	77.7	24.9	38.9





第 13 図 空気中熔解およびコンセル熔解 SAE 4340 ビレットの疲労性質<sup>6)</sup>

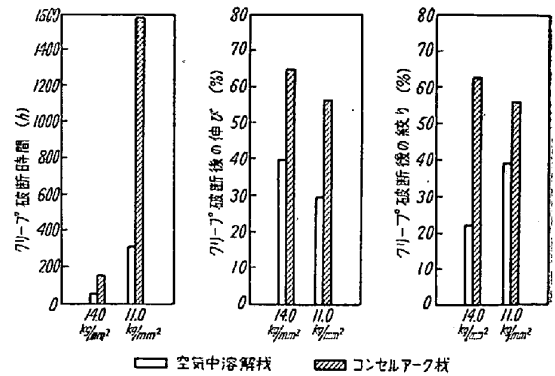
した試料の疲労曲線<sup>6)</sup>を示すが疲労限はいずれもコンセル材が改善され、かつ方向による疲労限の差が少くなっている。

(c) クリープ性質

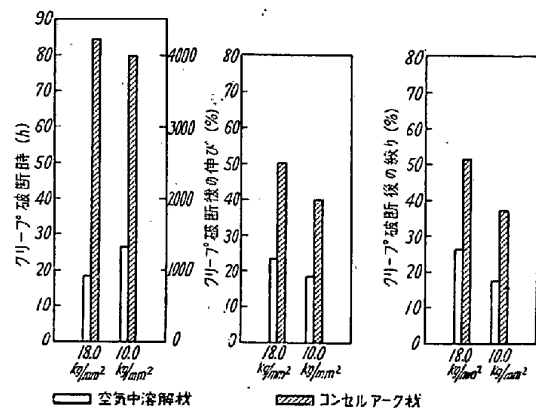
真空熔解材の大きな特長はクリープ性質の改善である。筆者らが熔製したコンセル材についても空気中熔解材に比しいちじるしくクリープ性質が改善されるのがみられた。第 19 表に AISI 304 と AISI 316L の 650°C におけるクリープ破断試験結果を示した。

第 14, 15 図は同試験結果の破断時間、破断後の伸び、絞りを図示したもので AISI 304 については応力 14kg/mm<sup>2</sup> の場合コンセル材の破断時間、破断後の伸び、絞りは空気中熔解材のそれぞれの 3.5 倍、1.6 倍、2 倍に増大する。応力 11kg/mm<sup>2</sup> の場合はそれぞれ 5 倍、1.9 倍、1.5 倍に増大する。また最小クリープ速度もコンセルアーク材は常に空気中熔解材よりも小さい値を示している。

316L ステンレス鋼についても、応力 18kg/mm<sup>2</sup> の



第 14 図 AISI 304 ステンレス鋼の 650°C におけるクリープ破断試験結果



第 15 図 AISI 316L ステンレス鋼の 650°C におけるクリープ破断試験結果

場合、コンセル材の破断時間、伸び、絞りはそれぞれ空気中熔解材の 4.5 倍、2.2 倍、2 倍に増大し、応力 10kg/mm<sup>2</sup> の場合はそれぞれ 3 倍、2.2 倍、2.1 倍に増大するのがみられた。また Timken 16-25-6 のコンセルアーク材および空気中熔解材の 800°C において 15% の hot cold work せる材料のクリープ破断試験結果を第 20 表に示すが、破断時間が応力 35kg/mm<sup>2</sup>、27

第 19 表 空気中熔解およびコンセル熔解ステンレス鋼のクリープ破断試験結果

鋼 種	種 別	応 力 kg/mm <sup>2</sup>	最小クリープ 速度 %/h	破断時間 h	破断後の伸び %	破断後の絞り %
AISI 304	空 気 中 熔 解 材	17.0	2.13	9.6	40.0	55.0
		14.0	0.723	45.0	40.0	32.0
		11.0	0.087	317.8	30.0	39.0
		9.6	0.005	3100.0中止	—	—
	コンセルアーク材	14.0	0.176	154.5	65.0	63.0
		12.5	0.050	513	53.0	36.0
11.0		0.020	1578.4	57.0	56.0	
AISI 316L	空 気 中 熔 解 材	22.0	3.23	8.6	51.7	53.4
		18.0	0.725	18.4	23.3	26.3
		10.0	0.0365	1156.3	18.3	17.5
	コンセルアーク材	18.0	0.359	84.8	49.0	40.0
		10.0	0.00495	3977.7	40.7	37.1

第 20 表 Timken 16-25-6 の 650°C におけるクリープ破断試験結果

処 理 法	種 別	応 力 kg/mm <sup>2</sup>	破断時間 h. mn	破断後の伸び %	破断後の絞り %
h. c. w	空 気 中 熔 解 材	35 27	42° 08' 299° 30'	25.7 33.7	42.4 54.8
	コンセルアーク材	35 27	120° 40' 524° 25'	25.0 —	45.1 56.7

kg/mm<sup>2</sup>, いずれの場合も 2~3 倍に増大しているのが見られる。

かくのごとく二、三の材料について高温クリープ破断試験をおこなった結果、常温における短時間引張強度には大差のない材料についても長時間試験をおこなえば顕著にコンセル材の材質の改善が現われる。

(d) 熱間加工性質の改善

これまでののべたごとく、コンセル熔解によつて非金属介在物の少く清浄度の高いインゴットが得られた。その組織は layer by layer に凝固するため、連続铸造状の組織となる。このためコンセル材の熱間加工性が改善される。



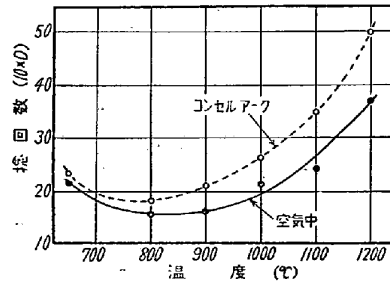
第 16 図 G-157 航空機用バルブの鍛造性比較<sup>6)</sup>

左: 空气中熔解材 右: コンセル材

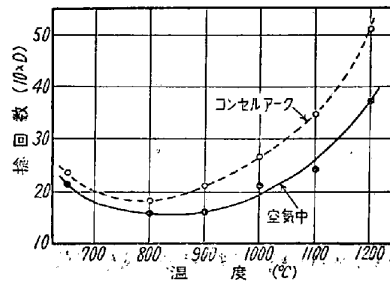
耐熱材料 G-157 の航空機用バルブの鍛造に際して第 16 図に示すごとく空气中熔解材は割れを生ずるが、コンセル材は割れを生じないという報告<sup>6)</sup>がなされている。また著者らは AISI 316 L の空气中熔解材とコンセル材の熱間加工性を比較するため 650~1200°C において両者の高温捻回試験をおこなった。捻回速度は 30 rpm と 128 rpm の両者についておこなったが、その結果は第 17, 18, 19 図のごとく捻回数、トルクともに常にコンセル材の方が大きく、これはコンセル材の熱間加工性の改善を示すものといえよう。

V. 応 用 例

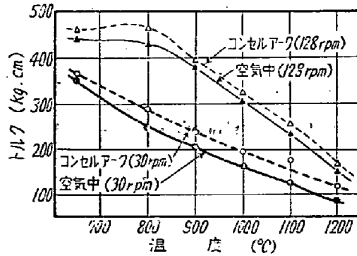
著者らはコンセルアーク熔解を工業的に応用し、実際に各種製品をつくりつつあるが、つぎにその二、三の例をのべる。



第 17 図  
AISI 316 L の捻回数—温度曲線  
(30rpm)



第 18 図  
AISI 316 L の捻回数—温度曲線  
(128rpm)



第 19 図  
AISI 316 L のトルク—温度曲線  
(30, 128rpm)

(a) SAE 4340 によるねじり軸の製造

SAE 4340 は、これまで電気炉により製造し高強度を必要とするクランク軸、ねじり軸などに使用されているが、使用条件が厳格となるにつれ、時にはその表面にあらわれる砂疵が問題となることがある。

約 300 kg の鋼塊をコンセルアーク熔解し、それより高速車輛用ねじり軸を製造した。その実体より採取せる機械的性質は第 21 表のごとくである。

製品に完成後、磁気探傷試験をおこなったが砂疵などの欠陥は全く検出されなかつた。普通熔解法によつても勿論良好な製品は生産されているが砂疵の皆無と云うのは今まで例を見なかつたところであり、コンセルアーク材の清浄度の向上を示すものである。この製品は実際に取付け実用運転されつゝある。製品の外観を第 20 図に示す。

(b) E312 熔接棒の製造

