

清浄度と耐摩性の間には必ずしもはつきりした関係は認められず、真空誘導熔解による寿命の増加は必ずしも期待しがたい²³⁾²⁹⁾。軸受鋼の耐摩性におよぼす因子としては介在物のみでなく、Cu などの未分析元素の影響などもあわせ考えるべきである²⁸⁾。

また結晶粒度、焼入性などにおよぼす真空熔解の影響なども今後の問題として残されている。

2. Timken 16-25-6 のように合金元素として窒素を必要とするものについては、当然のことながら真空熔解は有効な手段とはなり得ない。

3. 真空鑄造は水素、酸素の除去には効果的な手段となり得るが、窒素量の減少には効果的でない。

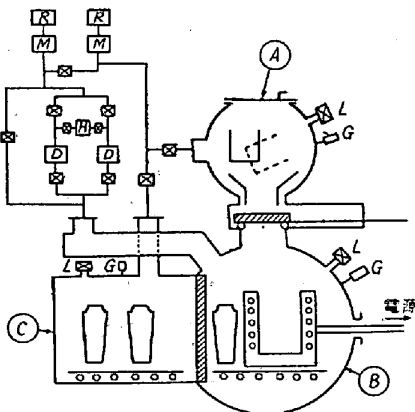
(3) 操業法

1. 真空鑄造の方式は各社ともに流滴脱ガス法を採用しており、吸引脱ガス法、循環脱ガス法については歴史が浅いのでまだ検討の段階にある。ただ細部にわたっては理研、関東特殊製鋼の特許にみられるように改良が認められる。

IV. 特殊材料(電磁気材料その他)の真空誘導熔解による諸性質の改善

池 内 駿*

真空熔解は電磁気材料その他の特殊合金の製造においても有利な手段である。筆者などは 3kg, 50kg, 500kg (図 11 に系統図を示す) などの vacuum induction furnace により研究をおこなつて来たが、その結果について以下に述べる。



R: 回転ポンプ M: メカニカル・ブースター
D: 拡散ポンプ H: 保持ポンプ
L: リークバルブ G: 真空針
Ⓐ: 装入室 Ⓑ: 炉室 Ⓒ: 冷却室

図 11. NRC 500kg 型真空熔解炉系統図

1. 電磁気材料

(1) 純鉄

図 12 にリレー用純鉄を厚板に加工した時の磁化履歴

* 東北金属工業株式会社。

曲線を、また表 7 にその磁気特性を示したが、真空熔解により、Hc が大気熔解のもの約半分、 μ_{max} が約 2 倍となり、磁性のいちじるしい向上が見られる。

また工業用純鉄の

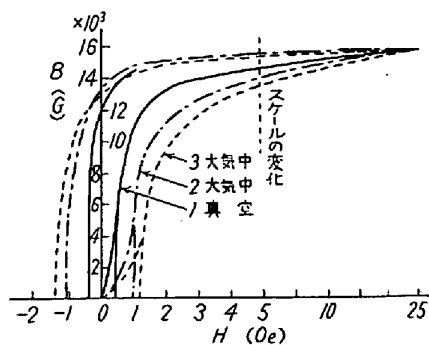


図 12. 純鉄の磁化曲線

表 7. 純鉄の磁気特性

	B _{0.5}	B ₁	B ₂₅	Hc	μ_{max}	μ_0
1 (真空)	4500	11000	16000	0.41	13000	350
2 (大気)	700	4000	16000	1.00	6000	300
3 (大気)	300	1500	16000	1.30	2000	200

欠点である時効象現がいちじるしく減少される。図 13 は保持力 Hc が時効により変化する状況を示したのであるが、横軸に示した各温度に 20 時間保持した場合、大気中熔解のものは 80~250°C 間でいちじるしい Hc の増加を示すが、真空熔解によるものは Hc の変化がほとんどなく、時効による劣化が認められない。機械的性質は図 14 の冷間圧延後の焼鈍軟化曲線で示したが、真空熔解により軟くなり、再結晶温度が低くなつていりのが認められた。不

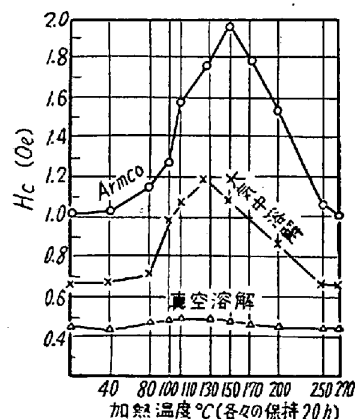


図 13. 純鉄の磁気時効

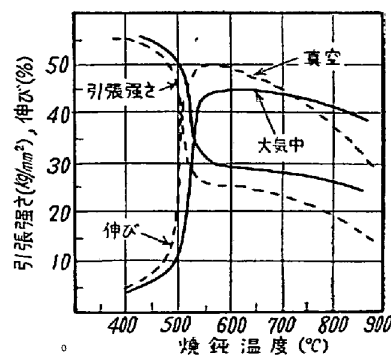


図 14. 純鉄の焼鈍軟化曲線

純物含有量の比較は表 8 に示すごとくで、真空熔解せるものは不純物がいちじるしく少ない。

(2) 珪素鋼

表 9 および図 15 に板厚 0.1mm の方向性珪素鋼板の磁気特性が、真空熔解により改善された状況を示した。大気熔解のものが真空熔解により真空熔解 (イ) のごとく改善され、さらに特殊な方法によると真空熔解

表 8. 純鉄の分析値

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	O ₂ %	H ₂ %	N ₂ %
大気中熔解	0.015	0.05	0.05	tr	0.013	0.03	0.04	0.0005	0.005
真空熔解	0.002	0.01	0.01	tr	0.006	tr	0.0060	0.0001	0.002

表 9. 珪素鋼コアの磁気特性

	B ₁₀	Br	Br/B ₁₀	Hc	μ _{max}
大気中熔解	16.2	14.4	0.885	0.31	26000
真空熔解Ⅰ	16.6	14.6	0.88	0.25	35500
真空熔解Ⅱ	17.4	11.5	0.66	0.12	40000

(ロ)のごとくいちじ
るしい改善がおこな
われた。この(ロ)は
前二者が容易磁化方
向が圧延方向のみの
一方向性珪素鋼板で
あるのに比し、容易
磁化方向として、圧
延方向とそれと直角
方向の二方向を有す

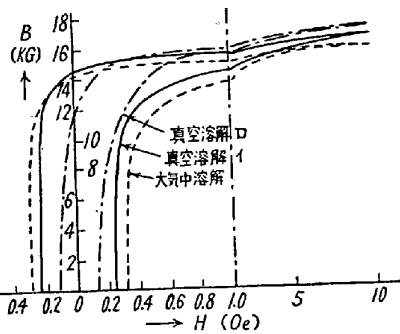


図 15. 珪素鋼コアの履歴曲線

る二方向性珪素鋼板で、この二方向を持つことは打抜鉄心として使用するさい非常に有利となる。

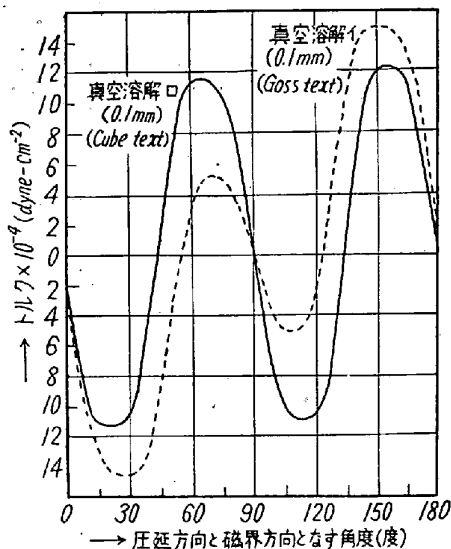


図 16. 珪素鋼の磁気トルク曲線

表 10. 珪素鋼々塊の分析値

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	O ₂ %	N ₂ %	非金属 介在物 %
大気中 熔解	0.013	2.76	0.26	tr	0.008	0.059	0.0053	0.0024	0.012
	0.015	2.91	0.12	tr	0.010	0.061	0.0062	0.0023	—
真空 熔解	0.016	2.79	0.11	tr	0.007	0.049	0.0014	0.0011	0.006
	0.011	3.33	0.02	tr	0.006	0.009	0.0012	0.0007	—

図 16 は磁気トルク曲線で真空熔解Ⅱが典型的な二方向性材料であることを示している。この二方向性珪素鋼板は 1957 年頃より欧米にて発表され、その製法についてはもち論公表されていなかったが、今度本邦では初めて筆者などが独自の方法で完成したものである。表 10 に化学成分、ガス含有量および熔解残渣法による非金属介在物の量を示したが、いずれの場合も真空熔解によるものは清浄であつた。

(3) ニッケル (真空管陰極用 Ni)

陰極用ニッケルとしては表 11 に示した成分のものがあるが、図 17 は冷間圧延後各温度に焼鈍した場合のこれらニッケルの軟化曲線である。大気中熔解と示した 1 チャージ以外は真空熔解によるものであるが、最も純度の高い Passive 級の軟化温度は大気中熔解 (真空管陰極用) に比べ 100°C 以上の差が認められる。このほか真空熔解により加工性の改善および真空管特性の向上および製品の均一性が認められた。

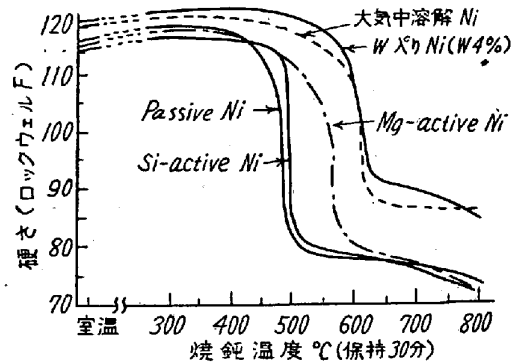


図 17. 陰極スリーブ用ニッケル板の焼鈍軟化曲線

(4) パーマロイ (Fe-Ni 合金)

図 18 は 78% パーマロイ (TMC) 合金の直流透磁率曲線を示し、図 19 は 45% パーマロイ (TMB) の場合で真空熔解によりいずれも約 2 倍の特性値が得られ

表 11. 陰極用ニッケルの化学成分

	C%	Si%	Mn%	Fe%	Mg%	Cu%	P%	S%
大気中熔解 Ni(陰極用)	0.02	0.03	0.18	0.10	0.08	0.01>	tr	0.008>
真空熔解 Passive Ni	0.01>	0.09	0.05	0.03	tr	//	//	0.001>
// Si-active Ni	0.01>	0.20	nil	0.04	//	//	//	//
// Mg-active Ni	0.01>	0.06	nil	0.02	0.05	//	//	//

る。また 36% Ni 合金 (TMD) の真空熔解したものは 45% パーマロイの大気熔解材程度の透磁率を持ち、45% パーマロイに較べ比抵抗が高く、歪率特性がすぐれていて通信器用変成器鉄心として特色ある磁性材料であるが、図 19 にあわせて示した。

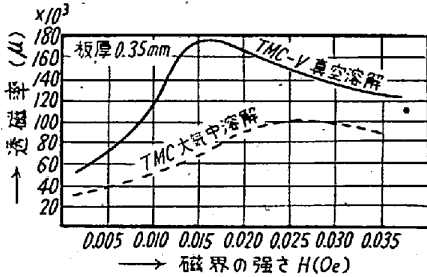


図 18. TMC 合金の透磁率曲線の一例

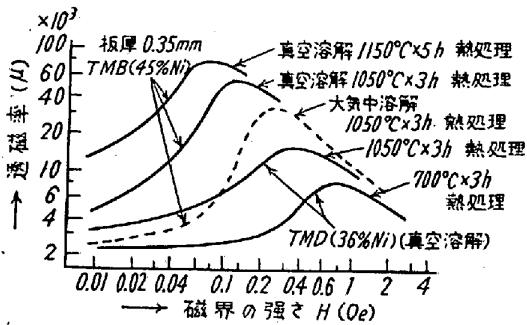


図 19. 45% Ni パーマロイの直流透磁率の一例

(5) 50% Ni-Fe 合金

この合金は角型履歴曲線を有し、磁気増巾器用鉄心などに使用されるが、図 20 に示すごとく真空熔解により角型性、保持力、その他の特性の向上した鉄心が安定して得られる。

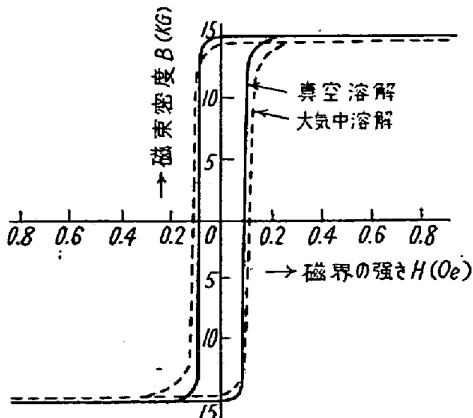


図 20. 50% Ni-Fe 合金の磁気履歴曲線の一例

(6) センパーマックス (スーパーマロイ)

センパーマックスは磁性材料中で現在最高の透磁力と低保持力を持つ超高透磁率材料であるが、これは図 21 に示した $\mu-H$ 曲線の大気熔解材との比較で見うように真空熔解によつてはじめて製造可能な材料である。

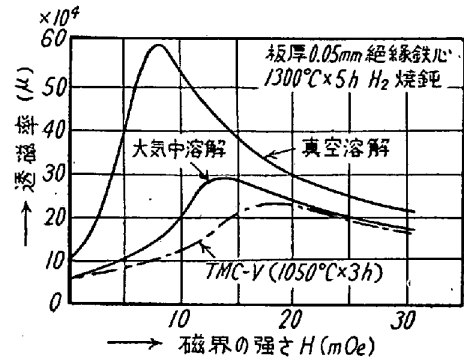


図 21. センパーマックスの $\mu-H$ 曲線

(7) 2V-Permendur (2V-50Co-Fe 合金)

本合金は受話器の振動子などに使用される合金であるが、真空熔解の結果図 22 に示すように透過率、保持力可逆透磁率などいずれも飛躍的に向上した。本合金は硬くもろいので薄板加工が、困難であつたが真空熔解により 0.1 mm 以下の板厚に圧延することも容易になつた。

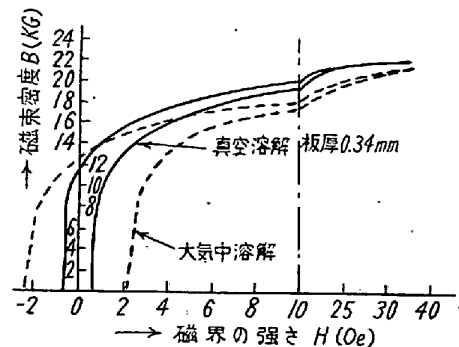


図 22. 2V-パーメンデュールの履歴曲線

(8) アルパーム (Al-Fe 合金)

アルパームは Al 16% を含む Al-Fe 系の高透磁率合金で、透磁率において 45% Ni パーマロイ合金に匹敵する性能をもち、しかも 45% Ni パーマロイの比抵抗 $45 \mu\Omega\text{-cm}$ に対し $140 \mu\Omega\text{-cm}$ という高い比抵抗をもつので周波数の高いところで使用するのに有利であり、また耐摩耗性が大きいので録音機のヘッドなどに好適な材料である。しかしながら圧延性に乏しく従来は加

工が困難とされていたが、このような難は点真空熔解により解消し図 23 に示すように周波数特性のすぐれた材料が得られた。

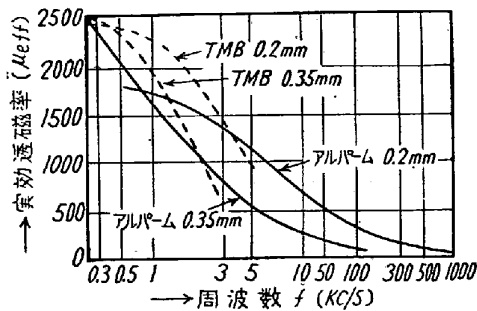


図23. 真空熔解アルパームの磁気特性

2. その他の特殊合金

(1) 高速度鋼

高速度鋼は高合金鋼で、鍛造性がいちじるしく悪い。

とくに Co が高くなると加工性がさらに悪くなり、加工疵が多くなる。真空熔解によると熱間の加工性がいちじるしく改善され、また熱処理のさいの焼割れの発生がほとんどなくなる

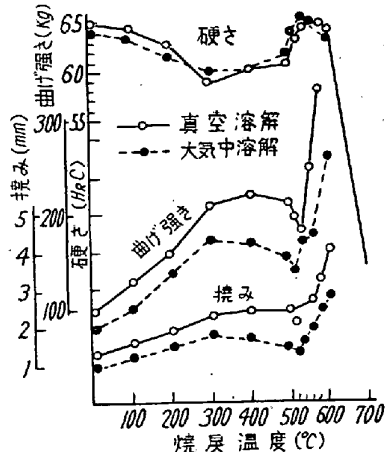


図24. 真空熔解および大気中熔解高速度鋼2種の曲げ、撓み、硬度試験

図 24 には曲げ試験結果を示したが曲げ試験の試料は焼入後横軸に記した各焼戻温度で1時間保持空冷を2回おこなつたものである。図にて明らかなように真空熔解により曲げ強さおよび曲げのさいの撓み量が増大している。さらに興味あることは、真空熔解により切削寿命が向上することで、50%前後の寿命の向上がみられる。

(2) ステンレス鋼

真空熔解により非金属介在物はいちじるしく減少する。表 12 に揚げたような成分組成をもつ Cr20-Ni30合金の硫酸による腐食試験結果を 25 図に示したが、真空熔解により耐食性が改善された。表 13 は 18-8 ステ

表 12. 20 Cr—30 Ni 合金の化学成分

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
真空熔解	0.05	0.28	0.63	19.53	29.42	2.41	3.14
大気中熔解	0.05	0.75	1.00	20.00	29.0	2.30	3.20

ンレス鋼の清浄度とガス分析結果を大気中熔解と真空熔解について比較したものであるが真空熔解により不純物の減少がみられる。また 16 Cr, 25 Cr のフェライト系ステンレス鋼は真空熔解により

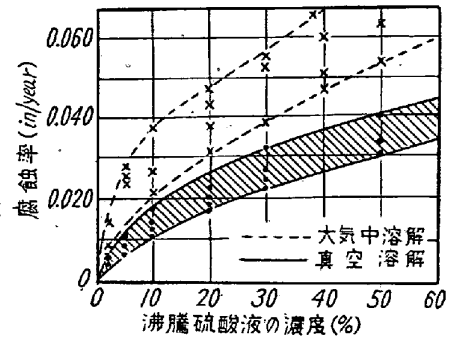


図25. 20Cr-30Ni 合金の腐食試験結果

表 13. 18-8 ステンレス鋼の非金属介在物及びガス含有量

a) 清浄度

	A 型		B 型	
	清浄度	平均厚み μ	清浄度	平均厚み μ
真空熔解	0.02	1.0	0.5	2.2
大気中熔解	0.88	2.0	3.2	3.5

b) ガス分析値

	N ₂ %	O ₂ %	H ₂ %
真空熔解	0.0031	0.0027	0.0002
大気中熔解	0.0177	0.0177	0.0004

脆性域が低温にうつるので常温でも靱性範囲に入る。この状況を図 26 に示した。

(3) 電熱合金

高温発熱体として従来から使用されている Ni-Cr-Fe および Fe-Cr-Al 系合金は、真空熔解により寿命および加工性がいちじるしく改善される。これにより従来加工困難であつた高 Cr-Al のすぐれた耐熱性の分野も期待できる。図 27 に寿命と温度曲線をまた 28 図に機械的性質を示した。

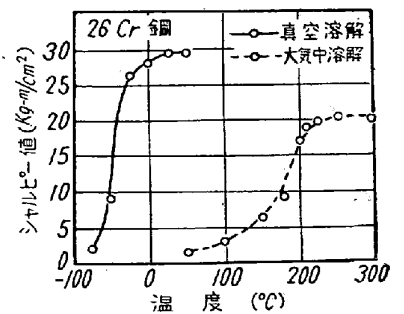
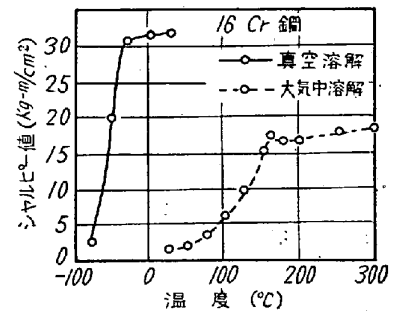
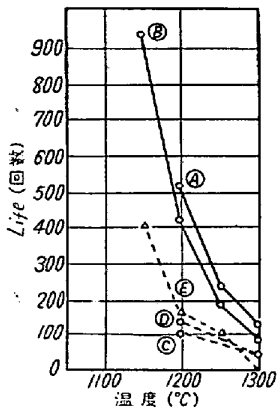


図26. 真空および大気中熔解 16 Cr, 26 Cr 鋼のシャルピー値カーブ



- A: 真空熔解 FCH-1 29 Cr, 4.8 Al, 残 Fe
- B: 真空熔解 FCH-2 20 Cr, 3.3 Cr, 残 Fe
- C: 大気中熔解試作 FCH-2 19 Cr, 3.8 Al, 残 Fe
- D: 大気中熔解市販 FCH-2 18 Cr, 3 Al 残 Fe
- E: 大気中熔解市販 HCH-1 19.3 Cr, 77.0 Ni, 2.4 Mn

図27. 強制寿命試験

(4) その他
Thermo-couple 用合金, Expand metal や封着合金などは成分の配合が正確におこなわれ, 性能の高いものが得られた。また軸受鋼, 耐熱鋼もすぐれた性能のものが得られる。

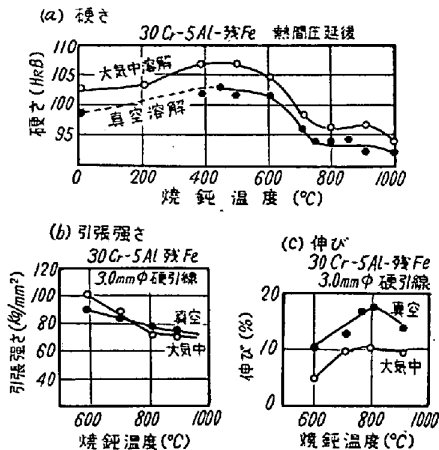


図28. 電熱合金の機械的性質

V. 鋼の真空熔解鑄造に関する研究*

松本茂樹**

最近鋼質改善の方法として実際工業的規模で, 真空熔解や真空鑄造が各所でおこなわれ, 当所においても真空

鑄造の技術を西独ボフマー社より導入して実施中である。また一昨年秋当研究所においても熔解量 5 kg の小型真空熔解鑄造装置を設置以来各種の試験運転を続けて来たが本報においては, 真空造塊作業の基礎的資料その他の資料を得る目的をもって, この装置を用い各種の鋼を熔解し成分歩留, ガス含有量, その他の諸条件ならびに真空熔解鋼塊と, 大気熔解鋼塊との各種性状と二, 三の機械試験の比較を実施したのでその結果について簡単に報告する。

1. 試験要領

炭素量の種々異なる普通鋼と二, 三の特殊鋼を熔製し熔解諸条件, 熔製鋼塊の性状, 二, 三の機械的性質を調べた。

熔解材料の化学成分およびガス量を表 14 に示す。

後掲のごとき化学成分の炭素鋼 5 種および高炭素 Cr-Mo 鋼, Ni-Cr-Mo-V 鋼, Cr-Mo-V 鋼, Mo 鋼, 高炭素 Ni-Cr-Mo 鋼の計 10 鋼種を選び, 真空ならびに大気中とも高アルミナ製のルツボをもちいて熔解し, 諸種の試験に供した。

(1) 真空熔解

表 14 に示した主材料を適当に配合し, ルツボ中に装入し真空ポンプを作動して 10^{-5} mmHgに達した後, 加熱熔解を開始する。しかるときは原料内のガス放出により 10^{-2} mmHg程度に圧力が上昇する。完全に熔解後 7~20 mn 経過すれば圧力は 10^{-3} mmHgに達する。この間に温度を上昇せしめ 1630°C に達した後表14に示した添加材料を添加室より投下して 2mn 後に鑄型に鑄込んだ。

(2) 大気熔解

表 14. 熔解材料の化学成分およびガス量

品名	成分	化学成分 (%)						ガス量 (ppm)		
		C	Si	Mn	P	S	その他	H ₂	O ₂	N
鋼材	B 1	0.09	0.12	0.25	0.016	0.027		1.81	30	48
	B 3	0.35	0.23	0.45	0.018	0.025	Ni 0.13 Cr 0.06	3.67	30	39
	B 5	0.56	0.38	0.52	0.028	0.034	Ni 0.22 Cr 0.09	0.80	110	34
純鉄		0.03	0.01	tr	0.003	0.010		108.18	710	56
鉄	Pig No. 1	4.30	2.70	0.65	0.025	0.060		13.34	190	109
	Pig No. 2	3.57	0.40	0.13	0.192	0.030		0.59	70	84
	Pig No. 3	4.27	0.01	tr	0.003	0.010		3.75		33
添加材料	金属 Si		99.56					4.32		1009
	金属 Mn			99.00				37.28		440
	金属 Cr						Cr 99.00	2.69		308
	Fe-Mo	0.10	0.23	0.10	0.010	0.030	Mo 64.76	1.07		
	Fe-V	0.08	0.49	—	0.011	0.053	V 56.87	14.77		
	Fe-P				23.54			5.30		
	L-C	96.0								

* 生産炉について発表する予定であったが, まだ十分なデータが集積されていないので小型炉について行なつた基礎実験の結果を報告する。
** 株式会社日本製鋼所