

塩基性電気炉および酸性平炉溶製の大型鍛鋼材に関する比較検討ならびに真空造塊に関する研究*

下瀬高明**・成田貴一**・宮本 醇**

Study on Specifications of Heavy Steel Forgings made by Basic Electric Arc Furnace and Acid Open Hearth Furnace as well as Investigation on Vacuum Casting.

Takaaki SHIMOSE, Kiichi NARITA and Atsusi MIYAMOTO

Synopsis:

The largest differences between vacuum casting and open air casting materials were (1) gas contents, namely hydrogen and oxygen contents, (2) nonmetallic inclusions, especially quantity and feature of oxide inclusions and (3) austenitic grain size, especially difference of grain size in coarse grain steel. In the field of mechanical properties and qualities, the merits of vacuum casting are summarized as follows; (4) decrease of deflection of mechanical factor, (5) some improvement of ductility and (6) improvement of nondestructive test result.

In the case of open air casting procedure, the main differences between the products from basic electric arc furnace and those from acid open hearth furnace in this investigation were the difference of the quantitative and qualitative relations of nonmetallic inclusions, and quantities of gas components. (Received 17 October 1962)

I. 緒 言

近年におけるめざましい科学の進歩とともに製鋼においても幾多の新技术がとり入れられ、鉄鋼材料の品質向上に万全の体制がとられつつある。とくに最近における大規模の電源開発事業計画、原子力ならびに造船部門における高度の発展にともない、ローター・シャフト、推進軸あるいはクランク軸などの大型鍛鋼品の品質ならびに性能の向上が極度に要望されるようになってきた。このような趨勢下において当社は日本製鋼所および三菱製鋼所と1958年3月に西ドイツのBochumer VereinおよびLeybold社と技術提携し、1959年5月に真空造塊設備を設置し、翌6月より操業を開始し今日にいたっている。その間大型鍛鋼材ならびに造塊法に関する研究の一環として(1)塩基性電気炉および酸性平炉溶製材の比較検討ならびに(2)大気中造塊材と真空造塊*材との比較検討をおこなった。本稿においてはその比較

検討結果を総合して報告する。

II. 供 試 材

塩基性電気炉および酸性平炉溶製の大型鍛鋼材の比較ならびに鋼材におよぼす真空造塊の影響を明らかにするため、Table 1に示したように実際の製品の仕上げ材より供試材を採取した。またこれらの供試材の一般化学成分組成をTable 2に示す。

鋼塊が大きくなればなるほど鋼塊内における組織偏析ならびに成分偏析も大きくなることが考えられるので、供試材は同一鋼種のほぼ同大の鋼塊を鍛錬して仕上げた製品より、もとの鋼塊の縫方向すなわちtop, middleおよびbottom側、横方向すなわち外周部、中間部および中心部に相当する位置より採取した。供試材の採取法の一例を具体的に図示するとFig. 1のとおりである。

III. 実 験 結 果

前記IIに述べたようにして採取した供試材についてマクロ腐食組織、サルファー・プリント組織、非金属介在物、ガス成分、オーステナイト結晶粒度、材力的性質な

* 本報における真空造塊は出鋼後取鍋に受鋼した溶鋼を真空タンク内に設置した鋳型内に鋳込むいわゆる真空鋳造法(Vacuum casting)であり、操作真空度は5~10mmHg、鋳込温度ならびに速度は鋼種または鋼塊の大きさによつて異なるが大体1565~1585°C、2.0~2.8t/mnの範囲である。

* 昭和37年4月本会講演大会にて発表
昭和37年10月17日受付
** 株式会社神戸製鋼所中央研究所

Table 1. Test materials.

Kind of steel	Open air casting		Vacuum casting	
	Heat No.	Name of finished product	Heat No.	Name of finished product
S F 60	TA 6616	Crank gear for 55BOM type tire press.	TA 6530	Crank gear for 55BOM type tire press.
S F 60	TB 4481	Crank gear for 40BOM type tire press.	TB 4393	Crank gear for 40BOM type tire press.
	TB 7020		TA 7011	
S F 60	TB 4306	Rotor center.	—	—
S F 60	TB 3503	Rod.	—	—
S 45 C	TA 8126	Gear tire for roller.	TA 8131	Gear.
S F 55	TA 7510	550mm × 3700mm bloom.	TA 7506	500mm × 4500mm bloom.
S F 55	TB 5280	600mm × 3600mm bloom.	TB 5285	550mm × 3700mm bloom.
S F 55	TB 4529	ED6MDS type crank shaft.	—	—
S F 55	TA 6731	YZ6SS type crank shaft.	TA 6538	K6Z70/120 shaft with frange.
	TB 4602		TB 4401	
S 35 C	TA 7891	Table roller.	TA 7882	Table roller.
S F 55	TE 2634	9RD76 type crank arm.	TE 2628	9RD76 type crank arm.
S F 55	TE 2594	6MD51 type crank shaft.	TE 2615	6MD51 type crank shaft
S F 55	TE 2501	6MD51 type crank shaft.	—	—
S F 55	TE 2362	K9Z78/1400 type shaft with frange.	—	—
S F 55	TE 3051	K9Z78/140 type crank web.	TE 3080	9UEC85/160 type crank web.
S F 55	TE 3078	9UEC85/160 type crank web.	TE 3195	9UEC85/160 type crank web.
S CM	TA 7029	Cam waltz for continuous roller.	TA 7030	Cam waltz for continuous roller.
S CM	TA 7553	200mm ϕ mould for centrifugal casting.	TA 7864	200mm ϕ mould for centrifugal casting.
S NCM	—	—	TA 6657	Step roller.
S NCM	—	—	TA 6830	Pinion for 17600HP turbine.
S NCM	TA 8174	Pinion shaft for slab-pusher.	TA 8175	Pinion shaft for slab-pusher.
S CM	TE 3188	Roll.	TE 3550	Roll.
S CM	TE 3144	Roll.	—	—
S NCM	—	—	TE 3175	Roll.

None. TA, TB: basic electric arc furnace, TE: acid open hearth furnace.

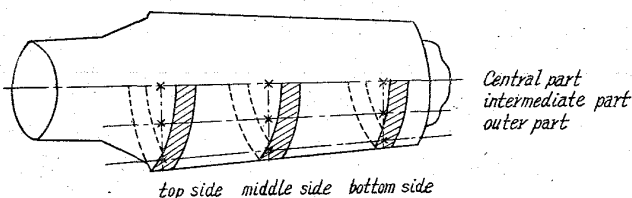


Fig. 1-(a) Schematic diagram of sampling positions of test materials.

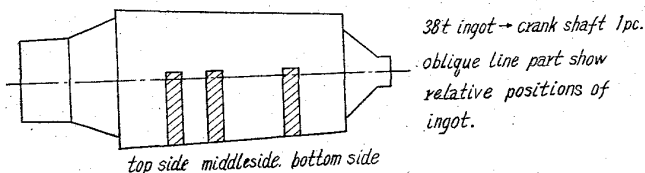


Fig. 1-(b) Position of test materials from crank shaft.

らびに超音波深傷試験成績を調べ、それらについて比較検討をおこなった。

1. マクロ腐食組織およびサルファー・プリント組織
供試材の縦方向ならびに横方向のマクロ腐食組織およびサルファー・プリント組織の一例を示すと Photo. 1 および 2 のとおりである。マクロ腐食組織は塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材、また大気中造塊材と真空造塊材とにおいて大差は認められず、いずれも供試材の横方向では中間部が中心部ならびに外周部に比較して繊維状組織がやや肥大である。サルファー・プリント組織についても本実験の範囲内では、塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材ならびに大気中造塊材と真空造塊材とにおいて大差は認められないが、サルファー・プリント組織上にみられる鋼塊内における硫化物の偏析は比較的に大きく、硫化物は一般に top 側の方が bottom 側よりも多く、また横方向では中間部ならびに中心部の方が外周部よりも多い傾向が認められる。

2. 非金属介在物

(1) 酸化物系介在物

Table 2. Chemical composition of test materials (%).

Heat No.	Kind of steel	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	V
TA6616 (A.C)	SF60	0.45	0.66	0.24	0.020	0.015	0.12	0.09	0.06	—	0.002	—
TB4481 (A.C)	SF60	0.41	0.70	0.23	0.027	0.013	0.12	0.09	0.10	—	0.005	—
TA7020 (A.C)	SF60	0.42	0.70	0.33	0.019	0.015	0.10	0.09	0.07	—	0.001	—
TB4393 (A.C)	SF60	0.40	0.72	0.25	0.021	0.014	0.12	0.09	0.05	—	0.010	—
TA7011 (V.C)	SF60	0.42	0.63	0.24	0.023	0.015	0.10	0.06	0.06	—	0.001	—
TB4306 (A.C)	SF60	0.42	0.66	0.24	0.014	0.014	0.16	0.06	0.07	—	0.001	—
TB3503 (A.C)	SF60	0.42	0.66	0.24	0.016	0.013	0.08	0.06	0.07	—	0.001	0.065
TA8126 (A.C)	S45C	0.44	0.65	0.27	0.010	0.010	0.09	0.05	0.06	—	0.010	—
TA8131 (V.C)	S45C	0.46	0.70	0.28	0.010	0.010	0.09	0.05	0.06	—	0.010	—
TA7510 (A.C)	SF55	0.36	0.69	0.27	0.021	0.015	0.11	0.06	0.06	—	0.001	—
TA7506 (V.C)	SF55	0.36	0.68	0.27	0.019	0.016	0.10	0.08	0.07	—	0.010	—
TB5280 (A.C)	SF55	0.35	0.70	0.26	0.017	0.012	0.10	0.08	0.05	—	0.001	—
TB5285 (V.C)	SF55	0.35	0.67	0.26	0.026	0.016	0.10	0.12	0.08	—	0.010	—
TB4529 (A.C)	SF55	0.38	0.57	0.27	0.016	0.013	0.10	0.07	0.06	—	0.001	—
TA6731 (A.C)	SF55	0.34	0.71	0.24	0.017	0.014	0.11	0.09	0.08	—	0.007	—
TB4602 (A.C)	SF55	0.34	0.71	0.24	0.017	0.014	0.11	0.09	0.08	—	0.007	—
TA6538 (V.C)	SF55	0.35	0.61	0.25	0.020	0.014	0.11	0.09	0.06	—	0.006	0.075
TB4401 (V.C)	SF55	0.35	0.61	0.25	0.020	0.014	0.11	0.09	0.06	—	0.006	0.075
TA7891 (A.C)	S35C	0.37	0.60	0.22	0.020	0.019	0.12	0.08	0.06	—	0.001	—
TA7882 (V.C)	S35C	0.37	0.59	0.27	0.020	0.014	0.11	0.07	0.06	—	0.009	—
TE2634 (A.C)	SF55	0.37	0.74	0.31	0.024	0.016	0.07	0.06	0.04	—	0.001	0.072
TE2628 (V.C)	SF55	0.36	0.71	0.34	0.028	0.017	0.07	0.07	0.05	—	0.007	—
TE2594 (A.C)	SF55	0.34	0.65	0.31	0.029	0.022	0.08	0.09	0.04	—	0.001	—
TE2615 (V.C)	SF55	0.34	0.51	0.24	0.030	0.023	0.09	0.06	0.04	—	0.007	—
TE2501 (A.C)	SF55	0.36	0.61	0.31	0.022	0.018	0.12	0.11	0.10	—	<0.001	—
TE2362 (V.C)	SF55	0.34	0.61	0.24	0.021	0.022	0.08	0.07	0.06	—	<0.001	—
TE3051 (A.C)	SF55	0.37	0.72	0.29	0.022	0.017	0.07	0.05	0.04	—	0.001	0.089
TE3080 (V.C)	SF55	0.39	0.62	0.25	0.021	0.014	0.07	0.07	0.08	—	0.006	0.075
TE3078 (A.C)	SF55	0.38	0.68	0.27	0.018	0.015	0.07	0.10	0.07	—	0.001	0.082
TE3193 (V.C)	SF55	0.38	0.65	0.31	0.023	0.016	0.08	0.06	0.04	—	0.007	0.065
TA7029 (A.C)	SCM	0.37	0.60	0.27	0.012	0.018	0.12	0.09	1.28	0.26	0.001	0.100
TA7030 (V.C)	SCM	0.36	0.60	0.27	0.019	0.014	0.09	0.08	1.40	0.28	0.015	0.110
TA7553 (A.C)	SCM	0.28	0.49	0.31	0.015	0.015	0.14	0.05	1.24	0.47	0.001	—
TA7864 (V.C)	SCM	0.29	0.53	0.32	0.015	0.015	0.10	0.06	1.20	0.49	0.010	—
TA6657 (V.C)	SNCM	0.29	0.60	0.22	0.023	0.010	0.10	3.05	1.00	0.26	0.012	—
TA6830 (V.C)	SNCM	0.29	0.56	0.20	0.024	0.013	0.12	2.62	0.48	0.27	0.013	0.077
TA8174 (A.C)	SNCM	0.33	0.80	0.25	0.027	0.019	0.10	1.82	0.86	0.26	0.001	—
TA8175 (V.C)	SNCM	0.33	0.73	0.26	0.017	0.022	0.10	1.72	0.72	0.26	0.010	—
TE3144 (A.C)	SCM	0.46	0.73	0.31	0.020	0.017	0.06	0.06	0.86	0.34	0.001	—
TE3138 (A.C)	SCM	0.48	0.74	0.25	0.021	0.017	0.06	0.06	0.88	0.35	0.001	0.115
TE3550 (V.C)	SCM	0.47	0.69	0.25	0.020	0.015	0.06	0.05	0.98	0.35	0.008	0.120
TE3175 (V.C)	SNCM	0.46	0.71	0.32	0.021	0.016	0.08	0.90	1.06	0.40	0.004	—

Note, (A.C): Open air casting, (V.C): Vacuum casting.

TA and TB: Basic electric arc furnace, TE: Acid open hearth furnace.

温硝酸法によつて酸化物系介在物の定量をおこなつた結果を示すと Fig. 2 のとおりであり、いずれの鋼種においても真空造塊材の方が大気中造塊材よりも一般に少ない。すなわち本実験結果においては真空造塊を適用することによつて、酸化物系介在物量は塩基性電気炉溶製の炭素鋼 SF60, S45C 材では約 35%, 炭素鋼 SF55, S35C 材では約 37%, 低合金鋼鍛鋼材では約 30%, また酸性平炉溶製の炭素鋼 SF55 材では約 38%, 低合金鋼鍛鋼材では約 70% 減少している。

一方酸化物系介在物の構成成分上には大気中造塊材と

真空造塊材とにおいてかなり明瞭な差異が認められる。すなわち Fig. 3 に示したように真空造塊を適用することによつて SiO₂, MnO, FeO 系介在物はいちじるしく低減し、Al₂O₃ 系介在物が増加している。Fig. 3 に示した化学分析結果ならびに後述の光学顕微鏡的観察結果より、真空造塊材における Al₂O₃ 系介在物の増加は大體つぎのように説明することができる。すなわち本実験における真空造塊においては、真空タンクの上部にアルミニウム封板を取付けて系内を気密に保持しており、真空造塊開始に際しては溶鋼がこのアルミニウム封板をと

Macro Structure

Ingot making	Open air casting						Vacuum casting					
	Longitudinal direction			Transverse direction			Longitudinal direction			Transverse direction		
	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part
Top side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		
Middle side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		
Bottom side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		

Sulphur print structure

Ingot making	Open air casting						Vacuum casting					
	Longitudinal direction			Transverse direction			Longitudinal direction			Transverse direction		
	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part
Top side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		
Middle side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		
Bottom side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		

30mm

Photo. 1. Macro structure and sulphur print structure of medium carbon steel. (F. R. : 12·0~14·0) (2/5)

Macro structure

Ingot making	Open air casting						Vacuum casting					
	Longitudinal direction			Transverse direction			Longitudinal direction			Transverse direction		
	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part
Top side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		
Bottom side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		

Sulphur print structure

Ingot making	Open air casting						Vacuum casting					
	Longitudinal direction			Transverse direction			Longitudinal direction			Transverse direction		
	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part	Outer part	Intermediate part	Central part
Top side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		
Bottom side	[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]			[Micrograph]		

20mm

Photo. 2. Macro structure and sulphur print structure of chromium molybdenum steel (F. R. : 11·1~11·4) (2/5)

かして真空タンク内に設置した鑄型中に注入されるため 真空造塊においては大気による溶鋼の酸化がほとんどな
かなりのアルミニウムが溶鋼中に導入される*。 しかも いので、溶鋼中におけるアルミニウムの歩留りも高く溶

* 真空タンク上部に取付けたアルミニウム封板の厚さが 5mm の場合、真空造塊開始時に中間取鍋内の溶鋼の流下により径約 500mm のアルミニウム封板がとれるので、溶鋼中に約 2.6 kg のアルミニウムを添加したことになる。最近では厚さ 2~3 mm のアルミニウム封板を使用しているが、それでも 1.0~1.7 kg のアルミニウムが溶鋼中に添加されることになる。

真空造塊材中のアルミニウム量は Table 2 に示したように鋼塊重量が小さいほど多いこと、真空造塊材中の酸化物系介在物の大部分が Al₂O₃ であること、さらに光学顕微鏡的観察結果によれば、真空造塊材中の Al₂O₃ または Al₂O₃ 系酸化物はいずれも雲状アルミナの形態を有し、あきらかに内生的形態を有していることなどは、上記機作によるアルミニウムの溶鋼内導入を示すものである。

鋼中の鉄，マンガン，酸化物の増加をきたすと考えられる。すなわち真空造塊を適用することによって低圧下におけるC-O反応，機械的分離過程などにより酸化物系介在物はあきらかに減少するが，同一鋼種のほぼ同じ大きさの鋼塊の大気中造塊材に比較すれば，酸化物系介在物中のAl₂O₃成分の比率は大きく，またその絶対量も多いという傾向がある。

つぎに大気中造塊の場合について塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とを比較すると Fig. 2 および3 に示したように酸化物系介在物は一般に後者の方が前者よりもやや多い。酸化物系介在物の構成成分は酸性平炉溶製材ではSiO₂量は比較的多く，0.0050~0.0090% ($\bar{X}=0.0069\%$)であり，MnO量は比較的少なく，0.0010~0.0030% ($\bar{X}=0.0017\%$)であり，SiO₂(%)/MnO(%)比が大きいという特長があるが，塩基性電気炉溶製材では前者に較べてSiO₂量はやや少なく，0.0020~0.0060% ($\bar{X}=0.0046\%$)でありMnO量はやや多く0.0020~0.0040% ($\bar{X}=0.0028\%$)であり，したがってSiO₂(%)/MnO(%)比はかなり小さい。しかしながら真空造塊を適用するといずれの場合もSiO₂およびMnO成分がいちじるしく減少し，Al₂O₃系介在物の増加をきたし，構成成分上の差異は認められなくなる。

(2) 硫化物系介在物

硫化物系介在物の化学分析結果によれば，硫化物量におよぼす真空造塊の影響はほとんど認められない。すなわち硫化物系介在物量は供試材中の硫黄含有量によって決まり，硫黄量の多い鋼材ほど硫化物系介在物量は多い。また一般に鋼材内部とくに横方向における硫化物の偏析傾向はかなり大きく，硫化物系介在物量はいずれも鋼塊の外周部よりも中間部および中心部の方が多い。

つぎに塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材中の硫化物系介在物量を比較した結果によれば，硫化物系介在物

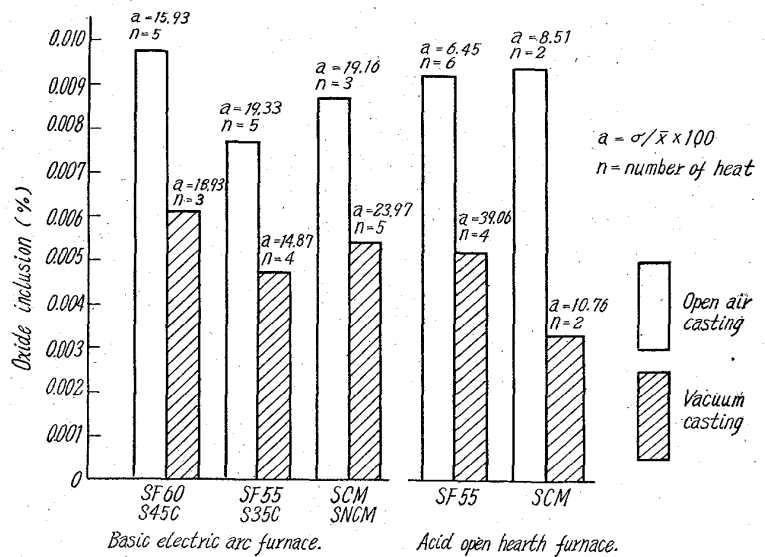


Fig. 2. Comparison of oxide inclusion content in materials made by basic electric arc furnace and those made by acid open hearth furnace, and effect of vacuum casting. (Note. Percentage of oxide inclusion show the average-value in steel ingot of each heat).

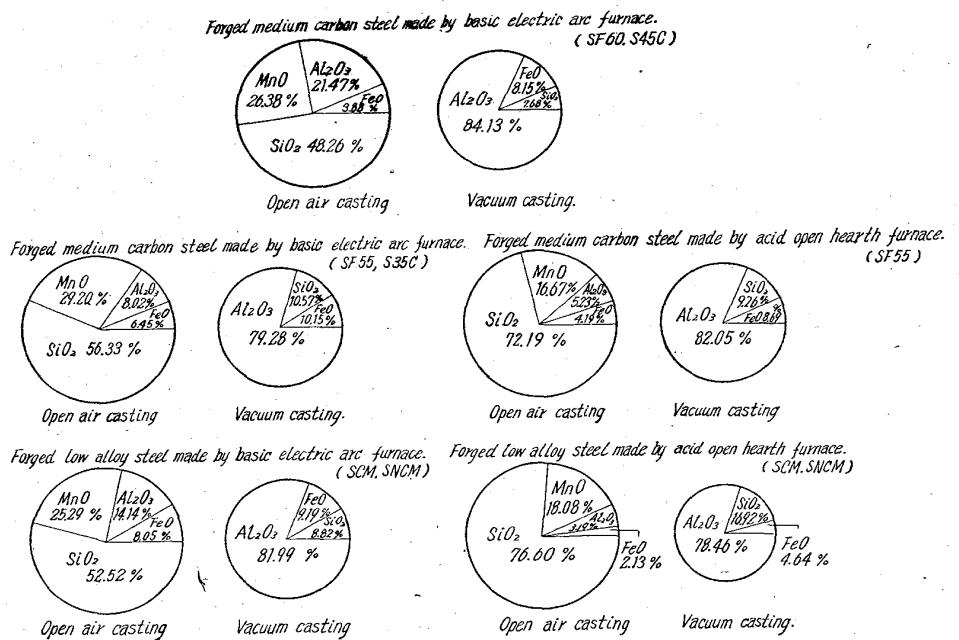


Fig. 3. Comparison of oxide inclusion in materials made by basic electric arc furnace and those made by acid open hearth furnace, and those made by acid open hearth furnace, and effect of vacuum casting.

量は後者の方が前者よりもやや多い傾向がある。なお紙面の都合上個々の分析値は割愛するが，本実験を通じいづれの供試材においても，硫化物系介在物中のMnS(%) / FeS(%)比は大体 9:1~8:2 であつた。

(3) 非金属介在物の光学顕微鏡的形態および特性

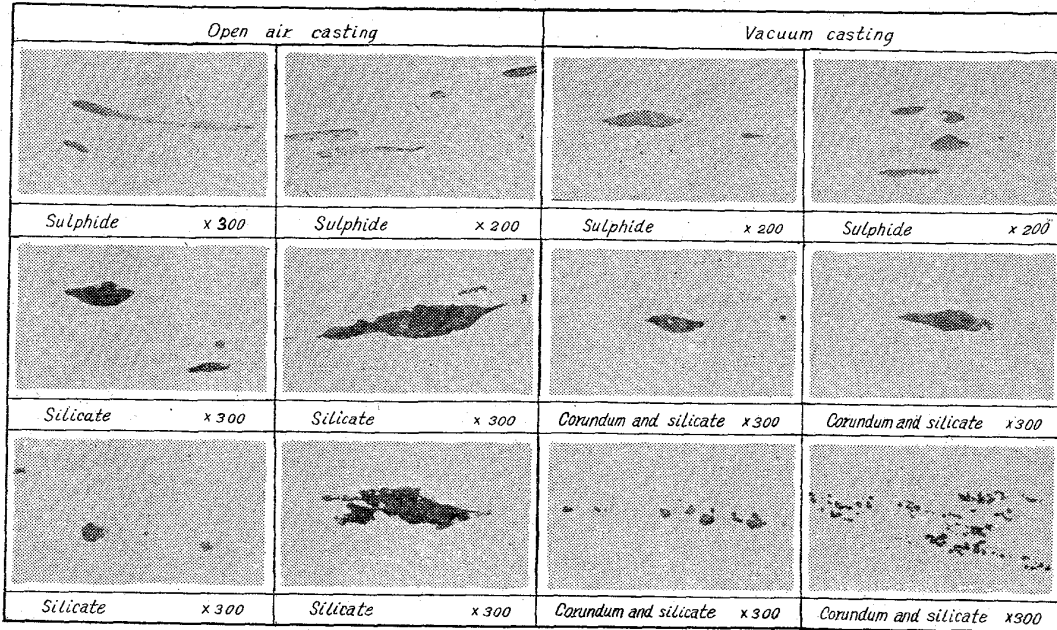


Photo. 3. Comparison of nonmetallic inclusion in open air casting and vacuum casting materials, made by acid open hearth furnace (Medium carbon steel SF 55, F.R. : 12.0~14.0). (2/5)

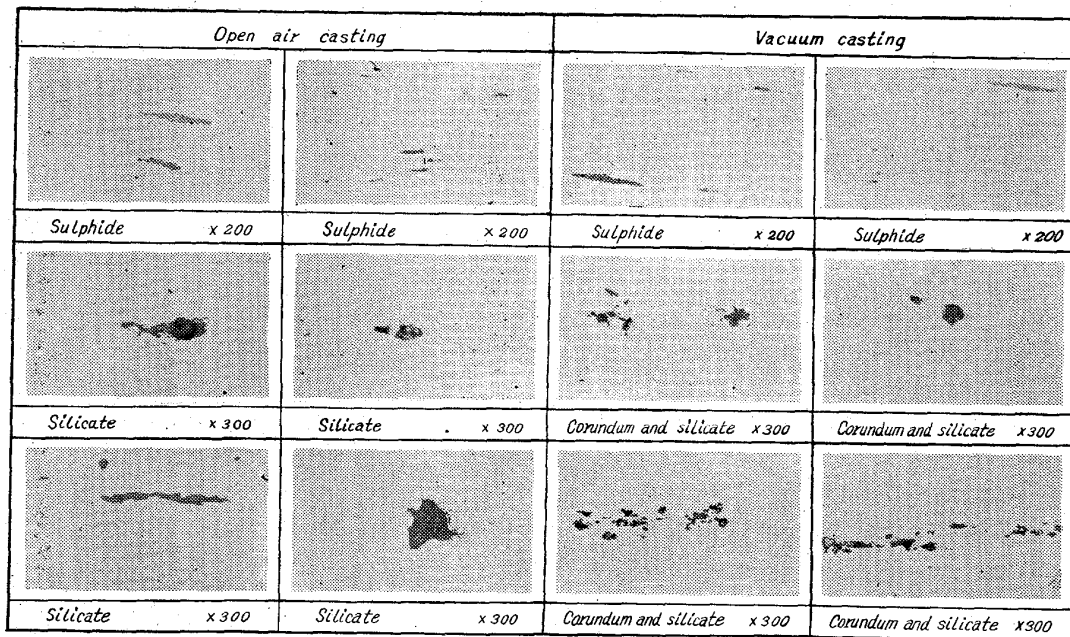


Photo. 4. Comparison of nonmetallic inclusion in open air casting and vacuum casting materials, made by basic electric arc furnace (Chromium molybdenum steel, F.R. : 11.1~11.4). (2/5)

非金属介在物の光学顕微鏡的形態の一例ならびに特性を示すと Photo. 3, 4 および Table 3 のとおりであり、大気中造塊材と真空造塊材中に認められる非金属介在物はいずれも灰色~暗灰色を帯びた均一相または複合相からなる珪酸塩、灰色~黒色を帯びたアルミナおよびアルミノ珪酸塩ならびに淡灰色~灰色を帯びた硫化物である。大気中造塊材に比較して真空造塊材中の珪酸塩はやや小さく、また量的にも少ないが、典型的なコランダム(α - Al_2O_3) およびヘルシナイト ($FeO \cdot Al_2O_3$) の小さい結

晶が多いという特長がある。しかしながら硫化物の形態、大きさならびに分布析出状態には大差は認められない。また塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて、非金属介在物の光学顕微鏡的形態上には本質的な差異は認められない。

3. ガス成分

(1) 水素

溶鋼中の水素と圧力との間には近似的に A. SIVERTS の法則が成立する。したがって真空造塊時における操作圧力が低いほど溶鋼中の水素量は少なくなると考えられる。そこでその程度を明らかにするため、真空造塊を適用することによって減少する溶鋼中の水素量を百分比で表わすと Fig. 4 のとおりであり、真空造塊後の溶鋼中

晶が多いという特長がある。しかしながら硫化物の形態、大きさならびに分布析出状態には大差は認められない。また塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて、非金属介在物の光学顕微鏡的形態上には本質的な差異は認められない。

(4) 清浄度

JIS 法に準拠して測定した鋼材内部における清浄度の値 $d_{60 \times 400}$ の分布は、前記 2. (2)項に述べた硫化物系介在物の偏析傾向とほぼ一致している。すなわち鋼塊の縦方向における清浄度の値はいずれも top 側の方が bottom 側に比べてやや大きく、横方向では外周部が比較的に清浄であり、中間部および中心部は大きくなっている。

全般的に清浄度は真空造塊材の方が大気中造塊材よりも良好であるが、本実験の範囲内では塩基性電気炉溶製材と酸性

Table 3. Characteristics of representative nonmetallic inclusions.

Nonmetallic inclusion	Forms	Color	Chemical characteristics	Identification of nonmetallic inclusion	Remarks
Silica, Silicate.	There are single phase silica and silicates, and complex phase silicates, which are deformed plastically along the longitudinal direction by hot working. Size : 1~200 μ	Grey~dark grey	No reaction with 10% alc. nitric acid, boiling aq. sodium picrate and 10% aq. chromic acid. Some silicates are attacked by 5% alc. hydrochloric acid, but others show no reaction. However, inclusions are virtually attacked by 20% aq. hydrofluoric acid.	SiO ₂ , Ferro-mangano-silicates.	Silicates in vacuum casting material are smaller in size and fewer in quantity.
Corundum, Alumina spinel.	Typical crystalline compound, which are not deformed plastically by hot working. Size : 0.5~30 μ	Grey~black, rarely colorless	There is virtually no reaction with 10% alc. nitric acid, boiling aq. sodium picrate, 10% aq. chromic acid, 5% alc. hydrochloric acid and 20% aq. hydrofluoric acid.	Al ₂ O ₃ , (Fe,Mn)O·Al ₂ O ₃	Much contained in vacuum casting materials. Particles are very fine. Open air casting material without aluminum addition as finishing deoxidizer does not contain.
Alumino-silicate.	Crystalline compounds, which are hardly deformed plastically by hot working. Size : 1~50 μ	Grey~dark grey	There is virtually no reaction with 10% alc. nitric acid, boiling aq. sodium picrate, 10% aq. chromic acid, 5% alc. hydrochloric acid and 20% aq. hydrofluoric acid, but some inclusions are attacked slowly by 20% aq. hydrofluoric acid.	Alumino-silicates, Ferro-mangano-alumino-silicates.	Much contained in vacuum casting material, and fine particle.
Sulphide.	Deformed plastically along the longitudinal direction by hot working. Size : 0.5~250 μ	Light grey~grey	Inclusions are attacked slowly by 10% alc. nitric acid, boiling aq. sodium picrate and 10% aq. chromic acid, and are virtually attacked by 5% alc. hydrochloric acid and 20% aq. hydrofluoric acid.	MnS, FeS, (Mn, Fe)S	Not much difference in open air casting and vacuum casting materials

の水素量は平均 1.5 ppm に減少している。また大気造塊の場合について塩基性電気炉および酸性平炉溶製の溶鋼中における水素量を比較すると、Fig. 5 に示したように出鋼前ならびに取鍋内溶中の水素量は塩基性電気炉よりも酸性平炉溶製の溶鋼の方がやや少ない傾向がある。

(2) 酸素

Fig. 6 に示したように真空造塊を適用することによって鋼材中の酸素量もかなり低減する。その程度は鋼種ならびに造塊条件によつて異なると考えられるが、大気中造塊材中の平均酸素量を基準として真空造塊材中の酸素の低減率 (D.O) を示すと同図中に併記したとおりである。また Fig. 6 から明らかなように大気中造塊の場

合には、酸性平炉溶製材中の酸素量は塩基性電気炉溶製材に較べてやや多い傾向がある。

(3) 窒素

上記酸素の場合と同様にして大気中造塊材中の平均窒素量を基準にして真空造塊材中の窒素の低減率 (D.N) を示すと Fig. 6 に併記したとおりであり、窒素量にも若干の減少が認められる。また大気中造塊の場合には窒素量は一般に塩基性電気炉溶製材の方が酸性平炉溶製材よりもやや多い傾向がある。

4. オーステナイト結晶粒度

本実験においてオーステナイト結晶粒の微細化調整が適用された供試材は塩基性電気炉溶製の炭素鋼 S45C 大

気中造塊材 1 体, 炭素鋼 SF55 真空造塊材 1 体, クロム・モリブデン鋼大気中造塊材および真空造塊材各々 1 体, ニッケル・クロム・モリブデン鋼真空造塊材 1 体,

酸性平炉溶製の炭素鋼 SF55 大気中造塊材 3 体および同真空造塊材 2 体, クロム・モリブデン鋼大気中造塊材 1 体ならびにニッケル・クロム・モリブデン鋼真空造塊材 1 体の計 12 種であり, その他の供試材は微細化調整をおこなわない粗粒鋼であるが,

大型鍛鋼材内部のオーステナイト結晶粒度の分布を調査する目的で各供試材について JIS 滲炭法に準拠してオーステナイト結晶粒度を測定した。

その結果によれば, バナジウム 0.06~0.11% を添加した前記 12 種の供試材はいずれも粒度番号が 6~7 の整粒組織を示す完全細粒鋼であった。また全般的に真空造塊材は大気中造塊材に比較してオーステナイト結晶粒度はやや細くなる傾向があり, この傾向は

Fig. 7 に示したように微細化調整をおこなわない粗粒鋼に顕著である。これは真空造塊

時に溶鋼中に導入されるアルミニウム封板に起因するためであると考えられる。

5. 材力の性質

真空造塊を適用することによつて, 溶鋼ならびに鋼材中の水素, 酸素および窒素が減少し, かつそれらの偏析も少なくなるので材力的な面においてもかなりの向上が期待される。この点を明らかにするため, 本実験供試材についておこなつた材力的試験の結果を示すと Fig. 8 のとおりであり, この試験結果によれば (1) 真空造塊材は大気中造塊材に比較して一定の抗張力に対する伸びならびに絞りが大きくなり, (2) 鋼塊間ならびに鋼塊内における降伏点および抗張力のばらつきが少なくなる傾

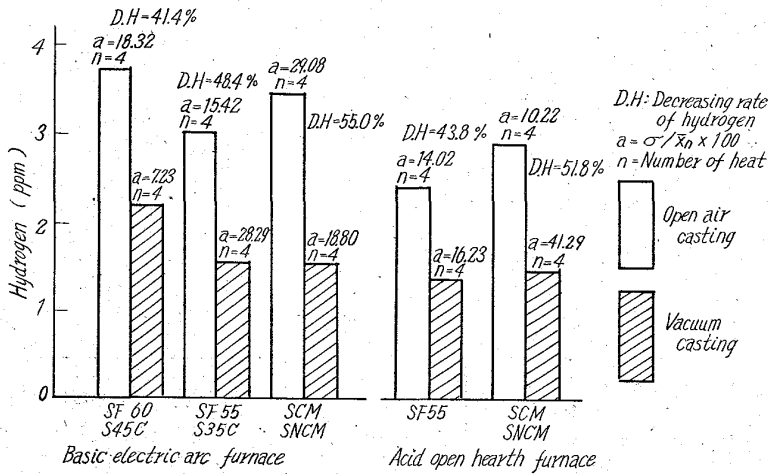


Fig. 4. Dehydrogen effect in molten steel by vacuum casting.

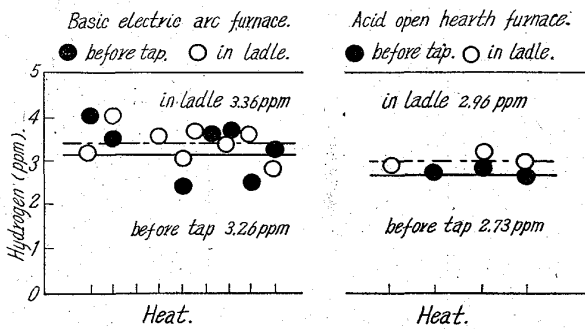


Fig. 5. Comparison of hydrogen content in molten steel made by basic electric arc furnace and by acid open hearth furnace.

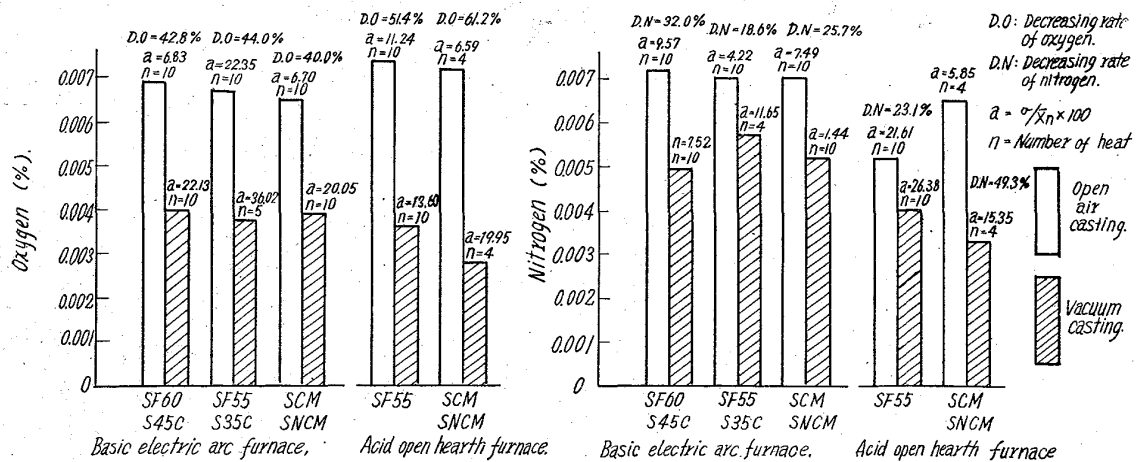


Fig. 6. Comparison of oxygen and nitrogen contents in materials made by basic electric arc furnace and those made by acid open hearth furnace, and effect of vacuum casting. (Note. Percentage of oxygen and nitrogen show the average-value in steel ingot of each heat)

向がかなり顕著に認められる。しかしながらその他の点については、本実験の範囲内であり大きな変化は認められない。

6. 超音波探傷試験

本実験供試材についておこなった超音波探傷試験の結果によれば、真空造塊材の方が大気中造塊材よりもはるかに健全であり、真空造塊を適用することによって欠陥度ならびに透過度は向上し、マイクロクラック波形、非金属介在物波形ならびにゴースト波形はほとんど認められなくなり、大気中造塊材にしばしば認められる巨視的欠陥とくに鋼塊頭部の牧縮孔、プロホールあるいはピンホールに起因すると考えられる欠陥の誘発傾向を低減することができる。大気中造塊材については塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて超音波探傷試験結果には大差は認められない。

IV. 総括

以上塩基性電気炉および酸性平炉溶製の大型鍛鋼材についておこなった比較検討結果ならびに真空造塊の効果について2, 3の実験結果を述べた。その結果を総括するとつぎのとおりである。

1. 大気中造塊と真空造塊材、また塩基性電気炉と酸性平炉溶製材とにおいてマクロ腐食組織上には大差は認められない。

2. またサルファー・プリント組織上にも大差は認められないが、硫化物はいずれの鋼材においても、もとの鋼塊の縦方向ではtop側に、また横方向では中間部および中心部にかなり正偏析している。

3. 酸化物系介在物は真空造塊を適用することによって30~50%減少し、構成成分上においてはSiO₂, FeO, MnO成分がかなり減少するが、一方Al₂O₃成分が若干増加する。大気中造塊の場合には酸化物系介在物量は一般に酸性平炉溶製材の方が塩基性電気炉溶製材よりもやや多く、またSiO₂(%)/MnO(%)比も大きい。真空造塊を適用するとこのような差異はほとんどなくなる。

4. 硫化物系介在物におよぼす真空造塊の影響はほとんど認められず、鋼材中の硫化物系介在物量は硫黄含有量によって決まる。本実験の範囲内においては硫化物系介在物量は酸性平炉溶製材の方が塩基性電気炉溶製材よりもやや多い傾向がある。またいずれの場合においても硫化物系介在物はいずれの鋼塊の縦方向ではtop側に、横方向では中間部および中心部に多い傾向がある。

5. 清浄度は全般的に真空造塊材の方が大気中造塊材

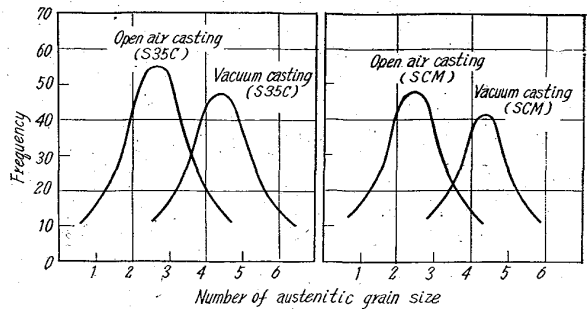


Fig. 7. Effect of vacuum casting on distribution of austenitic grain size in coarse grain steel.

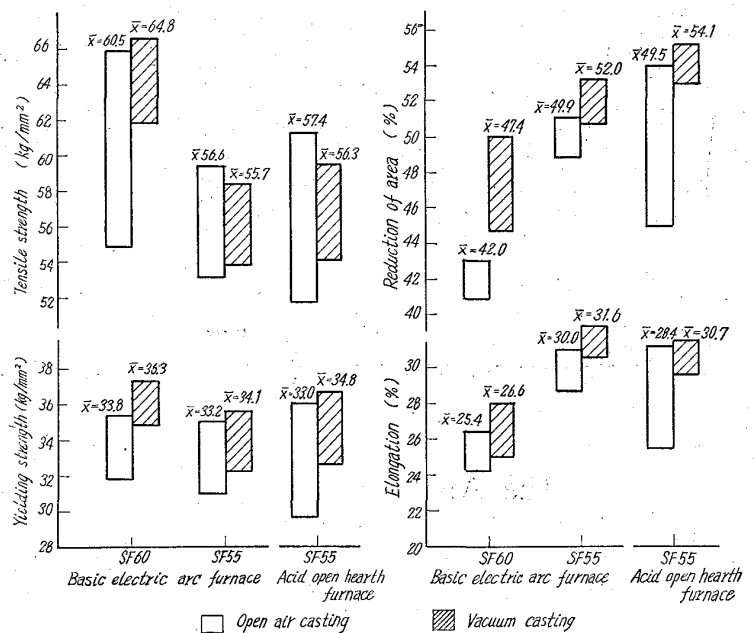


Fig. 8. Comparison of results of conventional mechanical test in materials made by basic electric arc furnace and those made by acid open hearth furnace, and effect of vacuum casting.

よりも良好であるが、塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて大差は認められない。

6. 真空造塊を適用することによって溶鋼中の水素は約50%以上減少し、1~2ppmになる。また一般に溶鋼中の水素量は酸性平炉の方が塩基性電気炉よりも少ない。

7. 真空造塊を適用することによって鋼材中の酸素は40~50%減少する。大気中造塊の場合、酸性平炉溶製材中の酸素量は塩基性電気炉溶製材に比べて若干多い傾向がある。

8. 真空造塊を適用することによって鋼材中の窒素は20~30%減少する。大気中造塊の場合、塩基性電気炉溶製材中の窒素量は酸性平炉溶製材に比べて若干多い傾向がある。

9. オーステナイト結晶粒度は真空造塊を適用することによつて幾分細くなる傾向があり、この傾向は粗粒鋼に顕著である。この現象は真空造塊そのものによるものではなく、真空造塊時に使用するアルミニウム封板に起因するものである。大気中造塊材では塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて、オーステナイト結晶粒度ならびにその分布状態には大差な認められない。

10. 材力的性質は真空造塊を適用することによつて、一般に一定の抗張力に対する伸びならびに絞りが向上し、また鋼材内部における降伏点および抗張力のばらつきが少なくなる。大気中造塊材では塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて材力的試験結果には大差が認められない。

11. 真空造塊を適用することによつて超音波探傷試験で検出されるような巨視的欠陥を防止することができる。大気中造塊材では塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて超音波探傷試験結果上に大差は認められ

ない。すなわち真空造塊材と大気中造塊材とにおけるもつとも大きな差異は、本実験の範囲内において(1)ガス成分の量、(2)非金属介在物とくに酸化物系介在物の量と存在形態、また(3)オーステナイト結晶粒度とくに粗粒鋼における粒度の相異であり、材力ならびに材質面では(4)鋼材内部における材力的性質の均一化と靱性が若干向上することならびに非破壊試験成績が向上することなどである。

一方大気中造塊の場合、塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおけるおもな差異は(1)ガス成分および(2)非金属介在物とくに酸化物系介在物の量的関係と存在形態にある。

しかしながら大型鋼塊の凝固組織、偏析の実体、内部欠陥の発生状態などについては本実験供試材採取法の性格上これを明確に把握することはできなかつた。これらの諸点については爾後の研究にゆづりたい。

冷間圧造用線材の球状化焼なまし温度および時間について*

横山均次**・山本 晃**・山本 襄***

On the Annealing-Temperature and-Time for Spheroidization of Wire Rods for Cold Forming.

Kinji YOKOYAMA, Akira YAMAMOTO and Jyo YAMAMOTO

Synopsis:

With carbon steel wire-rods of JIS S35C and S45C which are used for cold formed bolts of medium strength, a study was made on the influence of the annealing treatment under various conditions referring to the structure, mechanical properties and crack occurrence under compression tests utilizing an Amsler universal testing machine or a crankpress.

The purpose of this study is to obtain a fundamental data for spheroidizing annealing of wire-rods in factories.

From the results of this experiments, it is confirmed that pretreatments (cooling in oil, air or furnace) and annealing conditions (temperature and time) give a correlative influence on the spheroidizing annealing of these wire-rods for cold forming; that there are adequate ranges in the aforementioned temperature and time; that the occurrence of cracks in cold forming is more related to the contraction value than to the elongation; and that, by an oil-cooling pretreatment of wire rods, higher-strength bolt blanks can be obtained which are very resistant to occurrence of cracks on cold forming in spite of an annealing at a relatively low temperature and in a relatively short time. (Received 8 November 1962)

I. 緒 言

冷間圧造用線材の球状化焼なましとその効果についてはすでに発表した¹⁾²⁾。これらの研究においては球状化

に必要な温度と時間についておおむね適正と思われる値

* 昭和37年4月本会講演大会にて発表
昭和37年11月8日受付

** 東京工業大学精密工学研究所 工博

*** 東京工業大学精密工学研究所