

Table 1. Maximum oxide inclusion in steel before and after solidification.

生成の進んでいることがわかる。また、徐冷部分の介在物の大きさは、急冷部分よりも大きく、このような条件下でも凝集、肥大が進行しているものと推定できる。

3.4.2 凝固過程における介在物の凝集肥大

500 g の中炭素鋼を溶解し、これを珪素およびマンガンを脱酸後、半凝固状態(液相線と固相線との中間温度)で一定時間保持した後、これを急冷し保持前後における酸化物系介在物の大きさを比較した。その結果の一例を Photo. 1 に示した。

すなわち、介在物の大きさが保持前、最大 $15\mu\phi$ であるのに対し、保持後、最大 $150\mu\phi$ まで生長し、体積では約 1000 倍に肥大していることがわかる。またわれわれは先に発表¹⁷⁾したように、珪素で脱酸後急冷した試料を加熱し半溶融状態(液相線と固相線との中間温度)で一定時間保持し、その前後において SiO_2 量とその形状が増大することを示したが、本試験結果とまったく同じ傾向の結果を示し、凝固過程において介在物の凝集肥大が相当活潑に行なわれているものと判断される。

4. 結 言

以上、諸実験結果に基づき、大型鋼塊沈殿晶部に多発する大型酸化物系介在物の発現機構について考察を加えた。その結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 大型鋼塊沈殿晶部に多発する大型酸化物系介在物の発現をいわゆる沈殿晶説により説明することは、多くの問題があり十分なものとはいえないことを明らかにした。

(2) この部分に多発する大型酸化物系介在物の成因として、この部分の凝固の遅滞が重要で、このために生ずる多量の現象によるものが主要であることを指摘した。しかしこれを結論づけるためには、さらに多くの研究が必要であると考える。

文 献

- 1) Report on the Heterogeneity of Steel Ingots.: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 113 (1926), p. 39.
- 2) 河合: 鉄と鋼, 41 (1955), p. 854, 1090, 1172, 1233
- 3) J. H. S. DICKENSON: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 113 (1926), p. 177
- 4) C. H. HERTY and G. R. FITTERER: Trans. Amer. Soc. Treat., 15 (1929), p. 569
- 5) W. ZIELER: Archiv. Eisenhutt., 5 (1931), p. 299
- 6) 小池, 駒塚: 鉄と鋼, 42 (1956), p. 1030

- 7) P. H. SALMAN and J. A. CHARLES: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 201 (1963), p. 863
- 8) 前川, 中川: 鉄と鋼, 42 (1956), p. 8
- 9) 宮下, 西川: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 552
- 10) E. PLÖCKINGER: Clean Steel, Spe. Rep. 77, J. Iron & Steel Inst., London, (1962), p. 51
- 11) 中川, 古沢: 学振資料, 19 委 7511 (1964)
- 12) 前川, 中川: 鉄と鋼, 44 (1958), p. 467, 546, 650
- 13) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 431
- 14) 中川, 古沢: 鑄物, 36 (1964), p. 989
- 15) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 428, 434
- 16) 前川, 中川, 藤森: 学振資料19委 7402 (1963)
- 17) 前川, 中川: 鉄と鋼, 41 (1955), p. 962

(討-7) 厚鋼板超音波検査不良部にみられる大型介在物の組成と成因について

八幡製鉄, 技術研究所

工博 一戸 正良・〇広瀬 豊

工博 渡辺 司郎・田中 新

八幡製鉄, 八幡製造所 鈴木 康夫

On the Constitution of Large Inclusions Detected by Ultra-Sonic Testing of Heavy Steel Plates and Their Formation Origins.

Dr. Masayoshi ICHINOE, Yutaka HIROSE,

Dr. Shiro WATANABE, Arata TANAKA

and Yasuo SUZUKI.

1. 緒 言

キルド鋼厚板の超音波検査時出現する欠陥中かなりの量は介在物性のものによつてしめられる。

UST (超音波検査の意) 不良部に見られる介在物はいずれもかなりの大きさがある。このことから UST 不良部を検討する上で、単なる介在物という見方ではなく、大型介在物に注目すべきではないかと考えられる。その場合、大型の介在物が浮上分離せずに鋼塊内にトラップされるための要因が問題になる。

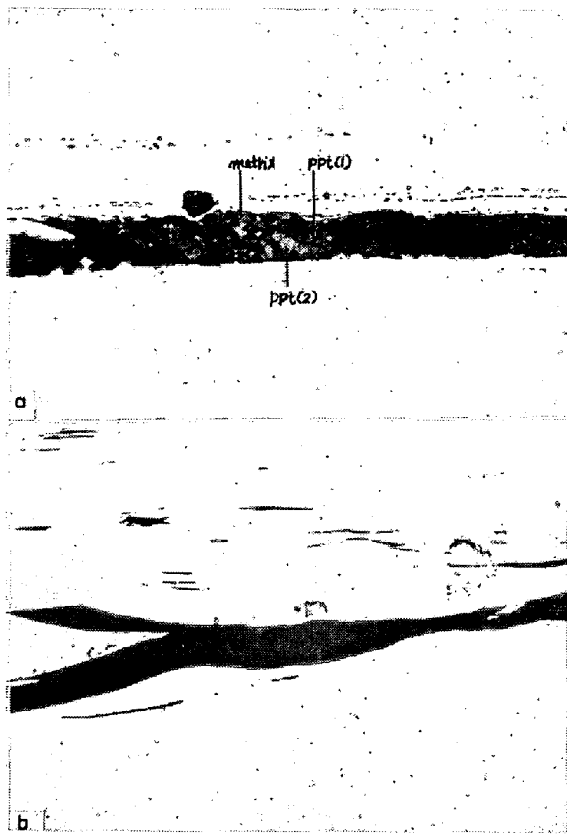
以上の観点から、ここにはそれらの介在物の分析結果、その成因に関する 2, 3 の実験結果とともに、鋼塊の凝固との関連についても多少の検討を行なつた。調査対象鋼種は Table 1 記載の電炉材鋼種を選んだ。

2. UST 不良部分の介在物

厚板の UST 不合格部分についてその断面の検鏡で認められた介在物の 1 例を Photo. 1 に示す。介在物の内部には析出物が認められる例が多いが、析出物およびマト

Table 1. Chemical analysis of steel studied. (%)

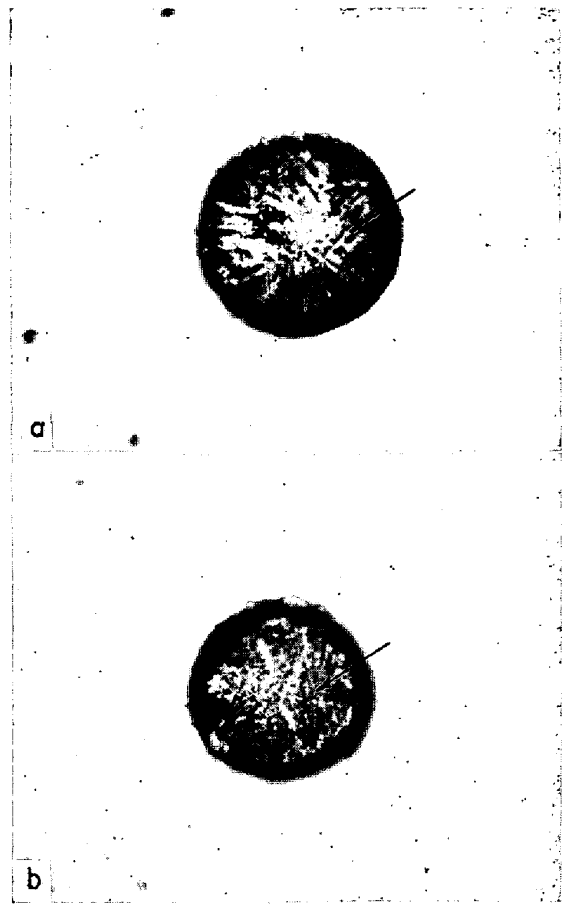
Steel grade	C	Si	Mn	Al _{sol}
A	0.08~0.10	0.20~0.30	1.10~1.20	0.025~0.045
B	0.13~0.15	0.40~0.50	1.20~1.30	0.020~0.035



EPM-analysis

	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
a) matrix	26	37	36	—	1
ppt (1)	—	97	2	—	—
" (2)	27	72	—	—	1
b)	52	14	38	—	—

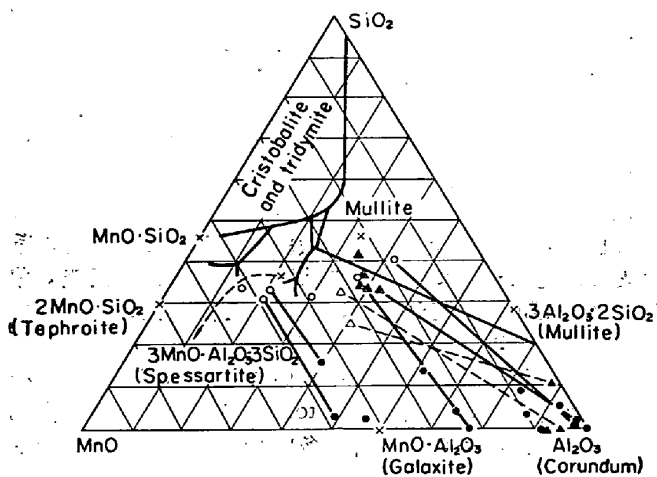
Photo. 1. Inclusions detected by ultra-sonic testing. × 100(3/4)



EPM-analysis

	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
a)	1	38	—	65	1
b)	—	42	—	57	—

Photo. 2. Inclusions in ladle. × 400(6/7)



Remarks	EPM-analysis value		Wet analysis value
	Precipitate	Matrix	
Inclusion	●	○	
Scum	▲	△	▲

Fig. 1. Chemical composition of inclusions and scums.

リックスの EPMA 定量分析値を Al₂O₃-SiO₂-MnO 状態図の中にプロットすると Fig. 1 のごとくなる。この図から、介在物中の析出物はそのほとんどがコランダム (Al₂O₃) ないしガラキサイト (MnO·Al₂O₃) の近くあるいはその中間にあり、マトリックスは Al₂O₃-SiO₂-MnO 3 元系の低融点領域にあることが指摘できる。ただし、これらのプロットは介在物の分析値中微量に含まれる FeO その他の組成は省略し、かつ Al₂O₃+SiO₂+MnO=100% に換算したものであり、EPMA 分析精度にも関連して、概略の傾向を示したものである。

Fig. 1 中には鋳型溶鋼表面に注入中に浮上してきたスカムのそれを併記した。スカムと大型介在物の組成がおのこの試料採取を行なった溶製チャージが異なるにもかかわらず相互に近似している点は、鋼種が同一ないし近似していることから一応うなずけるが、このことから、UST 不良の原因となる介在物はスカムとなつて浮上しきれなかつた大型介在物と考えることができよう。

3. 大型介在物組成の検討

以上に示した各介在物およびスカムの分析値を Table 2 に示す。EPMA 分析によつて FeO, MnO, Al₂O₃, SiO₂ の他に CaO の存在が認められる。これらの起源を求めべく下記の実験を行なった。

3.1 出鋼後の取鍋内介在物

Table 2. EPM-analysis of inclusions and scum.

Quality	Object	Focussed point	EPM-analysis (%)					Total (%)	Converted (%)		
			MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	CaO		MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
A	Inclusion	Matrix	12	29	64	2	2	109	11	28	61
		/"	54	24	39	—	2	119	46	21	33
		ppt	55	50	20	—	1	126	44	40	16
		Matrix	54	22	33	—	—	109	50	20	30
		ppt	55	56	2	1	—	114	49	49	2
		/"	41	54	2	3	—	100	42	56	2
		/"	10	85	2	2	—	99	10	87	3
B	Inclusion	Matrix	26	37	36	1	—	100	27	37	36
		ppt	—	97	2	—	—	99	—	98	2
		/"	27	72	—	1	—	100	27	73	—
		/"	22	69	5	3	—	99	23	72	5
		/"	5	60	13	21	2	101	26*	61	13
		/"	8	92	—	—	—	100	8	92	—
		/"	2	92	6	—	—	100	2	92	2
		/"	—	90	—	—	9	99	—	100**	—
		/"	—	100	—	—	—	100	—	100	—
		Matrix	52	14	34	—	—	100	52	14	34
	/"	39	30	30	—	—	99	40	30	30	
	/"	18	41	39	—	2	100	18	42	40	
	ppt	2	97	1	—	—	100	2	97	1	
	ppt	8	83	8	—	—	99	8	84	8	
	Scum	Matrix	31	34	33	1	1	100	32	35	33
ppt		5	95	1	—	—	101	5	95	—	
Matrix		32	40	25	1	2	100	33	41	26	
ppt		1	87	10	1	1	100	1	88	11	
/"		7	93	—	—	—	100	7	93	—	

* Contained 21% FeO

** Contained 9% CaO

60 t 電炉出鋼後の取鍋内よりタコツボ試料を採取し、その中の介在物を見ると Photo. 2 のごとくであり、CaO-Al₂O₃ 系で、その他の付随組成はいずれも微量である。介在物の顕微鏡組織に析出物状の様相が見られるが EPMA での定量結果ではマトリックスとの間に差がほとんどない。これらの鋼の出鋼時には Ca 合金脱酸は行なわれておらず、介在物の CaO 源としては電炉スラグであると推定される。また介在物組成に SiO₂ が低いかまたは無いものは溶鋼と同時に流出混入するスラグと取鍋投入脱酸が反応し、スラグの SiO₂ が還元されたためと考えられる。

取鍋内溶鋼中の介在物としては Al 脱酸生成物、スラグと Al の反応生成物およびスラグの懸濁が考えられる。これらは常識的には浮上分離して取鍋内スラグに捕捉されると考えられるが、今回の調査でタコツボ試料内に発見された介在物は浮上分離しきれずに残ったものといえよう。またその介在物がスラグと Al の反応生成物であった点が指摘できるが、その理由は明らかにできなかった。またこの種の介在物は取鍋内保持時間を延長しても浮上分離が著しく遅いことが 1 t 試験電炉での実験で確かめられ、むしろ取鍋煉瓦からくるとみられるシリケート系介在物の増加があつて全介在物量は増加の傾向が認められた。

3.2 注入流の空気酸化

厚板材の大型介在物には MnO₂, SiO₂ がかなり

の割合をしめるが、取鍋内溶鋼中の介在物には MnO はほとんど見られず、また SiO₂ も低い。これらの介在物組

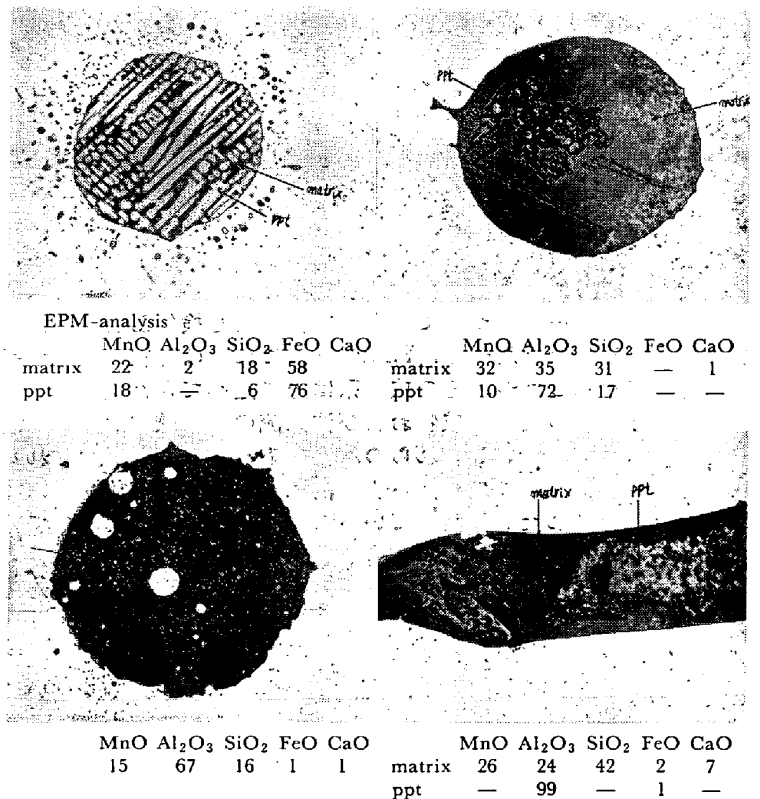


Photo. 3. Oxidation products of teeming stream. ×400(8/15)

Table 3. Comparison of oxidation product of teeming stream-I

Teeming atmosphere	Silicate	Silicate + Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Total
Argon	1	3	1	5
Air	16	2	1	19

Table 4. Comparison of oxidation product of teeming stream-II.

Teeming height	Silicate	Silicate + Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Total
0 mm	8	3	4	15
1000 mm	27	12	11	50

成の起源は注入流の空気酸化物が考えられる。これを確認すべく 10 kg 溶解真空誘導炉を用い、7 kg 鋼塊に Al 雰囲気および大気中でおのおの 1 本宛計 2 本の鋼塊に分注し、鑄型につけた切込みの中に注入流の雰囲気との反応生成物を捕捉してこれを検鏡および EPMA 分析した。介在物の写真は Photo. 3 に、また介在物の数は Table 3 に示した。この実験で 0.03% Al sol. の溶鋼でも空気酸化によって (Fe·Mn)O-SiO₂ 系のシリケートが生成することが指摘できる。シリケートの外観はいろいろであるが、これは (Fe·Mn)O と SiO₂ の相互の比率に対応している。

注入流の空気酸化に関して、250 kg 試験電炉出鋼のもので注入流落下距離を変えて前述真空誘導溶解に使用したと同じ 7 kg 鑄型に造塊する実験も同時に行なつたが注入流の空気酸化生成物は前述の真空誘導溶解大気中造塊の場合とまったく同様のものが見出された。また注入流落下距離の影響は Table 4 に示すごとくであり他社における実験²⁾と同様の傾向にある。以上の実験から 60 t 電炉出鋼材についても注入流の空気酸化生成物が大型介在物生成の一因となるであろうことは十分推定される。

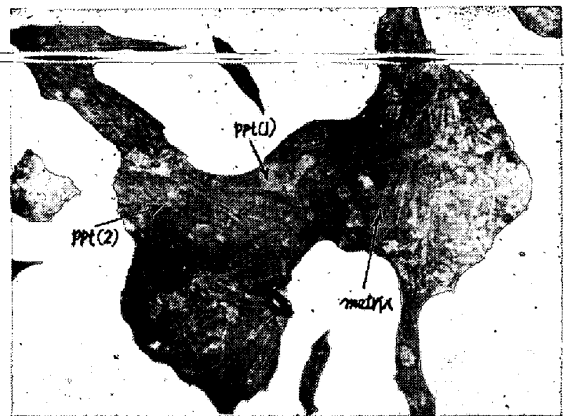
3.3 下注湯道メタル内の介在物

下注造塊鋼において注入後の湯道内の鋼はその清浄度が著しく不良であることは従来から指摘されているが、今回調査のチャージについても湯道内介在物を検鏡および EPMA 分析を行なつた。Photo. 4 にこれらの介在物の検鏡写真を示したが、その成分系は上に述べてきた電炉スラグと Al の反応生成物および注入流の空気酸化生成物のいずれか、ないしこれらの相互反応生成物と見得る範囲の中にある。この点からみて湯道内で大型介在物の一部がろ過された形になつていることがわかる。

4. 鋼塊内における介在物の挙動

鋼塊のいわゆる沈殿晶部の清浄度が悪いことは古くから指摘されているが、UST 不良も鋼塊ボトム相当部にその出現の頻度が高い。

静止浴中における介在物の浮上についてはストークスの法則に立脚して種々検討されているが³⁾⁴⁾、その浮上分離速度は介在物の大きさにもよるがかなり遅いものである。介在物が浮上分離するためにはある程度以上の大きさが必要と推定される³⁾。



EPM-analysis

	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO
matrix	6	44	27	23	—
ppt (1)	21	72	6	—	—
" (2)	72	72	11	12	—

Photo. 4. Inclusion in runner metal. × 400(3/4)

鑄型内で凝固中の溶鋼に対流があることはいろいろな実験^{5)~7)}で認められている。この対流は、注入直後の注入流の運動の残像効果とともに介在物の浮上分離を助けるであろう。その場合にも浮上しきれずに溶鋼の対流につれて鋼塊内を環流する介在物が残ることも推定される。

パラフィンとコルク粉を用いた実験で、鑄型内の対流の下降流の流速はかなり速いのに対し上昇流のそれは著しく遅いことが認められ、鑄塊底部でパラフィンの流速が急に変わることから固形物の沈殿がみられており⁷⁾、このことから沈殿晶の生成とこれに伴う介在物の捕捉が想定され沈殿晶部の清浄度の悪い点はモデル的に説明できる。またこのパラフィン実験で、沈殿晶部以外にはコルク粉の分布がほとんど見られない点も厚板 UST 不良検出頻度の傾向とよく一致している。

鋼塊内介在物分布については沈殿晶部の清浄度不良は上述の実験からほぼ類推できるが、同じ実験で沈殿晶部以外の清浄度がきわめて良いことの理由は明らかでない。また厚板成品の UST 不良も注入湯熱の高い時はその発生頻度が著しく低下する原因も必ずしも明確ではない。これらの点は凝固現象との関連において今後検討すべき問題点と考えている。

5. 結 言

電炉製 Al キルド細粒鋼厚板の UST 不良部に見出される大型介在物の成因は、電炉スラグと脱酸アルミニウムの反応生成物および注入流の空気酸化生成物が関与していることが明らかとなつた。またこの大型介在物は鋼塊溶鋼面に浮上してくるスカムと同質のものであり、なんらかの要因で鋼塊内に懸濁したまま凝固したものが大型介在物となると考えられた。

大型介在物が鋼塊ボトム部(沈殿晶部)に出現しやすいことはパラフィンとコルク粉を用いた実験からほぼ類推できるが、その他の現象については凝固に関する研究との関連で今後に残された問題点が多い。

文 献

- 1) F. Ya. GALAKHOV: Izvest. Akad. Nauk. S.S.S.

- R. Otdel. Khim. Nauk. No. 5, 530 (1957),
(Phase Diagram for Ceramist: American ceramic Soc. (1964))
- 2) 泉田: 鉄と鋼, 51 (1965) 2, p. 185
- 3) 小林, 河合, 他: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 546
- 4) 宮下, 西川: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 552
- 5) 森, 松尾, 谷沢, 山手: 鉄と鋼, 52 (1966) p. 419
- 6) 飯島, 稲本: 鉄と鋼: 52 (1966) 3, p. 425
- 7) 田尻: 学振製鋼第19委資料 7520 (昭和39年4月11日)

III. 熱間振り試験による鋼の加工性の評価

(討-8) 熱間振り試験の精度について

日本製鋼所, 室蘭製作所 工博○小野寺 真作
On the Precision of Hot Torsion Test.

Dr. Shinsaku ONODERA.

1. 緒言

熱間ねじり試験は鋼の高温塑性の各種試験法のなかでもつとも簡便なものの一つとして古くから使用されている。本協会の圧延理論分科会では数年前から共同研究課題の一つとして取上げて、鉄鋼材料の高温変形能の手軽な測定とその結果の実際圧延作業への適用を目標として研究してきた。

この熱間振り試験の研究では、標準的な試験法を決定するために、これまで数回の共同実験と立会い実験が行なわれた。現在なお十分な測定値の一致が得られてはいないが、本試験法を広く活用するための参考として、この共同実験の経過を報告したい^{*)}。

2. 圧延理論分科会における熱間振りの共同実験とその結果

2.1 共同実験開始の経緯

第11回圧延理論分科会(昭和35年2月)のころから熱間振り試験の結果が提出されるようになったので、同年終りごろに幹事から同一試験料を各委員に提供して、同一の試験条件(ただし試験機は各委員のものを使用)で試験をして試験結果が揃うことを確認し、その後材質と試験条件を変えてデータの蓄積をはかることとした。

*) はじめ加藤健三博士(日本鋼管技術研究所)が振り試験関係の幹事をされたが、途中で筆者と交代した。主査の指示により同分科会での討論の一端を報告する。

この試験(第1回共同実験)の結果は予想外のバラツキを示したので、以後繰述して共同実験を行なうこととなった。

2.2 共同実験の経過と結果

以下実験の精度(再現性)を中心として、数次にわたる共同実験の経過と結果を述べる。

第1回共同実験:(上述)

軟鋼試験片(同一材料), $8\text{ mm } \phi \times 20\text{ mm } l - 2\text{ mm } R$ (20 mmの外側にとる), $1200^\circ\text{C} \times 20\text{ min}$ の保定, 200 rpm で試験した。参加した6社のバラツキは非常に大きかった²⁾。

第2回共同実験:

第1回実験のバラツキを究明するための第1着手として加熱条件の検討を中心とする共同実験を行ない、0.2% Cキルド鋼試験片により第1回と同一条件での試験を実施した。参加した6社の結果は Fig. 1 に示すとおりで各社の測定値はかなり揃うようになったが、依然として不十分であった³⁾。

第3回共同実験:

各委員の試験精度を明らかにするために、各委員が各自の素材で10本ずつの試験を行なった。試験片の寸法は自社サイズと上述のサイズ(共通)として、それぞれ10本ずつの試験を行なったが、0.15~0.25%炭素鋼によるこの実験結果ではやはりバラツキが大きく、95%信頼度で±2%と期待した標準相対誤差は、はるかに大きな±10%あるいはそれ以上であるという結果になった⁴⁾これを Fig. 2 に示す。

第4回共同実験:

0.25% Cキルド鋼を各委員に届けて、1組10本の試験により片、再度各委員ごとの精度を検討した。その結果バラツキはやはり前回同様であることが知られた⁵⁾。

第1回立会実験:

以上の結果をかえり見て、各委員の試験のやり方に何か差がないかという点を確認するために、住友金属と八幡鋼管がアルミニウムとキルド鋼の試験片を交換し合い、同一の試験部形状の試験片で試験することとした。まず住友金属中央技術研究所で実験し、その結果を八幡鋼管研究所に持参して両者を含む9委員が立会って実験した。その結果は Table 1 に示すと

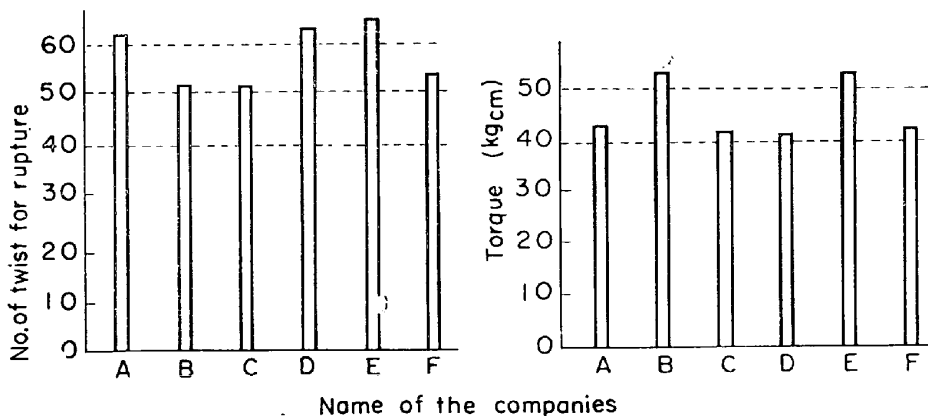


Fig. 1. Result of the second comparative experiment.