

高温ナトリウム中における自己融着試験(VI)

各種ステライト，コルモノイ材の摩擦，自己融着性

1976年2月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

(表題) 高温ナトリウム中における自己融着試験 (VI)

(副表題) 各種ステライト, コルモノイ材の摩擦, 自己融着性

報 告 者	溝 淵 庄 太 郎	※
	中 山 紘 一	※
	加 納 茂 機	※
	滑 川 優	※
	中 筋 孝	※
	厚 母 栄 夫	※

期 間 1975年2月 ~ 1976年2月

目 的 各種材料の摩擦・自己融着挙動を明らかにし, 高速炉設計のための基礎データを得ること。

要 旨

高速増殖炉内では, 多くの接触, 摺動部を有する機器があり, これら部材を選定するため, 従来から一連の摩擦, 自己融着試験を行っているが, 今回は各種コルモノイ合金 (No. 2, 4, 6), ステライト合金 (No. 1, 6, 12.) の試験を行い, これらの主成分であるニッケルとコバルトの違いによる摩擦挙動の変化を調べた。又, Type 316 SSとの組合せについても, 摩擦, 自己融着性の評価を行なった。これらの試験から, 次の事が明らかになった。

- 1) 主成分がニッケルとコバルトでは, ナトリウム中の摩擦挙動が異なり, コバルト基材料で温度の依存性が認められ, ニッケル基のものは安定な摩擦挙動を示した。
- 2) 相手材がステンレスの異種組合せでは, 硬質材同志と比べて, ナトリウム中の摩擦係数が高くなり, 「カジリ」付き易いことがわかった。
- 3) ニッケル基のコルモノイ No. 2, No. 4 はナトリウム中で非常に安定で, 低い摩擦係数を示したが ($\mu = 0.3$), 静摩擦係数の上昇から判断し, 耐自己融着性は悪かった。

又, 融着傾向を示さない硬質材料でも, 相手材がステンレスの場合, 融着性が認められた。

※ 大洗工学センター Na 技術部 Na 技術開発室

Self-Welding Behavior of Various Materials in
a Sodium Environment (W)
Friction and Self-Weldability of Various
Colmonoy and Stellite Alloys.

S. Mizobuchi*

S. Kanoh*

K. Nakoyama*

M. Namekawa*

T. Nakasuji* and

H. Atsumo*

Abstract

A series of friction and self-welding tests have been conducted for material selection of many contacting and sliding parts used in a fast breeder reactor, and the present experiment was investigated with respect to the variation of frictional behavior due to the difference of the principal composition such as nickel, cobalt contained in various Colmonoy alloys (No. 2, 4, 6) and Stellite alloys (No. 1, 6, 12).

The following results were obtained through these experiments.

- 1) The difference of the basic composition such as Nickel or Cobalt showed the different frictional behavior. For instance, the behaviors of cobalt basic materials depended on sodium temperature and nickel basic materials showed a stable behavior of friction.

- 2) Hard facing materials combined with Type 316 SS indicated higher frictional coefficient than the same combination of hard facing materials, and they showed the tendency to easily gall.
 - 3) Colmonoy No. 2 and No. 4 of nickel basic materials showed the stable and low frictional coefficient of 0.3, but it showed the increasing static coefficient of friction in sodium.
- Also, hard facing materials showed higher self-weldability when combined with Type 316 SS.

* Sodium Technology Section, Sodium Engineering Division,
O-arai Engineering Center.

目次

1. ま え が き	1
2. 試 験 方 法	2
2.1 試 験 装 置	2
2.2 試 験 条 件	2
2.3 試 験 片 形 状 及 び 供 試 材	2
2.4 解 析 方 法	6
3. 試 験 結 果 及 び 考 察	7
3.1 硬 質 材 料 同 志 の 摩 擦 試 験	7
3.1.1 各 種 ス テ ラ イ ト, コ ル モ ノ イ 材 の 摩 擦 挙 動	7
3.1.2 試 験 後 の 摺 動 表 面 の 解 析	9
3.2 異 種 材 の 摩 擦 試 験	11
3.2.1 硬 質 材 料 と ス テ ン レ ス の 摩 擦 挙 動	11
3.2.2 摺 動 表 面 の 解 析	12
3.3 各 種 材 料 の 自 己 融 着 性	14
4. 結 論	16
5. 参 考 文 献	18

List of Tables

Table.1 Conditions of Test 2
 Table.2 Chemical Composition of Materials 3
 Table.3 Final Load on Friction Test of Various materials 3
 Table.4 Results of Self-Welding Test in 540 C Sodium 58

List of Figures

Figure. 1 Self-Welding Test Equipment 19
 Figure. 2 Flow Sheet of Self-Welding and Wearing Test Loop 20
 Figure. 3 Dimensions of Specimen 21
 Figure. 4 Variations of Initial Torque of Colmonoy No. 4 after Dwelling for the different Time in 540C Sodium 22
 Figure. 5 Typical Frictional Diagrams of Colmonoy No. 4 under 500kg Nominal Load in different Environments 23
 Figure. 6 Typical Frictional Diagrams of Stellite No. 12 under 500kg Nominal Load in different Environments 24
 Figure. 7 Results of Friction Test of Colmonoy No. 4 and Stellite No. 12 in Sodium 25
 Figure. 8 Relations between Coefficient of Friction and Load for Various Alloys in different Environmets 26
 Figure. 9 Relation between Frictional Coefficient and Testing Temp. at Friction Test on Various Materials under 500 kg Load 27
 Figure. 10 The Variation of Frictional Coefficient at Friction Test under Minimum Load 28
 Figure. 11 Relations between Frictional Coefficient and Sliding Distance for Colmonoy and Stellite Alloys in Sodium 29
 Figure. 12 Relations between Frictional Coefficient and Immersed Time at Friction Test under 500kg Nominal Load for Colmonoy and Stellite Alloys 30
 Figure. 13 Mean Average and Standard Deviation on Frictional

Coefficient of Various Materials 31
 Figure. 14 External Appearances of Various Specimens after Tested at Room Temp. in Air 32
 Figure. 15 External Appearances of Various Specimens after Tested in Argon and Sodium 33
 Figure. 16 Stereographs of the Sliding Surface after Tested at Room Temp. in Air 34
 Figure. 17 Stereographs of the Sliding Surface after Tested in Argon and Sodium 35
 Figure. 18 Roughness Changes on the Sliding Surface of Colmonoy Materials after Tested in different Environments 36
 Figure. 19 Roughness Changes on the Sliding Surface of Stellite material after Tested in different Environments 37
 Figure. 20 Cross -Sectional Micrographs of Colmonoy Material after Tested in Sodium and Argon 38
 Figure. 21 Cross -Sectional Micrographs of Stellite Material after Tested in Sodium and Argon 39
 Figure. 22 Results of Frictional Coefficient for the combination of Stellite and Colmonoy vs. Type 316 SS 40
 Figure. 23 Results of Frictional Coefficient for the combination of LC-10 vs. Type 316 SS 41
 Figure. 24 Changes of Frictional Coefficient for Various Materials under 500kg load in Different Environments 42
 Figure. 25 Changes of Frictional Coefficient versus Sliding Distance for the Combination different materials 43
 Figure. 26 Relation of Frictional Coefficient and Immersed time in Sodium for the Combination of different materials 44
 Figure. 27 External Appearances and Roughness change after Tested for the Combination of Colmonoy No. 6 vs. Type 316 SS 45
 Figure. 28 External Appearances and Roughness change after Tested for the combination of Stellite No. 6 vs. Type 316 SS 46
 Figure. 29 External Appearances and Roughness change of the sliding surface for the combination of LC-10 (BE) vs. Type 316 SS 47

Figure.30 External Appearances and Roughness change after Tested for the Combination of LC-1C (G. F) vs. Type 316 SS	48
Figure.31 Results of X. M. A on the sliding Surface for the combination of Type 316SS and Stellite No. 6 after tested in 540°C Ar	49
Figure.32 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316SS and Stellite No. 6 after tested in 540°C Sodium	50
Figure.33 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316SS and Colmonoy No. 6 in 540°C Argon	51
Figure.34 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316SS and Colmonoy No. 6 in 540°C Sodium	52
Figure.35 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316SS and LC-1C (B. F) at Room Temp	53
Figure.36 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316SS and LC-1C (B. F) in 540°C Sodium	54
Figure.37 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316SS and LC-1C (B. F) in 540°C Argon	55
Figure.38 Relations between Frictional coefficient and Dwelling time of various Materials	56
Figure.39 Relations between Frictional coefficient and Dwelling time of various Materials	57

1. ま え が き

従来から耐摩耗，耐摩耗材として一般に使用されているハード・フェーシング材のほかで，コバルト基合金のステライトNo.6とニッケル基合金のコルモノイNo.6が，ナトリウム雰囲気中でも多く用いられている。この2系統のハード・フェーシング材は，一般雰囲気では耐食性の点から使い分けられているが，ナトリウム中ではどの様な使い分けをすべきか，現在のところまだわかっていない。

前報⁽¹⁾で，燃料集合体のパット部蝕補材として，コルモノイNo.6とステライトNo.6 両者の摩耗試験を行い，評価を与えたが，今回それぞれの系列で成分元素を変化させた材料について，試験をし，コバルト基合金とニッケル基合金のナトリウム雰囲気における摩耗，自己融着現象の相見点を明らかにした。又，今回あらたに，これらハード・フェーシング材とステレンレスのような軟い材料とを組み合わせた場合についての試験を行った。この異種材組合せでは，摺動表面における相互の金属移行について，X. M. A 解析から検討した。

2. 試験方法

2.1 試験装置

試験装置は前回報告した自己融着試験機 (SW-2) を用いた。Fig. 1 に装置の概略図を、Fig. 2 には今回の試験に使用したナトリウム系ループのフロー・シートを示す。これらの装置の詳細な説明は前報⁽¹⁾を参照されたい。

2.2 試験条件

Table. 1 Conditions of Test

Environment	Conditions of Test	
	Temperature (°C)	280 540
Sodium	Cold trap Temp. (°C)	120 200
	Flow Rate (ℓ/min)	4
	Load (Kg)	0 ~ 1,000
	Flushing Time (hrs)	16
Argon	Temperature (°C)	280 540
	Flow Rate (ℓ/min)	0.5
	Purity (%)	99999
	Load (Kg)	0 ~ 1,000
	Frictional Velocity (mm/min)	147

Table 1 にナトリウム中、および不活性ガス (純アルゴン) 中で試験した条件を示した。このほかに、大気中室温試験と、あらかじめナトリウムに浸漬して揺動表面を変化させてから大気中室温で試験したものとについてあわせて比較した。

2.3 試験片形状および供試材

試験片寸法図を Fig. 3 に示した。又、Table. 2 には今回供試した材料の化学成分を示す。この表中で、コルモノイ No. 6 はコルモノイ系のうちで最も硬い材料であり、ステライト No. 6 はステライト系で最も軟い材料である。成分的な特長はコルモノイはホウ素、ケイ素が多く含まれており、ステライトはクロム、タングステンを含み、これによる硬化現象を有している。Table. 2 の備考欄にこれらの材料の公称のかたきを示した。

Table 2 Chemical Composition of Materials (wt%)

Material	C	Si	Ni	Co	Cr	Fe	Mn	B	Mo	W	Remark
CoImony No. 2	0.20	3.00	87.60		5.00	3.20		1.00			HRC 20
CoImony No. 4	0.40	3.00	81.40		10.00	3.20		2.00			HRC 40
CoImony No. 6	0.75	4.25	73.75		1.35	4.75		3.00			HRC 58
Stellite No. 1	2.58	1.16		52.18	31.33	0.28				12.49	HRC 55
Stellite No. 12	1.8			60.2	2.90					9.0	HRC 47
Stellite No. 6	1.04	1.17		64.67	28.65	0.27				4.20	HRC 41
Type 316SS	0.06	0.47	10.76		16.58	Bal	1.00		2.15		
LC-1C 溶	85%Cr ₃ O ₂ +15%Ni-Cr										

※ LC-1C 材では表面仕上げの異なる「B. F」と「O. F」の2つの種類を試験に供した。ここで「B. F」は10μmの表面アラサを示すもので、「O. F」は、1μm

以下の平滑仕上げしたものである。

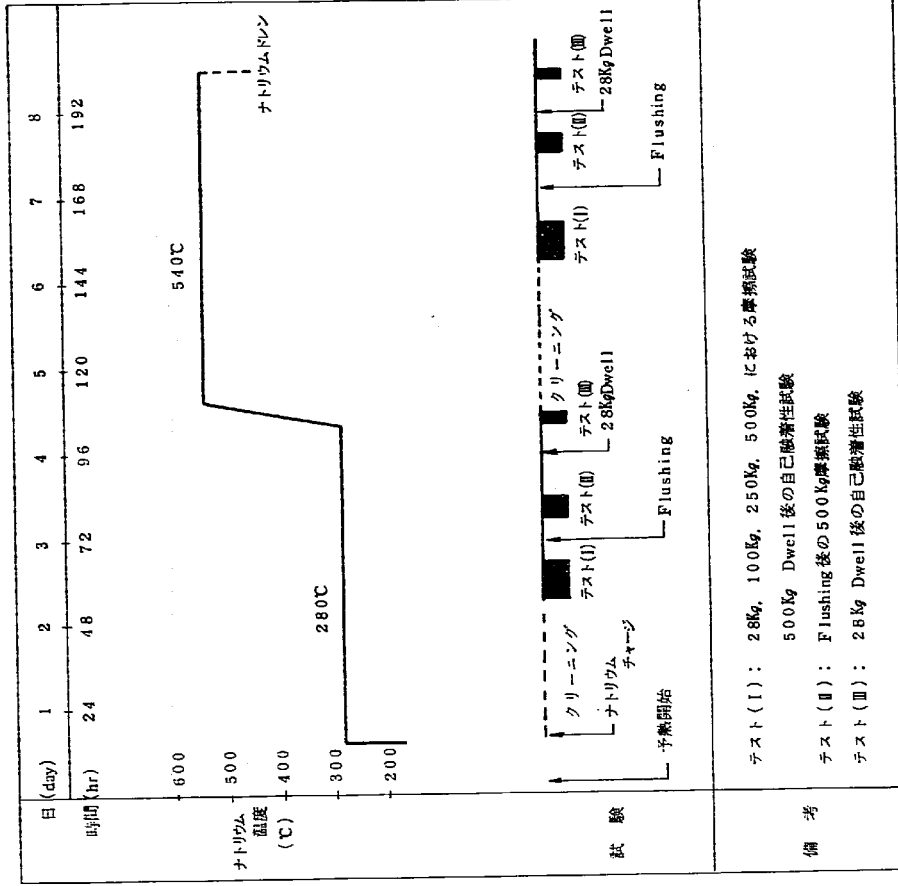
今回、報告する材料組合せを Table. 3 に示した。

又、この表中に各種組合せにおける最終試験荷重をも記した。この最終荷重は揺動トルクの大きさによって決められたが、試験後の揺動表面の解析では、この最終荷重も考慮して検討した。

Table 3 Final Load on Friction Test of Various Materials.

Material Combination	Environment	Final Load (kg)
Colmonoy No. 2 vs. Colmonoy No. 2	In Air	500
	In Argon	500
	In Sodium	500
Colmonoy No. 4 vs. Colmonoy No. 4	In Air	750
	In Argon	500
	In Sodium	500
Colmonoy No. 6 vs. Colmonoy No. 6	In Air	1000
	In Argon	1000
	In Sodium	500
Stellite No. 1 vs. Stellite No. 1	In Air	1000
	In Argon	500
	In Sodium	500
Stellite No. 6 vs. Stellite No. 6	In Air	1000
	In Argon	1000
	In Sodium	500
Stellite No. 12 vs. Stellite No. 12	In Air	1000
	In Argon	500
	In Sodium	500
L.C-10(H.F) vs. L.C-10(G.F)	In Air	1000
	In Argon	1000
	In Sodium	500
L.C-10(G.F) vs. L.C-10(G.F)	In Air	500
	In Argon	500
	In Sodium	500
Colmonoy No. 6 vs. Type 316SS	In Air	500
	In Argon	500
	In Sodium	750
Stellite No. 6 vs. Type 316SS	In Air	500
	In Argon	500
	In Sodium	750
L.C-10(H.F) vs. Type 316SS	In Air	1000
	In Argon	500
	In Sodium	500
L.C-10(G.F) vs. Type 316SS	In Air	750
	In Argon	500
	In Sodium	500

今回試験した主な運転スケジュールを次に示す。約10日間のサイクルでナトリウムと
 ナトリウムとドレンを繰返し試験した。



ナトリウムループ運転および試験スケジュール

ここで、摩耗試験は所定の荷重下で120°の反復撻動を行い、このときの撻動トルク
 を記録させた。又、自己融着試験は一定時間保持後の起動トルクの上昇から摩擦係数を求
 めたものである。

2.4 解析方法

摩擦係数値のほとんどは、120°反復撓動の摩擦サイクルにおける60°の時の撓動トルク値から算出した。この計算式を下記に示す。

μ = (T - T') / (R · L) (1)

- μ : 摩擦係数
R : 試験片の平均半径 (m)
L : 突刺荷重 (kg)
T : 突刺トルク (kg · m)
T' : 無負荷時のトルク (kg · m)

又、自己粘着性の評価はFig. 4に示す如く、一定時間保持後の起動トルクを記録し、これによって、載荷傾向をみた。この図では、120°反復時の摩擦サイクルのマスターカーブを引き、このカーブからの上昇トルク値(ΔT)を測定した。このΔTからΔμsを次式で求めた。

Δμs = ΔT / (R · L) (2)

その他の解析は、前報と同一方法で行った。(1)

3 試験結果及び考察

3.1 硬質材料同士の摩擦試験

3.1.1 各種コルモノイ、ステライイト材の摩擦挙動について

これまで、一般に耐摩擦、摩耗材として使用されている肉盛材料の中でニッケル基では、コルモノイ№6が、またコバルト基ではステライイト№6が選択され、且つ評価が加えられてきた。このことから、前回報告したパレット部材の試験でも、このコルモノイ№6とステライイト№6を加え各種判定基準から評価した。このうち、コルモノイ№6は非常に硬く、脆いため加工性が悪く、肉盛時の施工面から使用上には制限があり、特に原子炉内では熱衝撃等による『剝離』現象が重要な問題となる。このため、米国ではかたさのやや低いニッケル基材のコルモノイ№5、ドイツではコルモノイ№4等の使用も考えられている。そこで今回はニッケル基材のなかでも柔軟性のあるコルモノイ№2, №4と、またコバルト基材料のなかではステライイト№12, №1に関する試験を行い、前回試験されたコルモノイ№6およびステライイト№6材の結果とあわせて、比較検討を行った。Fig. 5, 6に各種原因にふけるコルモノイ№4とステライイト№12の典型的な摩擦グラフを示す。このグラフから、ステライイト材の方は室温およびアールゴン中での摩擦挙動が安定であり、これに反して、コルモノイ材は、ナトリウム中における摩擦係数が安定であることが認められる。このグラフから60°の時のトルク値から摩擦係数を算出し、コルモノイ材とステライイト材について、荷重に対する摩擦係数の変化をまとめ、Fig. 7に示した。コルモノイ№4の場合、ナトリウム中での摩擦サイクルを繰返してもほとんど摩擦係数値は変わらず安定であるが、ステライイト№12では、低荷重時で変動の大きい値を示した。これらの図に示す如く、荷重に対する摩擦係数を各6点ずつプロットし、これらの平均値から、各々の非境下におけるマスターカーブを引き整理したものをFig. 8に示した。

荷重の増加によっても撓動表面の状態が変化しなければ、摩擦係数は当然一定となるが、一部の環境下では、これが成り立たず、変動の大きい材料も認められた。これは表面状態が大きく粗化し、摩擦にともなって、機械的インターロック作用が加わったことが大きな理由と思われる。

コルモノイ材の中で、№2, №4, №6材ともナトリウム中の摩擦係数が最も小さく荷重によってもこの値はほとんど変化がなく、安定している。又、ステライイト材では№6, №12, №1材とも280°Cナトリウム中のものが最も低い摩擦係数を呈しているが、いずれの材料も540°Cナトリウムになると、この値が非常に大きくなった。また、ステライイト、コルモノイ材ともナトリウム中に浸漬した後大気に出出し、洗浄、乾燥後摩擦

試験を行った材料は、100 kg以下の荷重で摩擦係数が低く、材料表面上にできた皮膜が低荷重時に潤滑効果を呈したものと考えられる。これらのグラフから500 kg試験荷重時における摩擦係数をコルモノイとステライトごとにとまとめたものをFig. 9に示す。ここで大気中室温試験結果はアルゴン中試験結果の図中に入れ、又、ナトリウム中で予設液した材料はナトリウム中に入れ、各々温度をパラメータとして整理した。コルモノイ材の場合、アルゴン中では温度上昇とともに摩擦係数は大となり、温度依存性が見られたが、ナトリウム中の場合、280℃でも係数は同程度の低い値で依存性がなかった。又、ナトリウム予設液後の材料は低荷重側で低い摩擦係数を示すが、500 kg程度の負荷では室温での材料そのものの摩擦特性が出てくることが予想され、高い摩擦係数であった。

ステライト材は、いずれの材料の場合でも、温度依存性が認められ、アルゴン中とナトリウム中においてほぼ同様の傾向であり、摩擦現象に寄与する条件は、ナトリウム中とアルゴン中で似ていることがうかがえる。

次に、ナトリウム中での摩擦現象は、材料表面に生成する酸化皮膜が安定であるか否かによって摩擦挙動に影響を及ぼすことが従来から予測されており、この酸化皮膜の破壊が問題となってくる。Fig. 10に、各々の材料において、最小荷重下における摩擦サイクル試験から得られた摩擦係数の変動を示した。これら摩擦試験の場合は、迅速な材料評価を行なわなければならないために漸増負荷方法で試験し、荷重履歴が各結果に影響を与えらることも考えられるため、試験開始の荷重(最小荷重)と比較した。この図からもコルモノイ系材料はステライト系材料に比べて摩擦係数の小さくなることが認められる。又、変動の大きいステライト系材料では、第1回摩擦サイクル時で摩擦係数は小さく、第2回、第3回と試験サイクルを重ねて行くに従って係数値も大きくなった。このことから、最小荷重でもステライト材では、潤滑皮膜が破壊(又は消失)されることが推定できる。

次に、コルモノイ、ステライト材について摩擦サイクル数(摺動距離)によって摩擦係数がどのように変化するかをFig. 11に示した。図示したプロットは120°摺動反復1サイクルにつき1点(60°の正回転時のトルク値から算出)一つをとって整理した。この図中、荷重を無視して摩擦係数をプロットしたため、荷重によって摩擦係数の変動の大きい材料では、バラツキの多い結果となっている。

今まで認められたように、ナトリウム中のコルモノイ材では、摺動距離に対してあまり摩擦係数の変動はなかったが、ステライト材の場合はナトリウム温度が上昇するに従い摩擦係数も高くなり、再びナトリウム温度を下げると摩擦係数値も低くなる傾向を示して、温度依存性の大きいことが認められた。又、このステライト材では、昇温時及

び降温時における280℃でナトリウムにおける結果から、降温時の摩擦係数がやや高く、摩擦サイクル数の影響も多少認められた。

又、ナトリウム中の総浸漬時間が摩擦挙動に与える影響については、横軸にナトリウム中浸漬時間を取りまとめ、Fig. 12に示した。ここでは500 kg負荷時の摩擦係数をとり、正逆サイクル時の摩擦係数をプロットした。一般に摩擦係数は安定であり、コルモノイ№2、№4の柔軟性のある材料で、摩擦係数は小さい値であり、ナトリウム中で、これら材料が使用できることも認められた。このFig. 12から各々コルモノイ、ステライト材の摩擦係数値の算術平均と各々の標準偏差とを求め、Fig. 13にこの結果を示した。この図中で、グラフの右側にステライト系材料を、左側にはコルモノイ系材料を整理した。又、丸印で囲んだ数字は摩擦サイクル数の回数を表わし、次の括弧内の数字は標準偏差値を示した。例えば、ステライト№1同士の540℃でナトリウム中では44回の摩擦サイクル試験を行い、この算術平均値が0.67で偏差値が±0.077という安定した値を示すことがわかる。しかも、一般にナトリウム中では、コルモノイ材の方が、偏差値も小であった。この図からも明らかのようにステライト材とコルモノイ材で有意差が見られ、特にステライト材の場合、ナトリウム温度によって摩擦係数の変化することが明らかとなった。すなわち、コルモノイ材は成分元素が変化してもナトリウム中の摩擦係数値はほとんど同一で0.3~0.4の低い値であり、ステライト材でも成分元素による変化はない。また、280℃でナトリウム中では、ほとんどコルモノイ材と同程度の摩擦係数を示すが、ナトリウム温度が上昇して、540℃になると、0.7前後の高い摩擦係数を示すことがわかった。このことは、材料のかたさには関係がなく、成分的なもの、すなわち、ニッケル基とコバルト基の違いからくるものではないかと予測される。

3.1.2 試験後の摺動表面解析

3.1.1で摩擦挙動について報告したが、この現象からばかりでなく特に特使用する機器については、表面状況からの評価が必要である。このことから摺動表面の表面あらさ、表面の实体顕微鏡等を使用して解析を試みた。Fig. 14、15は、各雰囲気下での試験後の摺動面外観である。これを拡大し、実体顕微鏡したものをFig. 16、17に示した。また、摺動面のステータ側の表面あらさ変化をFig. 18、19に示した。各材料ともナトリウム中で試験したものは表面状況が良好である。ここで注目すべきことは、高温ナトリウム中で摩擦係数が上昇したステライト系材料と、コルモノイ材の内でもかたさの小さいコルモノイ№2、№4の表面状況で、後者の材料表面における粗化が大きいが、摩擦係数は小となっている。しかし、アルゴン中で最大100μmもの粗化を示したコルモノイ

№2, №4材で摩擦係数値はステライイト材より高くなっている。一般に、ステライイト材は摩擦が少くない傾向を示した。

次にコルモノイ, ステライイト材のアルゴン中およびナトリウム中試験後の摺動面附近の断面組織をFig. 20, 21に示した。ナトリウム中ではコルモノイ№2の表面にやや粗粒な組織が認められるほかは、ほとんど組織上に変化はなかった。これに反してアルゴン中では、コルモノイ№2, №4, ステライイト№6に変化が認められ、特にコルモノイ№2では炭化物粒が摺動方向に沿って、流動しているのがわかった。

以上の傾い材料同志の摩擦挙動についてまとめると次のことが言える。

(1) コルモノイ材の特徴

- 1) コルモノイ№2, №4, №6ともほとんど類似の摩擦カーブを示す。
- 2) ナトリウム中では280℃でも540℃の高温になってもほとんど摩擦係数値に変化がない。
- 3) 各種雰囲気下で試験した結果540℃のアルゴン中における摩擦係数値が最も高い値を呈した。

4) ナトリウム中浸漬後の室温試験では、いずれの材料も浸漬による効果が出ており、100kg以下の低荷重域で低い摩擦係数値を示すことが認められた。これ以上の荷重下では、ほとんど摩擦係数値の変化はなかった。

5) アルゴン中では、温度の上昇とともに、すべてのコルモノイ材の摩擦係数値が増加した。この場合μ値はコルモノイ材のかたさ順になり、最も硬いコルモノイ№6材がμ値の最高値を示した。しかし、ナトリウム中では各材料ともほとんど同一のμ値を示している。

6) コルモノイ材の中では、№6の材料が全雰囲気で安定な摩擦挙動を示した。

(2) ステライイト材の特徴

1) ステライイト№1, №6, №12のいずれも280℃ナトリウム中雰囲気におけるμ値が最も低い値を示している。このうちステライイト№6と№1が0.3前後の低い摩擦係数を示す。

2) ステライイトの場合540℃の高温ナトリウムになるとμ値が急上昇し、他の雰囲気と比べても高いμ値を示した。また、このμ値は500kgでは0.7前後の値を示し、№6, №12, №1とも同一であった。

3) ナトリウム中浸漬後の室温時の試験では(Cr+W)量の最も多いステライイト№1が低荷重で低いμ値を示し、予浸漬効果が認められた。ステライイト№6, ステライイト№12材では28kg低荷重域3回摺動サイクルでほとんど予浸漬効果がなくなり、もとの高いμ値にもどった。

4) アルゴン中の280℃と540℃の摩擦係数を比較すると540℃の方が高いμ値を示したが、室温時のμ値は一定ではなかった。

(3) コルモノイ材とステライイト材の比較

- 1) ナトリウム中で生成される皮膜の潤滑効果はコルモノイ材の方が大きい。これは高温(540℃)ナトリウム中でも安定したμ値を示すこと、ナトリウム中予浸漬した後の材料を室温試験した場合、コルモノイ材の方が低く安定したμ値を示すことからも明らかに予測される。
- 2) 高温アルゴン中でのμ値はコルモノイ材よりステライイト材の方が一般に低い値を示した。このことは、材料によってはアルゴン中とナトリウム中では、本質的に摩擦挙動が異なる(例えば、ナトリウム中では潤滑効果のある皮膜を介して摩擦が生ずることが予測される。)すなわち、コルモノイ材は、本質的には(皮膜効果)がなくなる雰囲気(ステライイト材より『カジリ』つき易い傾向)が大きい。このことは別の試験における静摩擦係数の上昇率からも認められた。又、ステライイト材は一般に、アルゴン中とナトリウム中と同一傾向の挙動を示しており、これらの摩擦に寄与するフラクターが低く傾いていることが考えられる。

3.2 異種材の摩擦試験

FBN用燃器の中には異種材の組合せしか使用できない場合がかなり多い。この場合、相手材料はほとんどが軟いステンレスであり、前章で報告した硬質材料同志の場合より、ナトリウム環境下では、厳しい条件となり『カジリ』つきの可能性が大きくなる。そこで今回、相手材にステンレス材を選んで摩擦試験を行った。又、これによって硬質材料側の迅速評価も行った。これらについて同種材の摩擦試験時と同様な方法で解析したが、このように異種材であるため、相互の摺動面における金属移行状況をX, M, Aによって調べた。

3.2.1 ステンレス材と組み合わせた硬質材料の摩擦挙動

Fig. 22, 23. に硬い材料と軟いステンレスの組合せで各種雰囲気中で試験した結果を示した。ほとんどのもので荷重と摩擦係数の関連性がみられた。これは先に報告した硬い材料同志とは異なり、軟い材料が塑性変形、または相手材へ移行現象を呈し荷重とともに摺動表面の金属状況が変化したものと考える。これらの図から、500kg負荷重の摩擦係数をアルゴン中とナトリウム中で分離し、整理したものをFig. 24に示した。又、この図に硬い材料同種による組合せの結果も示し対比させた。その結果、相手材に軟いステンレス材を選んだ場合は、280℃, 540℃のどちらのナトリウム温度中でも摩擦係数が高

く『カジリ』付き易い事がわかった。この事は、図中の各材料で認められたが、このががで、コルモノイ材のみがナトリウム温度上昇によって摩擦係数が低くなる傾向を有し、他のステライト材、クロムカーバイド材の「B. F.」, 「C. F.」, 「F.」仕上げのものと同程度の温度依存性を示した。この温度依存性は、前章及び前報⁽¹⁾で報告した硬い同種材の組合せと同傾向を示すことがわかった。コルモノイ材の場合、高温ナトリウム中では何らかの潤滑皮膜の生成が予想される。また、アルゴン中では各材料とも温度によって相反する傾向があった。すなわち、280℃で同種材の摩擦係数が高いものは540℃になると逆に異種材組合せの方が高くなっている。しかし、アルゴン中の摩擦挙動は不安定で、一般にナトリウム中の方が同種材と同様、摩擦挙動も安定している。次に、このステライト材、コルモノイ材とステンレス材の摩擦試験で摩擦サイクルを走行距離に概算し、全サイクルを整理したものを、Fig. 25に示した。この図中の一部で、ナトリウムのコーールドラップ温度を120℃とし、純度の影響もみだ。この組合せは荷重で摩擦係数も相当変化するため、サイクルによってμ値の変動が大きい。しかしながらコルモノイ材の場合は摺動サイクル(走行距離)とともに摩擦係数も低下し、ほとんどコーールドラップ温度に影響されず、且つ安定した値であるのに対し、ステライト材では荷重による変動が大で、コーールドラップ温度を120℃とした場合摩擦係数値もサイクルとともに増加しているのがわかる。しかし、この試験ではサイクル数とともに、摺動の表面状態も変化するため、概に、モード、トラップだけの効果を論じることには出来ず、今後これらについては長時間の試験と摩擦サイクルの効果がない材料組合せから判断しなければならぬ。Fig. 26には500 kgの荷重一定におけるナトリウム中の浸漬時間と摩擦係数の変化を示した。ただし、140時間後のデータは28 kg荷重のときの摩擦係数である。この図中、ステライトとType 316SSの組合せで540℃昇温後の第1回目の摩擦係数が0.9近く高い値を示したほかは、ほとんど0.6前後の安定した値であった。特に、ステライト材の場合、ステライトの硬い材料同志の摩擦係数より、低い値で、安定となった。これは、ステライト摺動表面に潤滑性のある成分が移行付着したことから推察される(X. M. Aの解析から表面に鉄、クロムがまだら状に付着しているのが認められた)

3.2.2 試験後の摺動表面の解析

試験後の表面状況をFig. 27~30に示した。実体組織では最も大きな金属移行が生じている部分を観察した。アルゴン中ではステライト材、コルモノイ材とも50 μm以上もの金属移行を示している。ナトリウム中ではコルモノイ材に局部的な金属移行が認められたが、ステライト材にはこれら移行は少ない。又、クロムカーバイド材では表面仕上

けを異にした場合、室温のような不安定な摩擦挙動を示す条件下で、表面状況は変化せず良好であった。しかし、ナトリウム中では同種材の組合せと同様表面の粗い「B. F.」仕上げの方が良い状況であった。これらの金属の移行を測るため、表面のX. M. Aによる解析結果を以下に示す。

Fig. 31~34にステライト材、コルモノイ材のアルゴン中およびナトリウム中試験後の摺動面における合金成分濃度分布を示した。これら濃度分布は摺動面のうち、できるだけ特徴的な部分を観察して相互間の成分移行を調べたもので、次ことが認められた。Fig. 31.32のステライト材摺動表面から、アルゴン中の方が全般的に塑性流動が大きく、ステータ側に移行した成分量も多い。一方、ナトリウム中では移行した成分量は少ないが、ステライト材表面に鉄成分が、又、ロータ側のステンレス表面にはステライト材のコーバルト成分が、摺動方向にそって移行しているのが認められた。特に、ステライト表面に移行した鉄成分はまだまだ状を呈しており、この分布はステライトの表面組織にも関係があることが予想される。Fig. 33.34のコルモノイ材では、ナトリウム中で完全にステンレスが摺動面に移行しているのがわかる。又、アルゴン中ではコルモノイ材摺動面で試験前と同一の組織が認められ、特に先のステライト材と同様に、初期の成分移行のステップでは、コルモノイ材の組織に影響され、この場合、コルモノイ中のクロムカーバイドの部分では、相手材のステンレス移行は認められず、マトリックスのニッケル基地の部分でのみ成分移行が観察される。(Fig. 33のコルモノイ側の鉄、ニッケルの分析結果参照)

次にFig. 35, 36は、LC-10(B. F.)に対するステンレス組合せにおける解析結果を示した。これから、鉄元素の解析でステンレス材がLC-10材表面へ移行した状況を観察することが出来る。移行は室温中が最も少なく、ナトリウム中で多い。またLC-10の摺動面におけるニッケル元素の濃度分布で、局部的に濃縮している部分はバインダーとしてのクロム成分であるが、この部分は室温で最も輪郭がはっきりと認められるが、ナトリウム中で試験した後はこれが非常に『ばやけた』状態となる。このことはLC-10(G. F.)とステンレス材の組合せでも観察された。これはナトリウム中でも大きな金属移行が起ったことも一因であるが、ナトリウム中におけるニクロム材の拡散が早くこの因によるものも大きいと思われる。(今までの一連の試験でニクロム材がナトリウム中で非常に拡散しやすく、自己融着傾向が大であることが認められている^(4,5) Fig. 37にLC-10材で表面研摩し、平滑にした「G. F.」仕上げのアルゴン中試験後の表面解析結果を示した。この場合、硬いLC-10材の一部が軟いステンレス側に移行しているのがわかったが、ほとんど「B. F.」仕上げのものと同様の傾向があった。又、LC-10(G. F.)の様に、室温で低い摩擦係数を示したものであ

分移行はほとんど認められずLC-10材の試験前の表面状況を示し実定していた。

以上の異種材の組合せから次の様な摩擦挙動がわかった。

- (I) ナトリウム中では、同種材の場合より高い摩擦係数を示した。
- (II) 軽いステンレスの相手側への移行が多く、又、硬い材料の成分もステンレス側表面に移行することが認められた。
- (III) 同種材の組合せと同様に異種材でも、コルモノイ No. 6材はナトリウム融着が上昇しても摩擦係数は低く安定であったが、他のステライト、LC-10材はナトリウムの温度依存性が認められた。

3.3 各種材料の自己融着性

今回ナトリウム中で静摩擦係数の上昇から各材料の自己融着性の評価を行なった。試験は280°C又は510°Cのナトリウム中で試験片間を加圧保持し、一定時間後、振り駆動を与えてこの時の初トルク値から静摩擦係数を求めた。

Fig. 38.39に各々の材料の結果を $\Delta\mu_s$ の値(解析方法の項を参照のこと)で示した。又、このグラフに前回報告した結果⁽⁶⁾も1部挿入して比較した。ステライト材よりコルモノイ材の方が融着傾向が大きい。又、LC-10材も相手材がステンレスの場合、かなり高い融着性を示すことが認められる。この場合LC-10材の表面状態が粗くても、平滑でも同様の傾向がある。しかしこれら静摩擦から自己融着性評価は接触域の機械的歯み合いによっても相当影響される場合もある。材料によっては考慮しなければならぬ。これらの結果を一覧表にまとめたものをTable-4に示す。この表は540°C中のみを示すが280°C中でも同種の材料で試験したが、この場合は全く静摩擦係数の上昇は認められなかった。この事から、ナトリウム中における静摩擦係数の上昇は機械的なインタローッキング効果のみでない事が理解できた。Table-4の中に、静摩擦係数($\Delta\mu_s$)の上昇のないものを \times 印でがし、融着性を早した組合せについては \bullet 印で示した。この場合 \bullet 印の大きさが融着力の強さを表わし、通常の摩擦サイクル時の摩擦係数(Fig. 4に示したマスター・カーブにおける値 $\dots\mu_s\dots$)に対する増加分をパーセントで示しており、備考欄の \bullet 印の大きさに30%増である。最も大きなコルモノイ No. 4同様の組合せ、68%も上昇があった。しかし、上昇したた摩擦係数の絶対値としては0.28程度であり、完全に融着したとは考えられない。これらの結果から振りによる融着傾向について材料間の評価を行うと、次のような傾向があった。

Colmonoy No. 4, No. 2同志 > LC-10 v.s. Type 316SS >
Stellite No. 6, Colmonoy No. 6 v.s. Type 316SS, Stellite No. 6, No. 12同志 >
LC-10 (G. F.), (B. F)同志, Colmonoy No. 6, Stellite No. 6同志,

すなわち、硬質材料同志(コルモノイ No. 2, No. 4は除く)が最も融着しにくく、相手材がステンレスの場合は融着性が大きくなることがわかった。又、コルモノイ No. 2, No. 4については摩擦挙動としては非常に良好な挙動を示したが、融着、すなわち微小接触部で塑性変形を起させるだけの時間的余裕がある場合には悪い挙動を示す。Mattiesらの試験⁽³⁾でもコルモノイ No. 4は700°Cナトリウムで全数の86%が融着し、ステライト No. 6の60%より融着傾向が強いことが報告されている。(これは引張破断力から自己融着性を評価したものである。)

4 結 論

以上の試験で次の事がわかった。

- 1) 各種コルモノイ材、ステライト材の試験を行った結果主成分のニッケルあるいはコバルトの合金成分の違いによってナトリウム中の摩擦挙動は異なり、後者の材料で温度の依存性がみられた。
- 2) かたさの低いコルモノイ No. 2, No. 4 は他の雰囲気中の結果と比べてナトリウム中の摩擦挙動は非常に良好で、ナトリウム中の潤滑効果が認められた。
- 3) ステライト材は摺動表面の変化は少ないが、各雰囲気によって摩擦係数の変動が観察された。特に、ナトリウム中の温度上昇によって、摩擦係数も高くなった。
- 4) ナトリウム中において相手材がステンレスのような軟い材料の場合、硬い同種材料組合せの場合より、摩擦係数は高い値を示したのが認められた。この場合、ナトリウム温度に対しては同種材の摺動時にみられた挙動と同一の傾向が観察出来た。
- 5) 摺動表面では相互の成分移行が認められ、マクロ的な移行が少くないナトリウム中でも、全面に移行が観察された。又、これらの移行がナトリウム中以外の雰囲気では機械的な作用による移行が多いのに対して、ナトリウム中では拡散をともなう移行も認められた。(例えば L.C.-1(C)材におけるニクロムの挙動)

6) 滑摩擦係数から自己融着傾向を評価した結果、コルモノイ材はステライト材より悪く又、相手材がステンレスの場合では硬質材料同志の組合せに比べて融着性も悪くなる傾向を示した。

以上、今回の試験で、コバルト基のステライト系材料、ニッケル基のコルモノイ材料に関するナトリウム中における摩擦挙動を明らかにした。又、相手材がステンレスの場合の評価も行った。報告書(I)~(III)では、自己融着評価を融着した試験片の引張破断力から、(IV)~(VI)では、120°反復摺動による駆動から、自己融着、摩擦挙動を評価してきた。すなわち、対象の機器も(I)~(III)では、エントランス・ノズルと受板、ナトリウム弁のシートとディスク部、制御棒のグリッパー部等で、(IV)からは集合体のパッド、制御棒のガイド・ローラ、燃料交換機部品等の対象を考慮して行ったものである。又、これまでの一連の試験でほとんどの材料の組合せのサーベイを終り、これらの材料間の比較試験(短時間からの試験)を行ってきた。又、他雰囲気でも試験しナトリウム中での結果と比較し検討を加えた。これによってナトリウム中の場合、自己融着傾向は非常に促進されるが、運動をともなう摩擦では一般にナトリウム中の潤滑効果があり、良好な摩擦挙動を示すことがわかった。しかし、この摩擦でも、運動のモードによっては非常に悪い挙動を示す材料も認められた。(例えば、運動の中断された後の摩擦挙動)。この様な事から出来るだけ多くのデータの蓄積を振り、

ナトリウム側からの影響因子を把握し整理する必要がある。今後は摺動モードを考え、具体的な機器にあつた材料について長時間の連続試験を行う計画である。終りに、今までの一連の試験に際し色々とお教示を賜ったナトリウム技術部齋藤部長、ならびにFBR本部置月グルーブリーダー、山本主任研究員に心より感謝いたします。

5 参 考 文 献

- 1) 溝淵, 加納他「高温ナトリウム中における自己融着試験(Ⅱ)」
SN941 75-49 (1975年5月)
- 2) 「Sodium Hydrostatic Bearing」 LMEC(1972年)
第3回日本軽金属専門家会議 米岡柳資料
- 3) P. Huber and K. Mattes 「Research Work of Self-Welding」
1974年 日独会議資料
- 4) 溝淵, 加納他「高温ナトリウム中における自己融着試験(Ⅲ)」
N941 74-18 (1974年3月)
- 5) 溝淵, 加納他「高温ナトリウム中における自己融着試験(Ⅳ)」
SN941 75-12 (1975年1月)
- 6) 溝淵, 加納他「燃料集合体パッド部材の融着試験(Ⅰ)」
SN941 75-55 (1975年7月)
- 7) 溝淵, 加納他「ナトリウム中における摩擦, 摩耗, および自己融着現象に関する諸外国
の試験研究(Ⅰ)」
SN941 74-08 (1974年10月)
- 8) 溝淵, 加納他「高温ナトリウム中における自己融着試験(Ⅲ)」
SN941 75-13 (1974年12月)

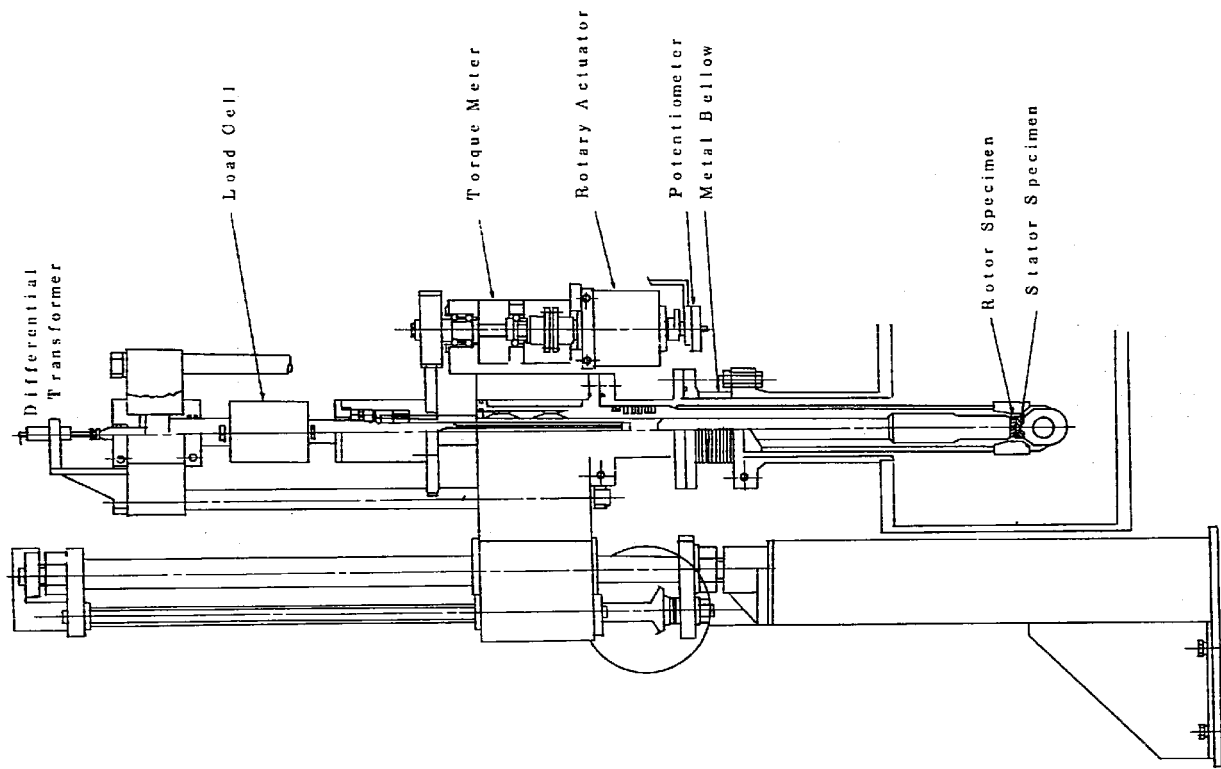


Fig. 1 Self-Welding Test Equipment

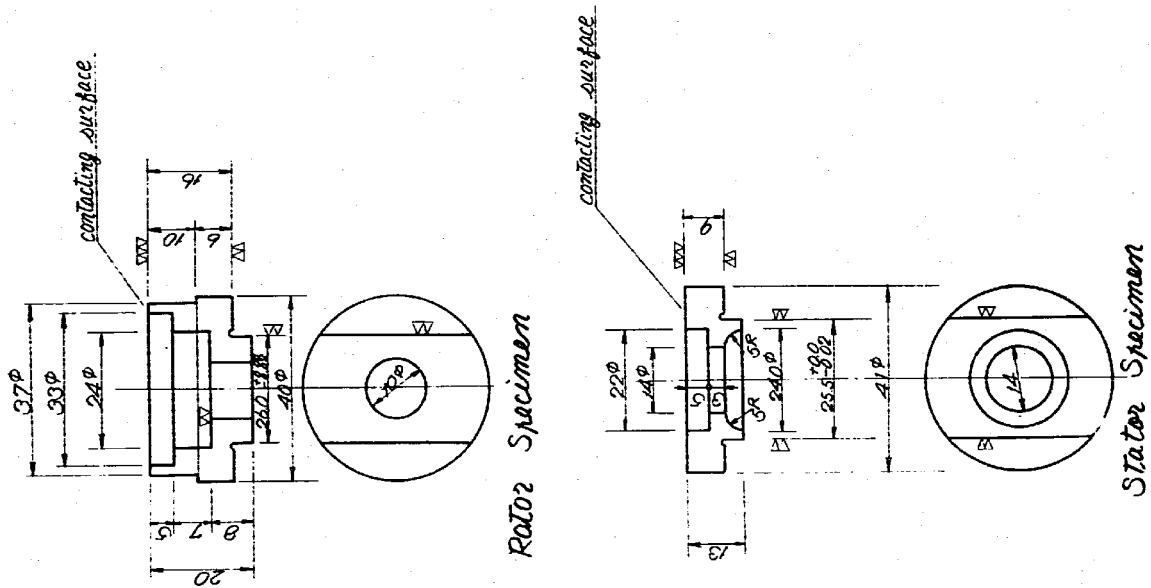
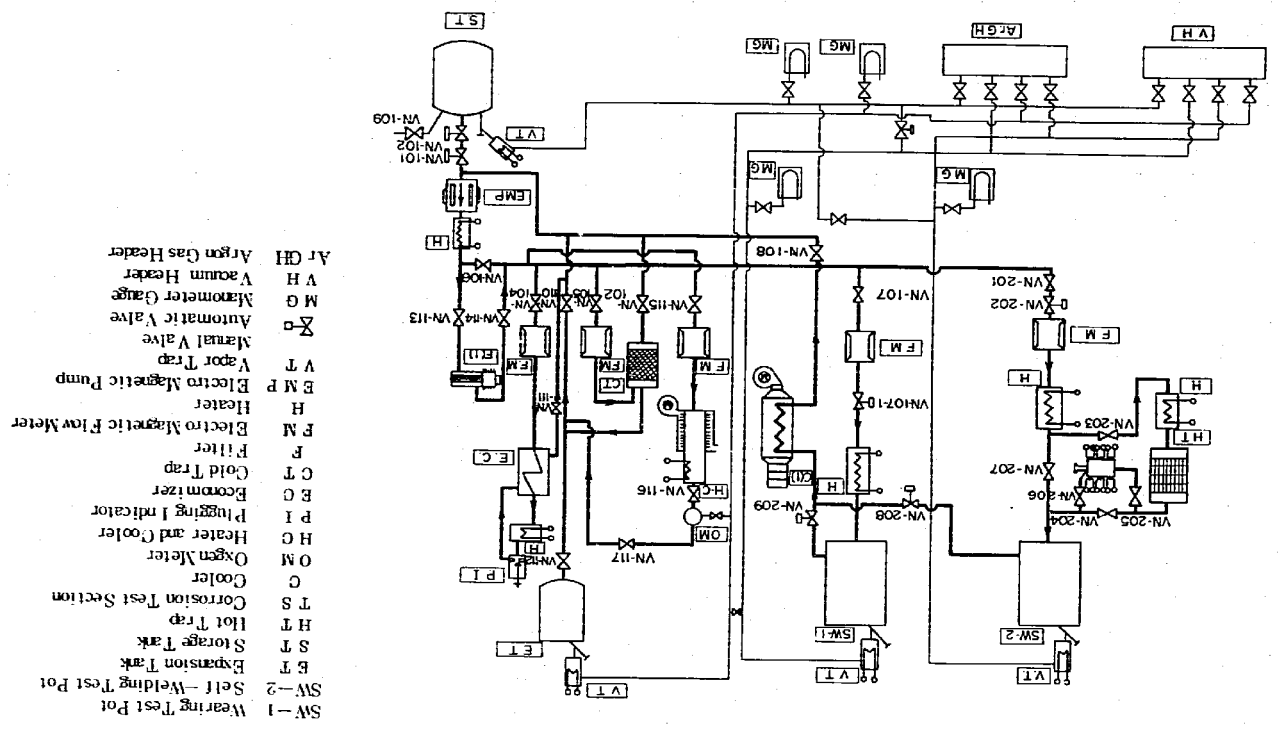
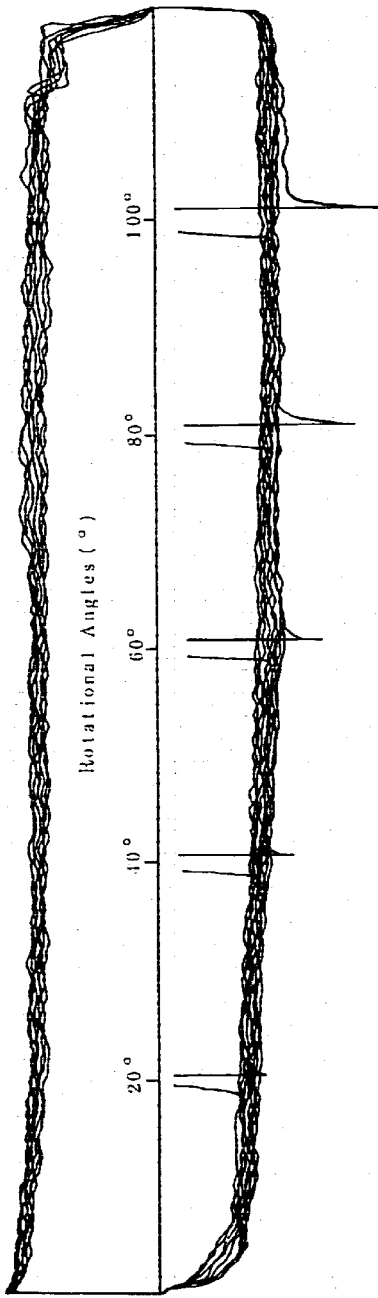


Fig. 3 Dimensions of Specimen

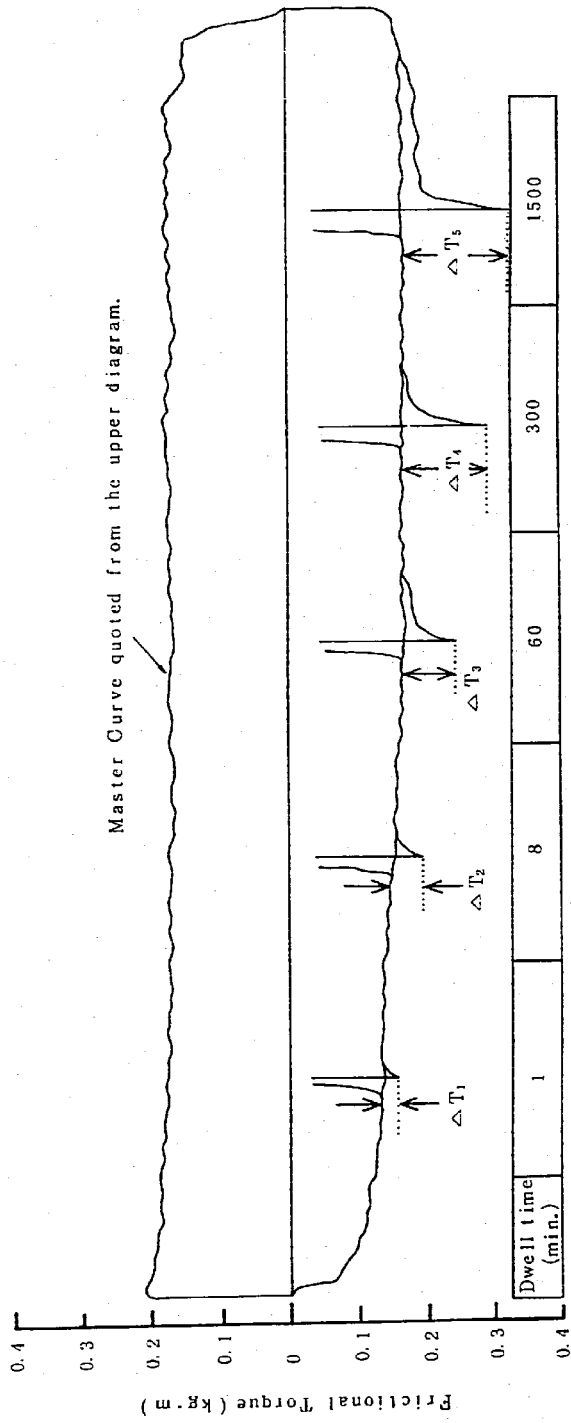
Fig. 2 Flow Sheet of Self-Welding and Wearing Test Loop



- SW-1 Wearing Test Point
- SW-2 Self-Welding Test Point
- E.T. Expansion Tank
- S.T. Storage Tank
- H.T. Hot Trap
- T.S. Corrosion Test Section
- C. Cooler
- O.M. Oxygen Meter
- H.C. Heater and Cooler
- P.I. Plugging Indicator
- E.C. Economizer
- F. Filter
- F.M. Electro Magnetic Flow Meter
- H. Heater
- EMP. Electro Magnetic Pump
- V.T. Vapor Trap
- A.V. Automatic Valve
- M.G. Manometer Gauge
- V.H. Vacuum Header
- A.G.H. Argon Gas Header

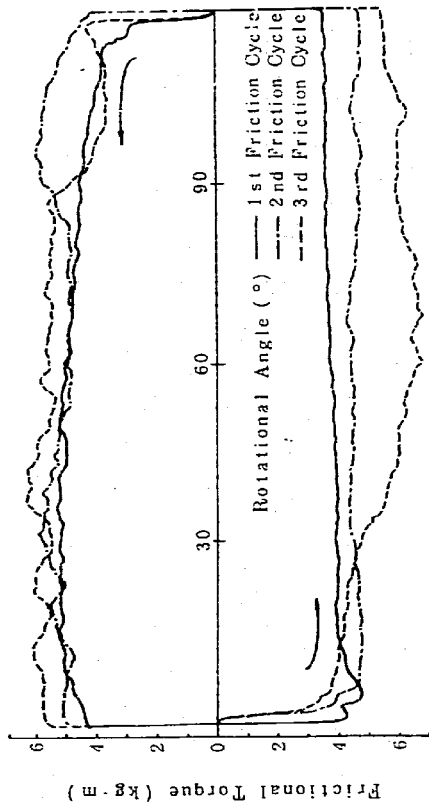


Friction Cycles of Colmonoy No.4 under 28kg Load.

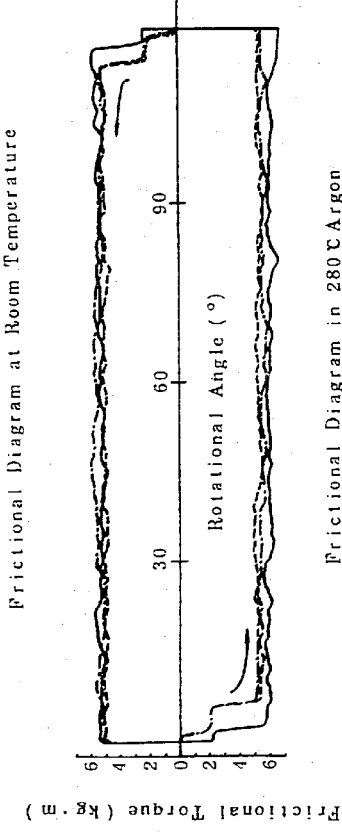


Master Curve quoted from the upper diagram.

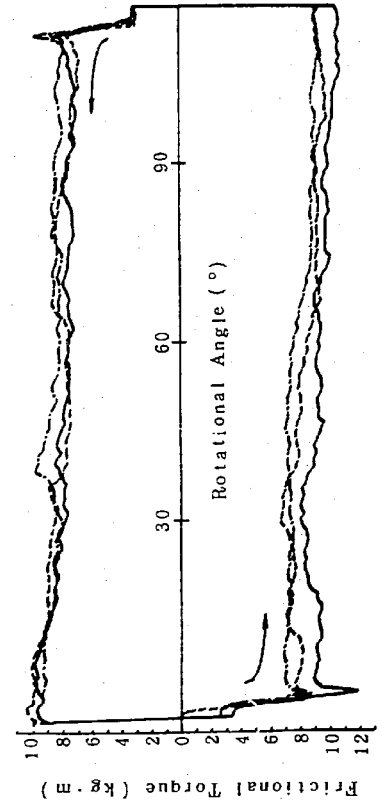
Fig. 4 Variations of Initial Torque of Colmonoy No.4 after Dwelling for the different Time in 540°C Sodium.



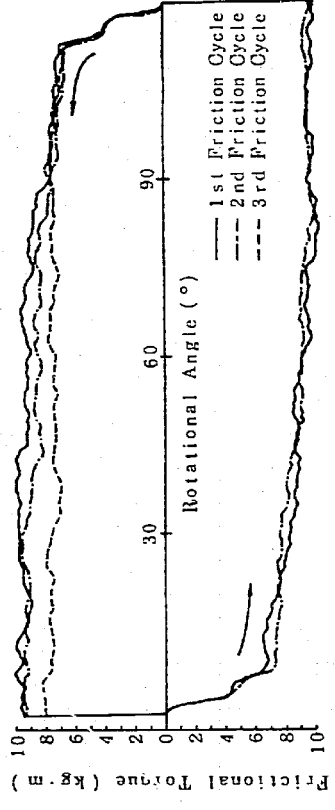
Frictional Diagram at Room Temperature



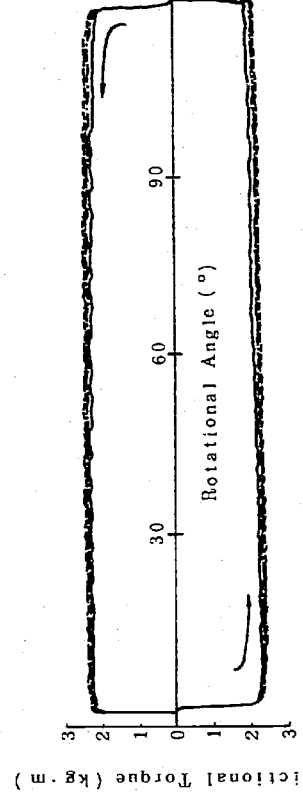
Frictional Diagram in 280°C Argon



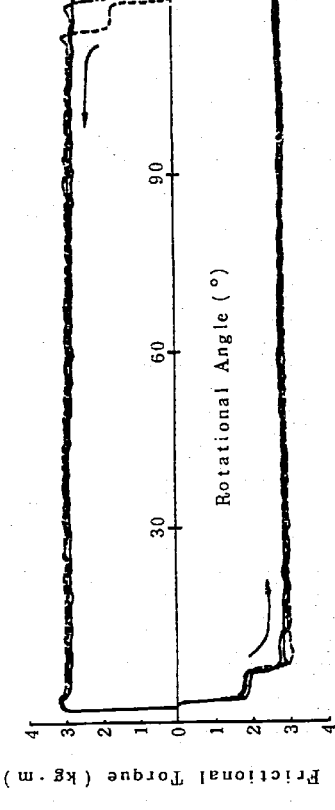
Frictional Diagram in 540°C Argon



Frictional Diagram at Room Temp. after immersed in Sodium

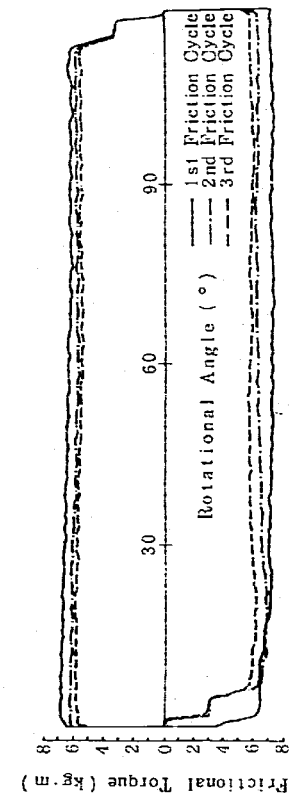


Frictional Diagram in 280°C Sodium

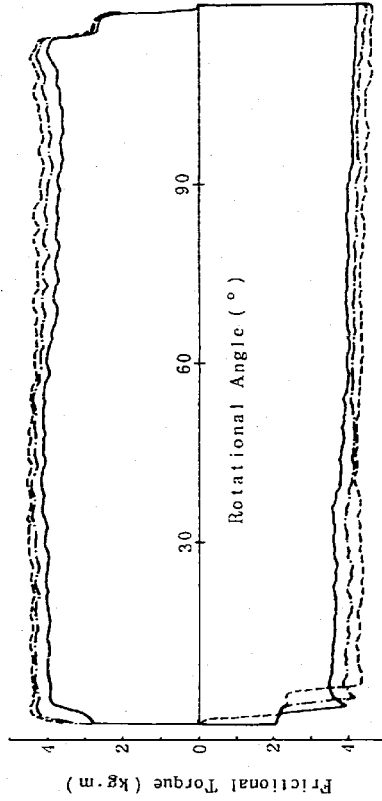


Frictional Diagram in 540°C Sodium

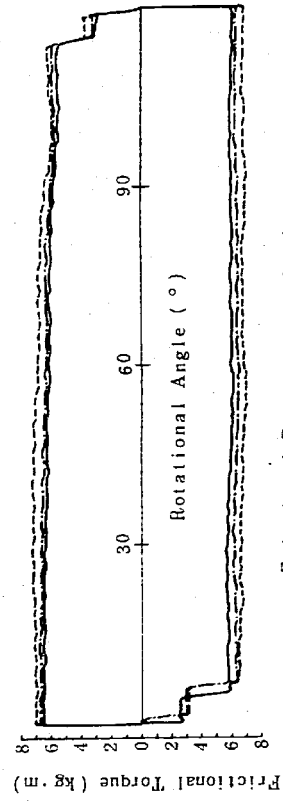
Fig. 5 Typical Frictional Diagrams of Colmonoy No. 4 under 500 kg Nominal Load in different Environments.



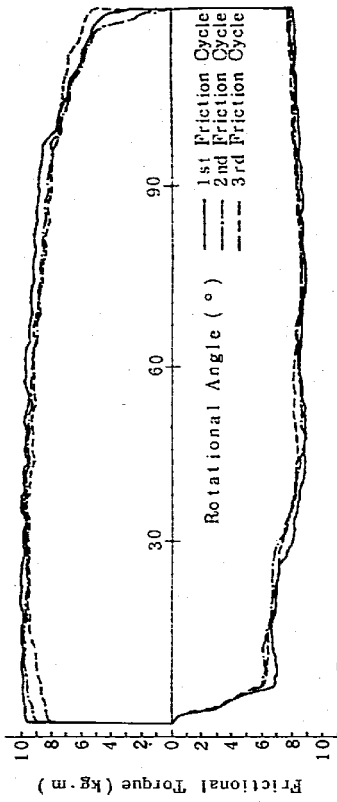
Frictional Diagram at Room Temperature



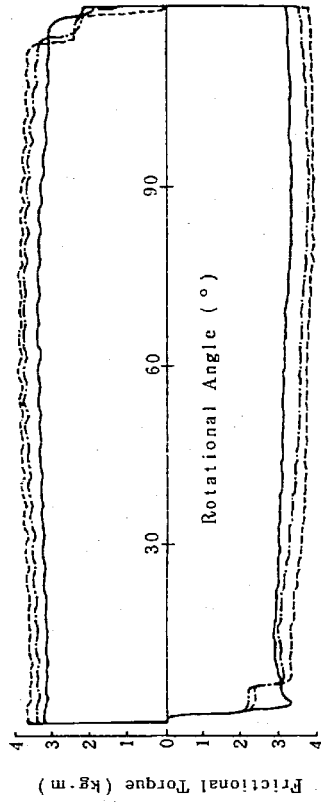
Frictional Diagram in 280°C Argon



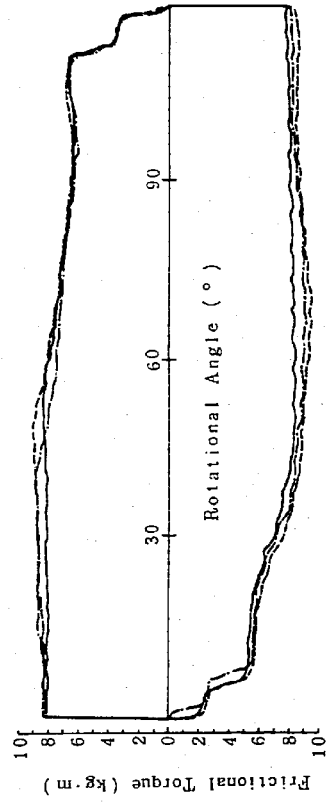
Frictional Diagram in 540°C Argon



Frictional Diagram at Room Temp. after immersed in Sodium



Frictional Diagram in 280°C Sodium



Frictional Diagram in 540°C Sodium

Fig. 6 Typical Frictional Diagrams of Stellite No. 12 under 500kg Nominal Load in different Environments.

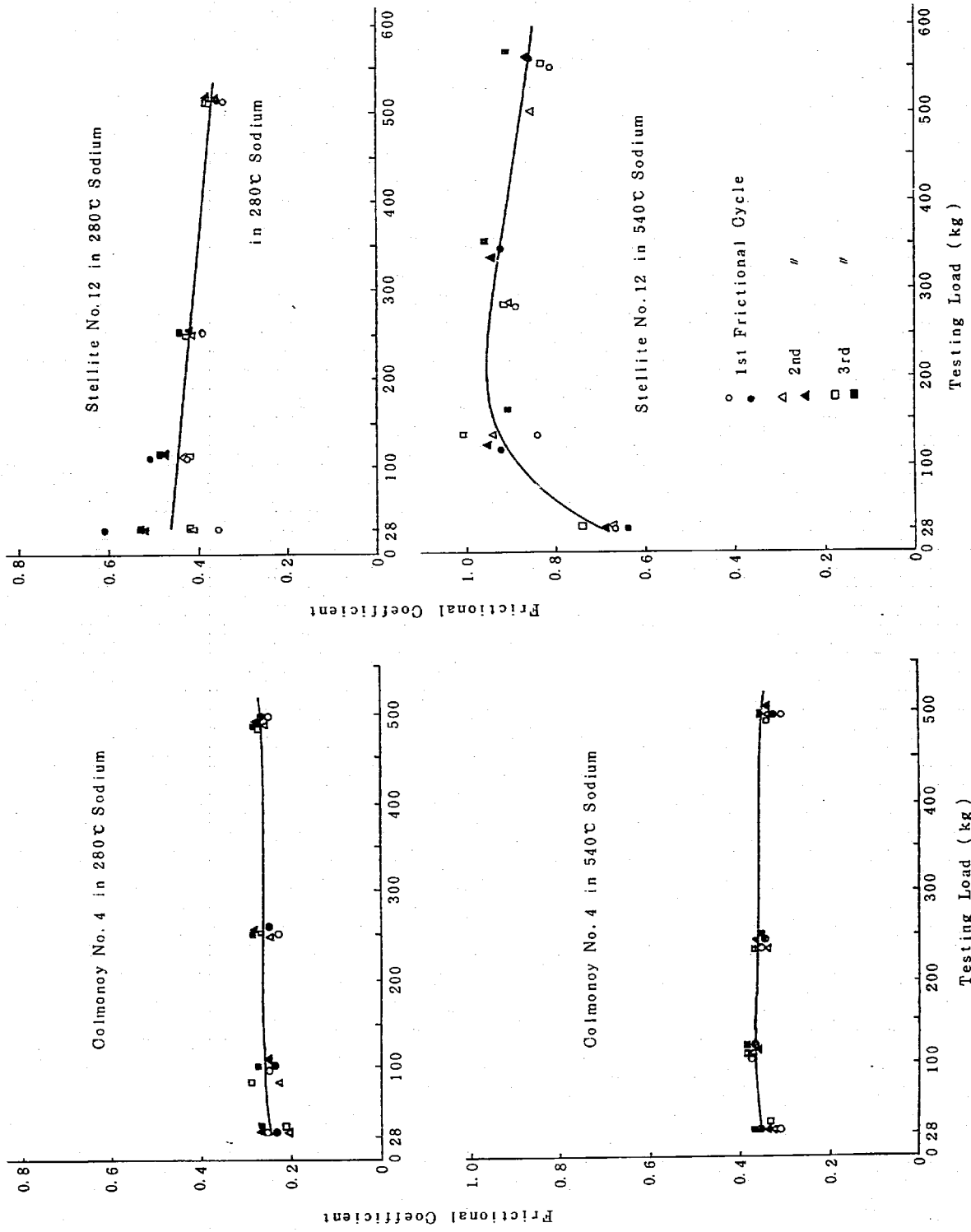


Fig. 7 Results of Friction Test of Colmonoy No. 4 and Stellite No. 12 in Sodium.

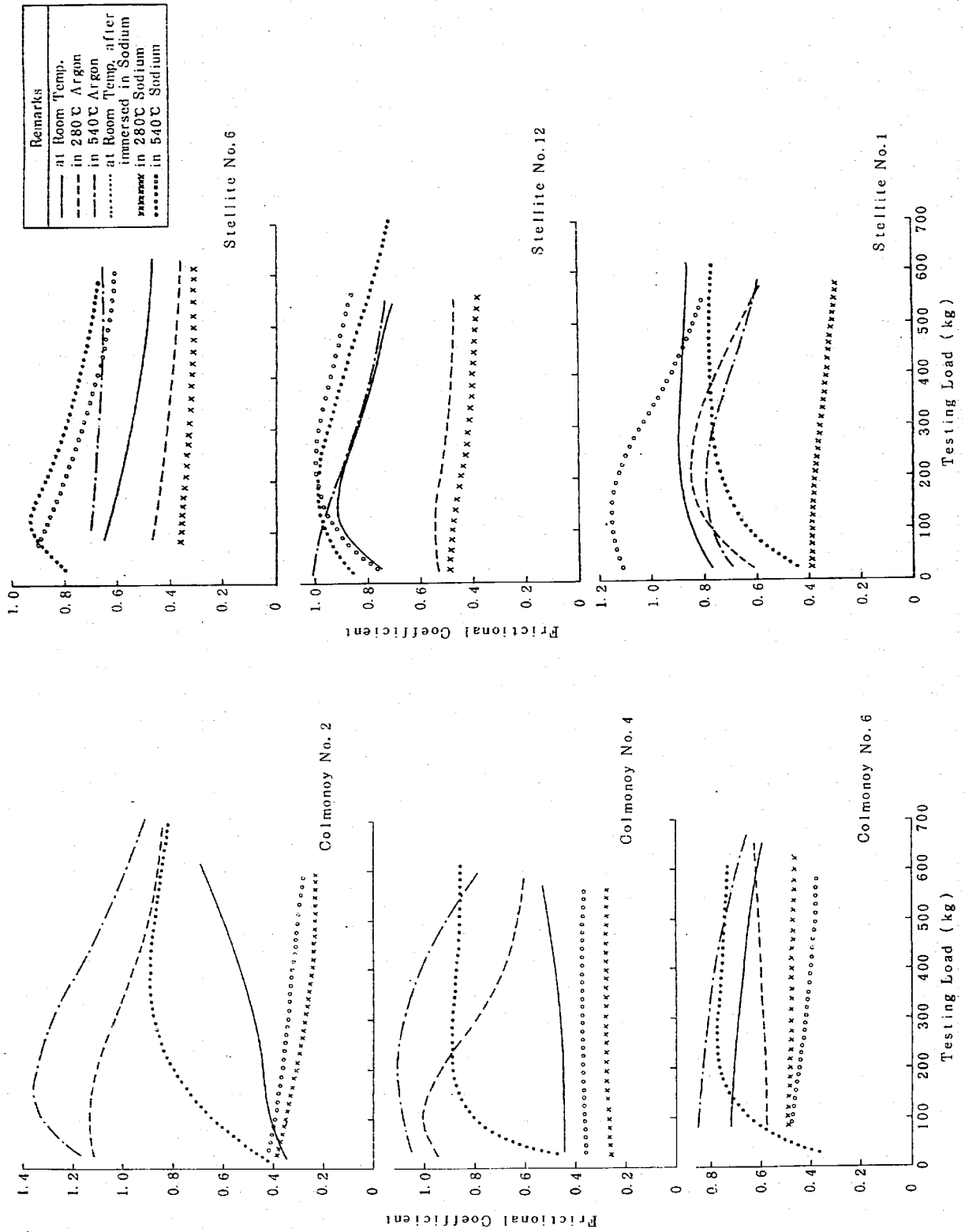


Fig. 8 Relations between Coefficient of Friction and Load for Various Alloys in different Environments.

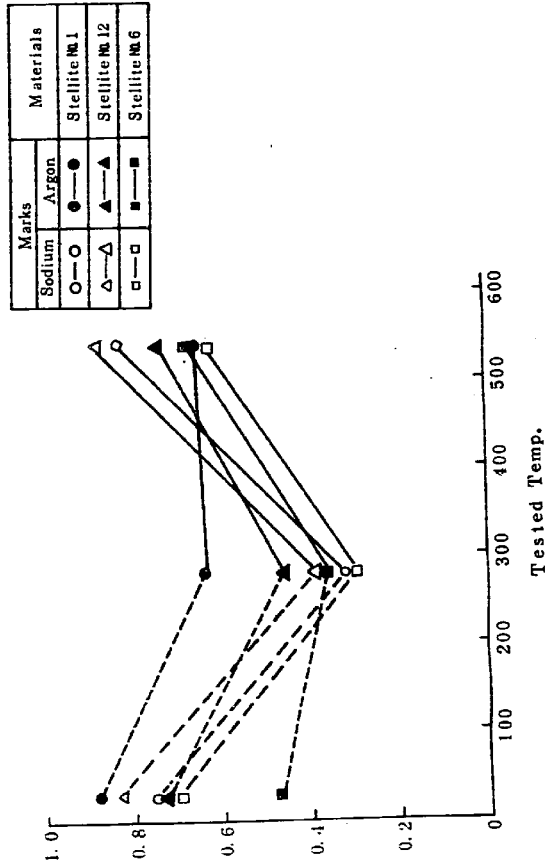
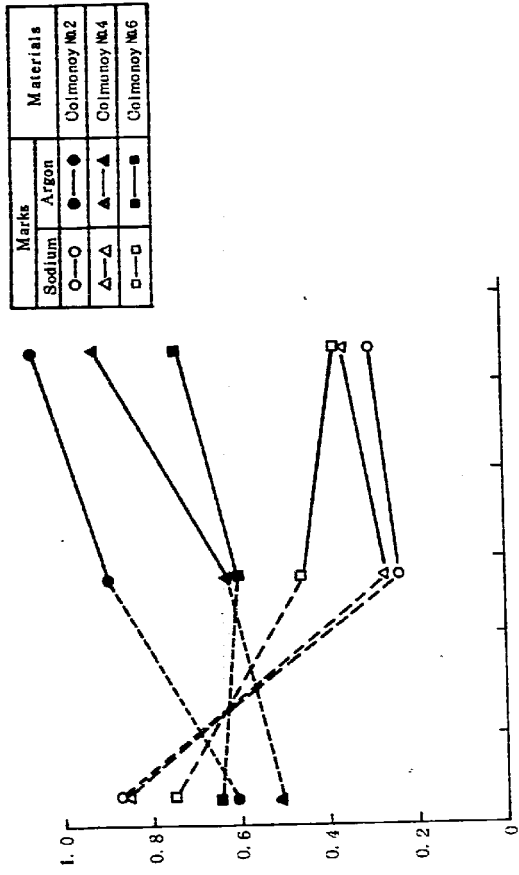


Fig. 9 Relation between Frictional Coefficient and Testing Temp. at Friction Test on Various Materials under 500kg Load.

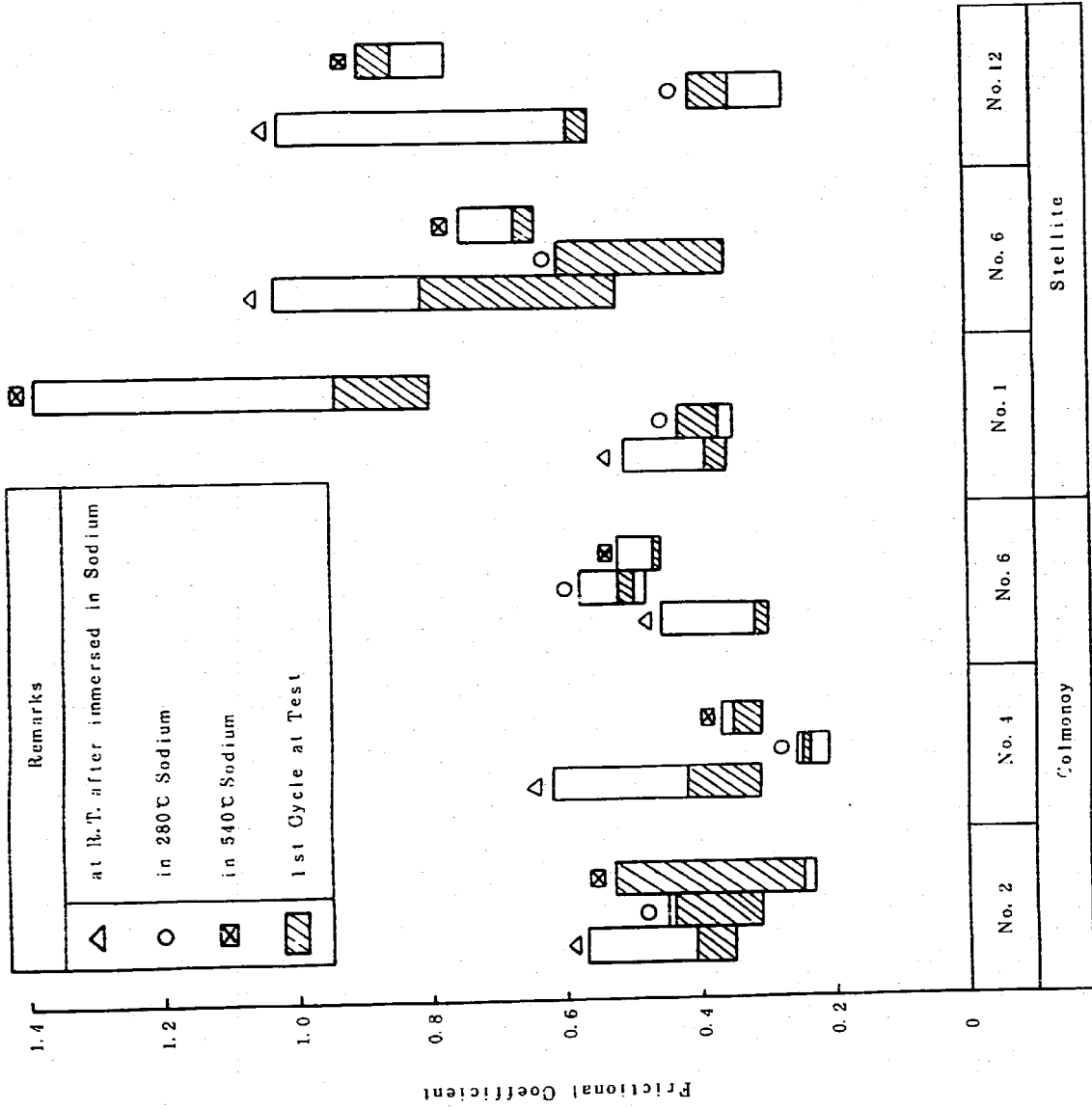


Fig.10 The Variations of Frictional Coefficient at Friction Test under Minimum Load.

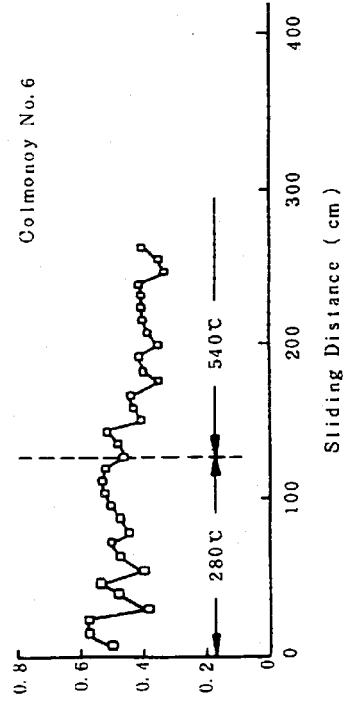
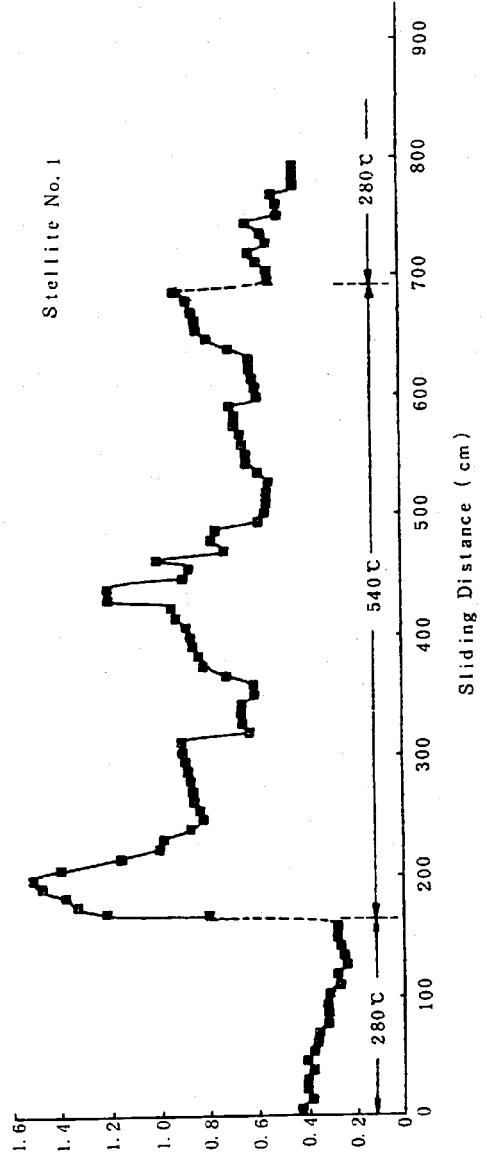
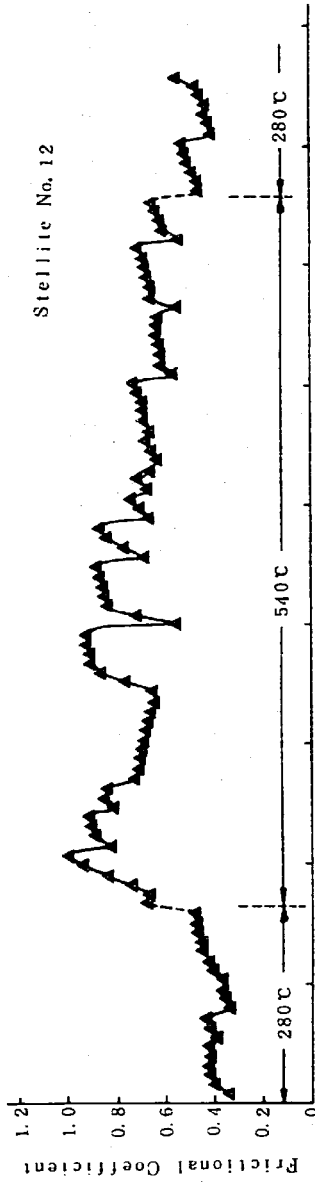
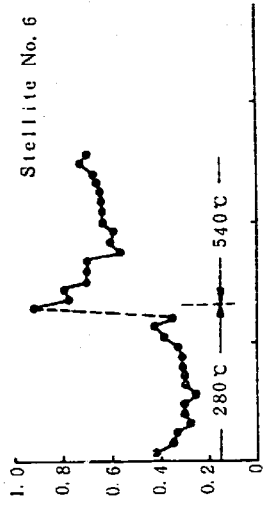
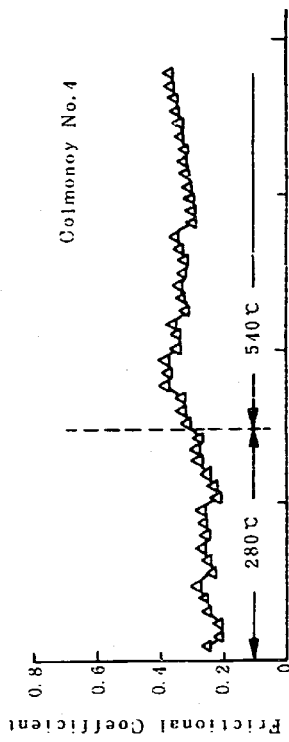
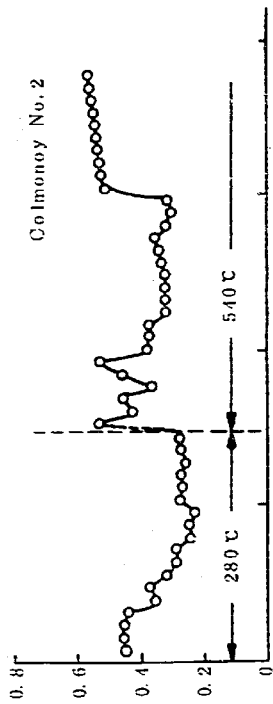


Fig. 11 Relations between Frictional Coefficient and Sliding Distance for Colmonoy and Stellite Alloys in Sodium.

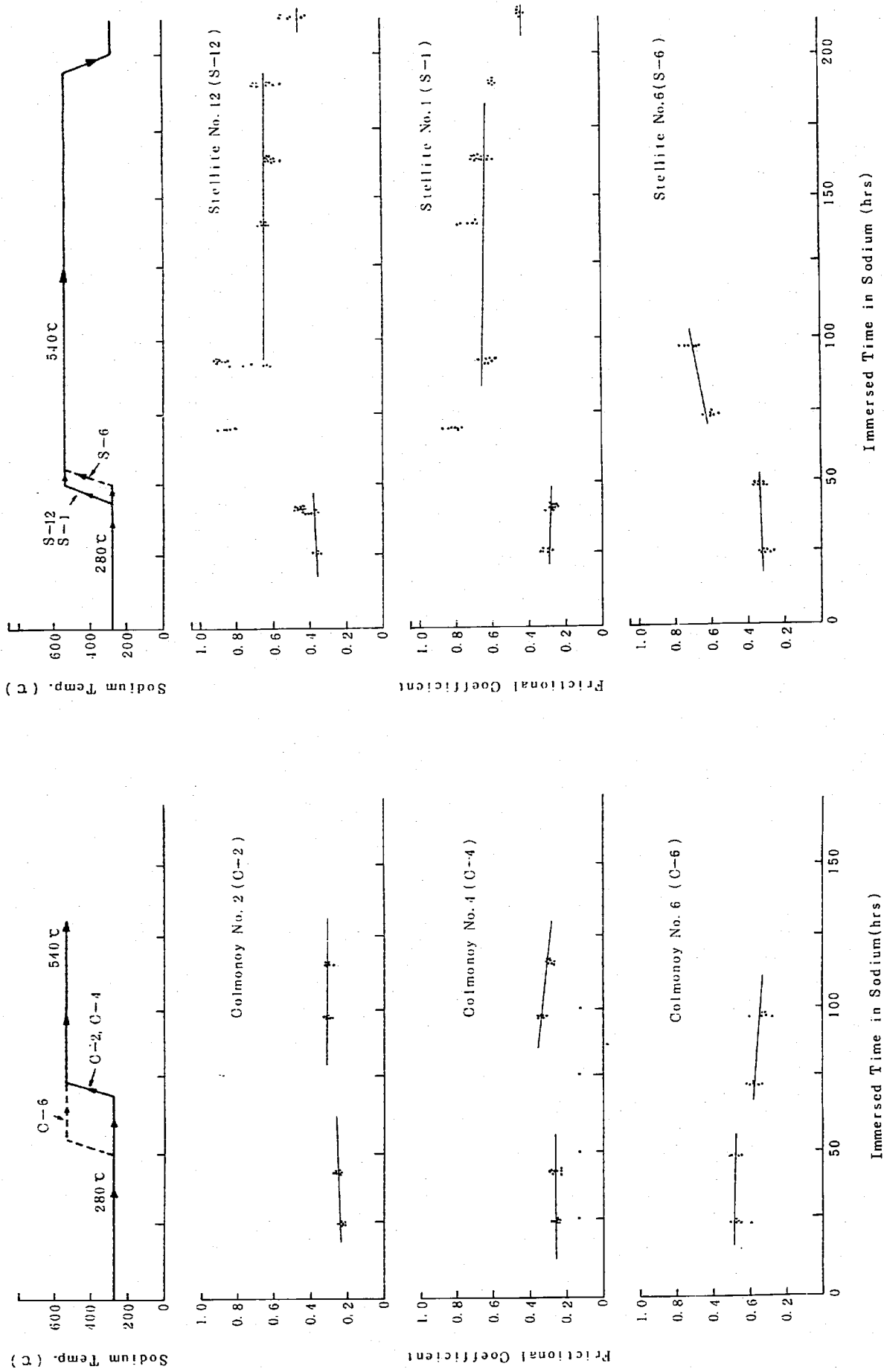


Fig.12 Relations between Frictional Coefficient and Immersed Time at Friction Test under 500 kg Nominal Load for Colmonoy and Stellite Alloys.

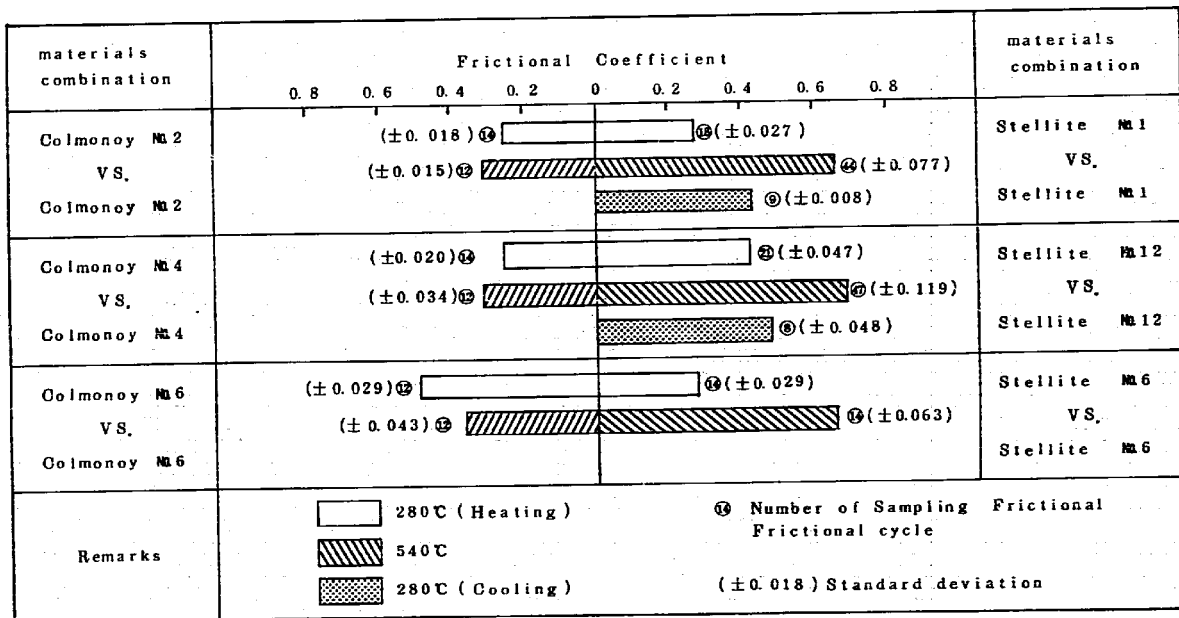


Fig. 13 Mean Average and Standard Deviation on Frictional Coefficient of Various Materials.

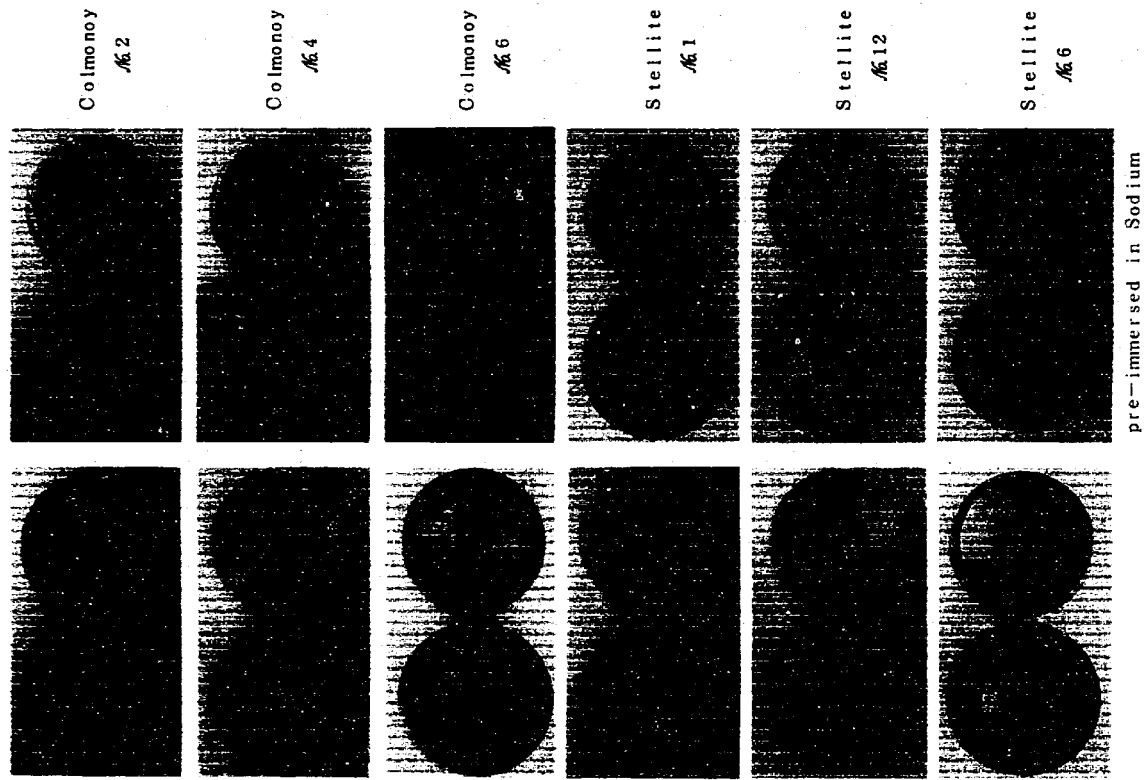


Fig. 14 External Appearances of Various Specimens after Tested at Room Temp. in Air.

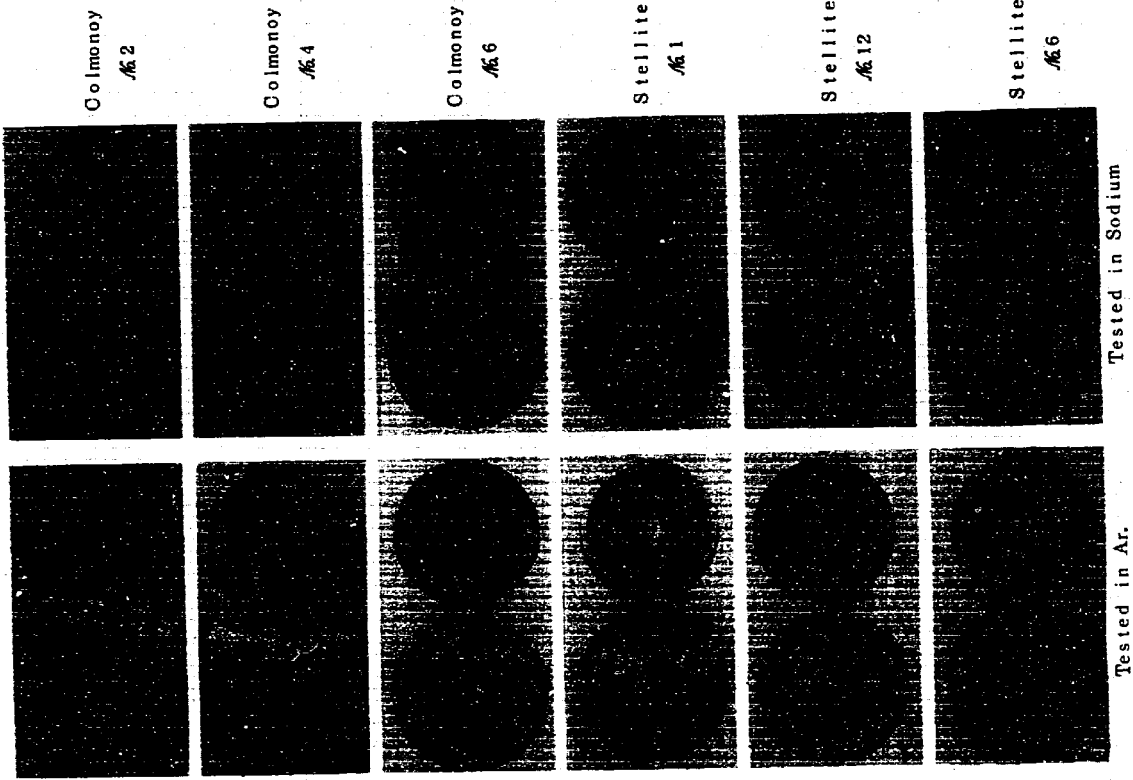


Fig. 15 External Appearances of Various Specimens after Tested in Argon and Sodium.

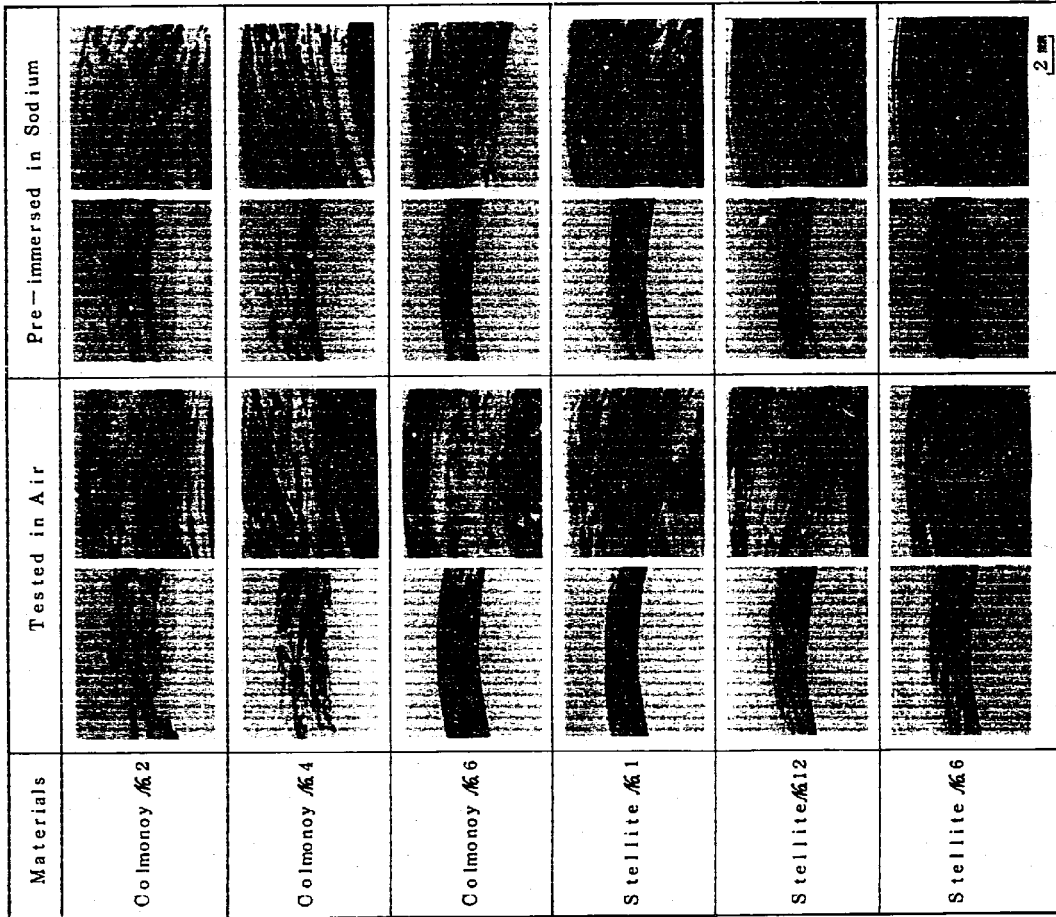


Fig. 16 Stereographs of the Sliding Surface after Tested at Room Temp. in Air.

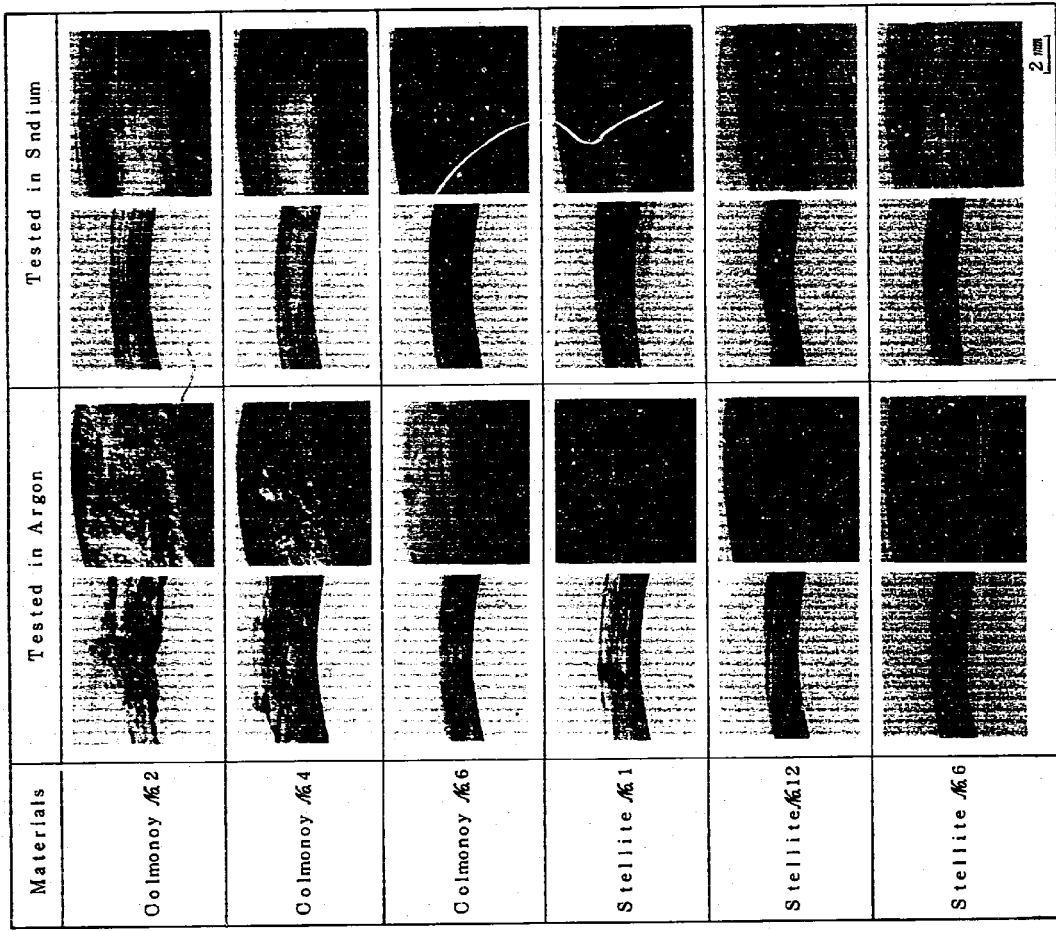


Fig. 17 Stereographs of the Sliding Surface after Tested in Argon and Sodium.

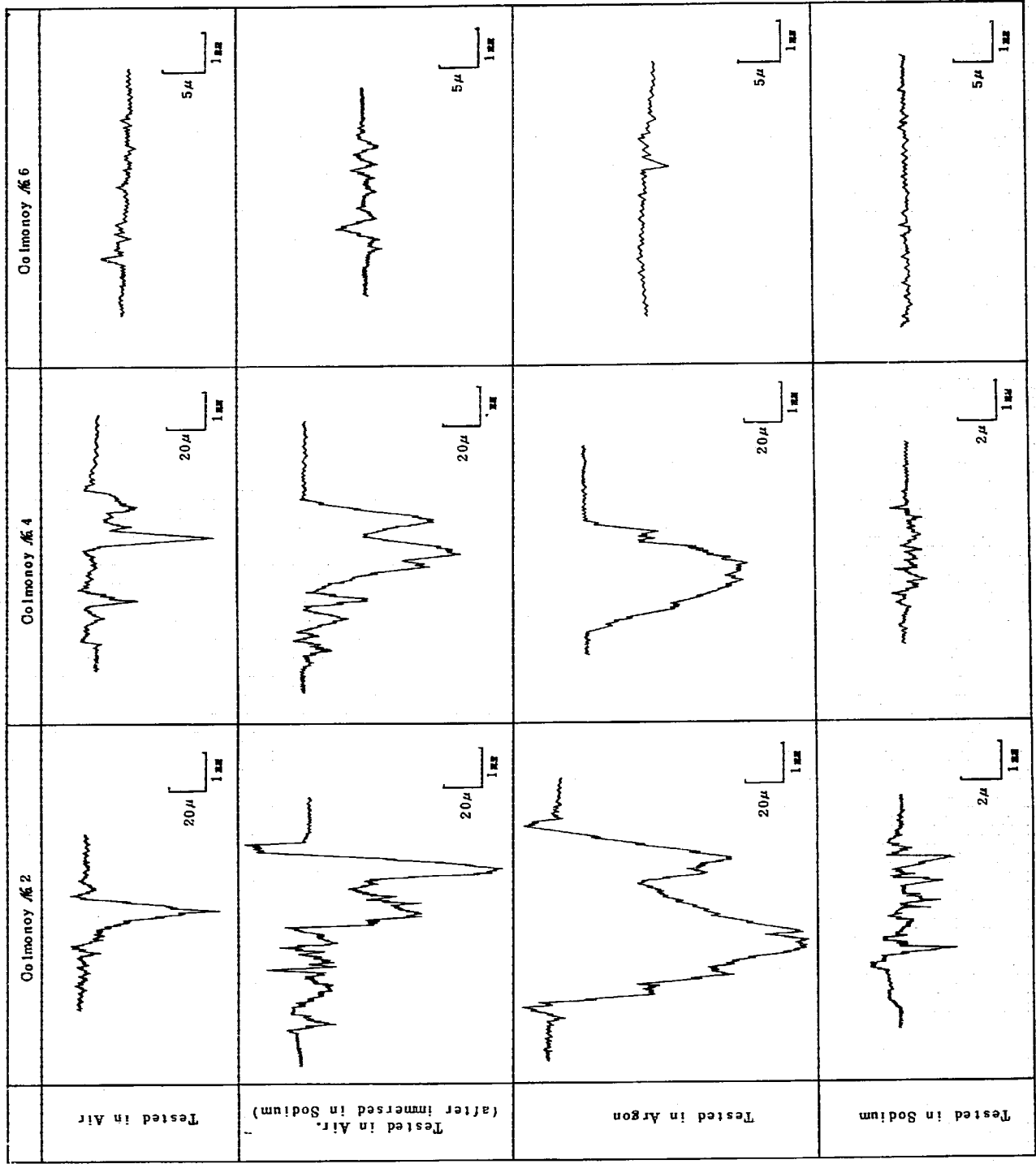


Fig.18 Roughness Changes on the Sliding Surface of Co Imoney Materials after Tested in different Environments.

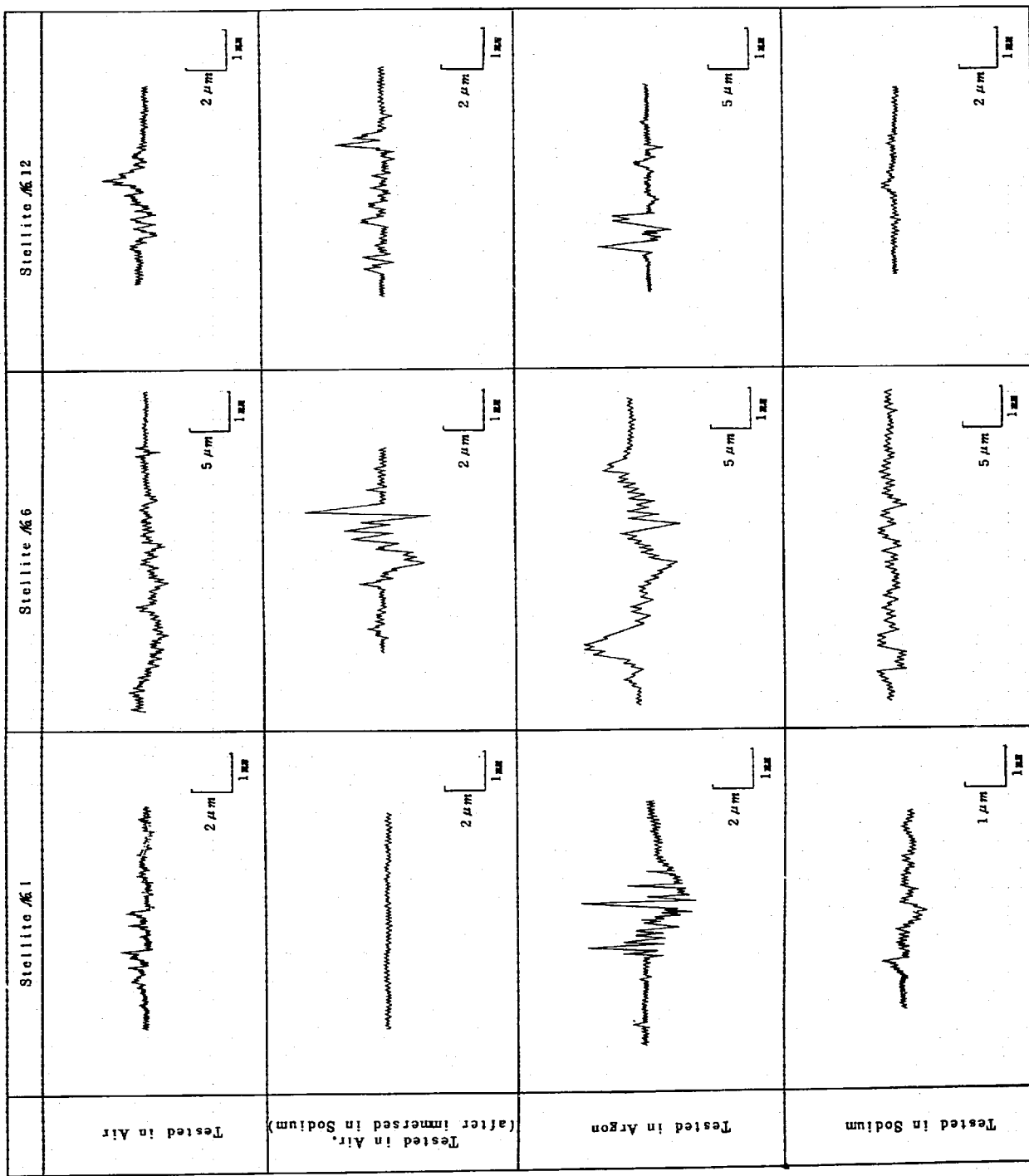


Fig.19 Roughness Changes on the Sliding Surface of Stellite material after Tested in different Environments.



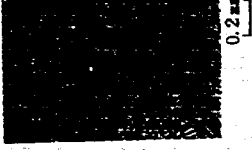

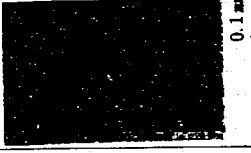





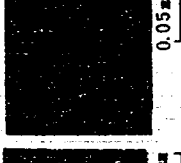
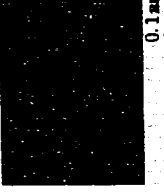
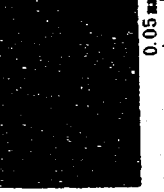
Material	in Sodium	in Argon
Colmonoy #2	 	 
Colmonoy #4	 	  
Colmonoy #6	 	 

Fig. 20 Cross-Sectional Micrographs of Colmonoy Material after Tested in Sodium and Argon.

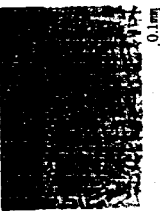

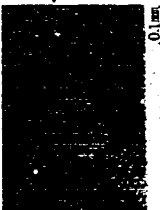









Material	in Sodium	in Argon
Stellite #6	 	 
Stellite #12	 	 
Stellite #1	 	 

Fig. 21 Cross-Sectional Micrographs of Stellite Material after Tested in Sodium and Argon.

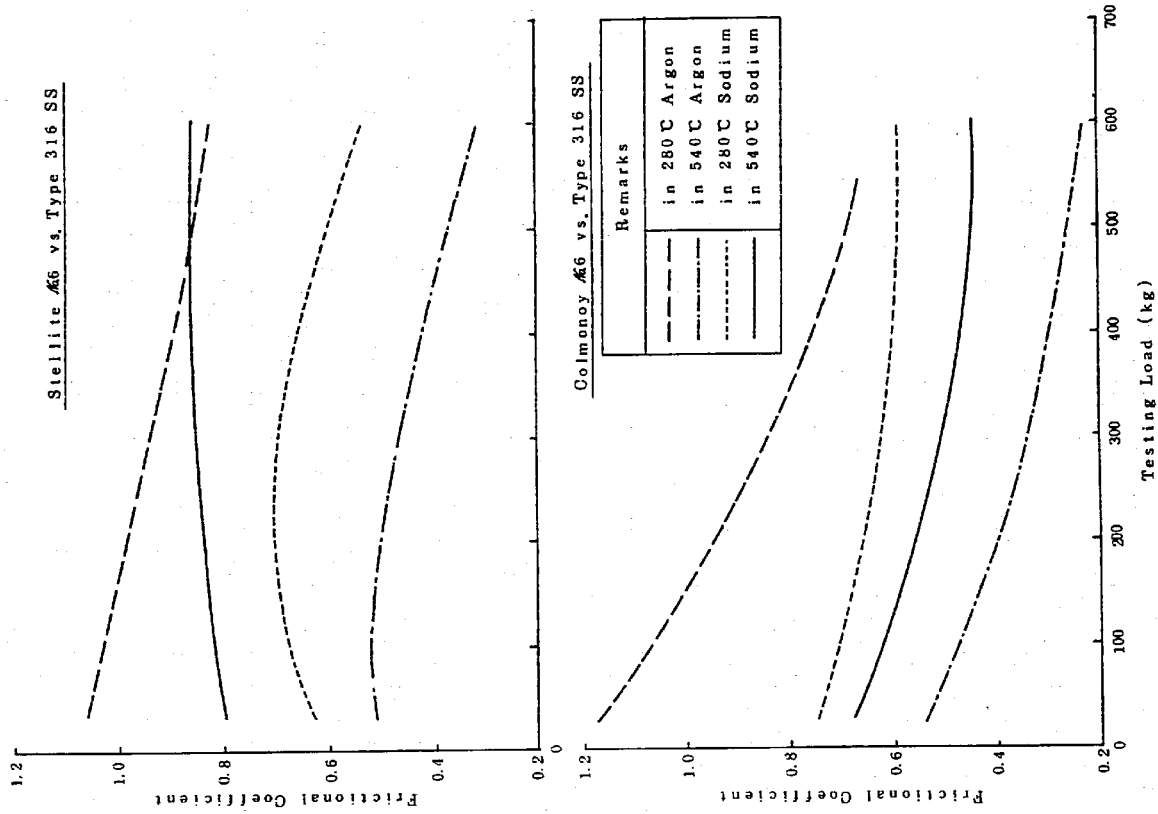


Fig. 22 Results of Frictional Coefficient for the combination of Stellite and Colmonoy vs. Type 316 SS.

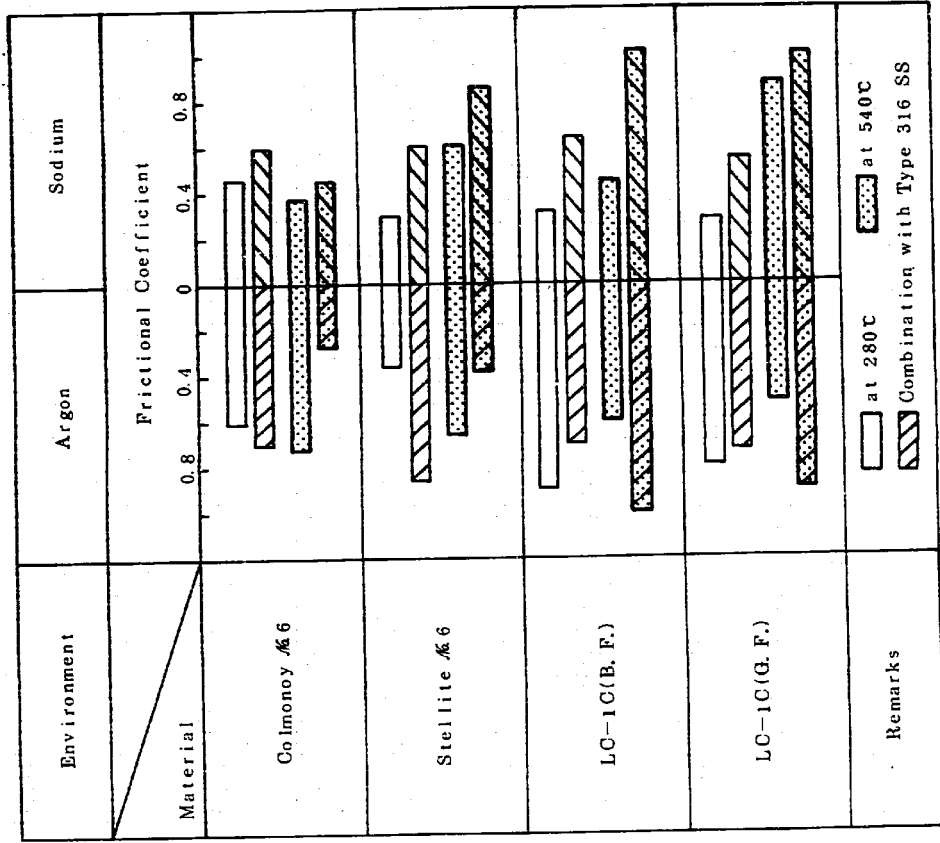


Fig. 24 Changes of Frictional Coefficient for Various Materials under 500kg load in Different Environments.

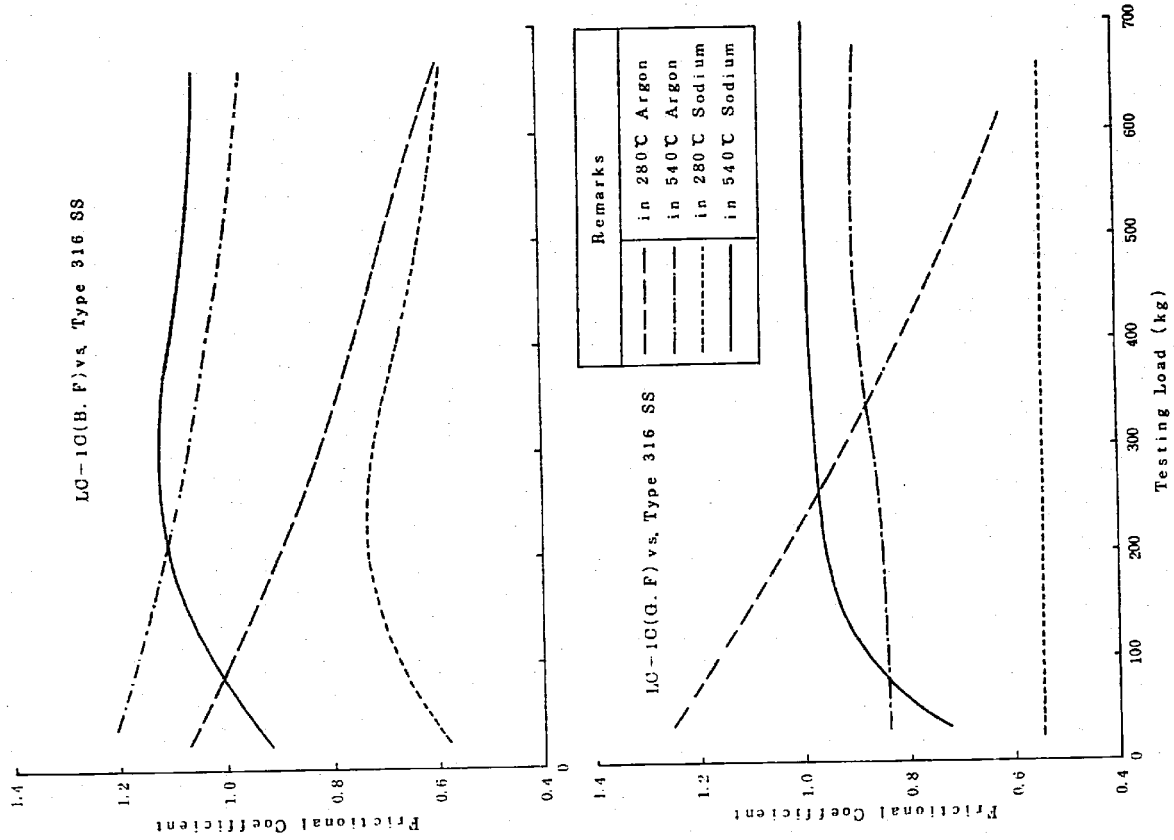


Fig. 23 Results of Frictional Coefficient for the combination of LC-1C vs. Type 316 SS.

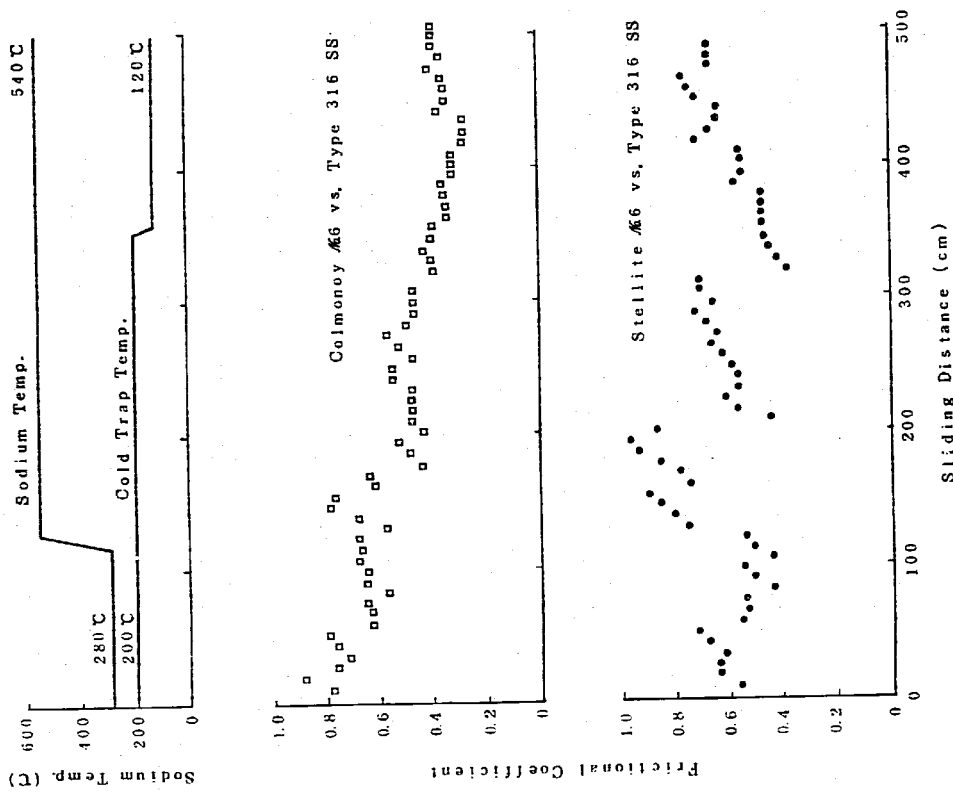


Fig. 25 Changes of Frictional Coefficient versus Sliding Distance for the Combination of different materials.

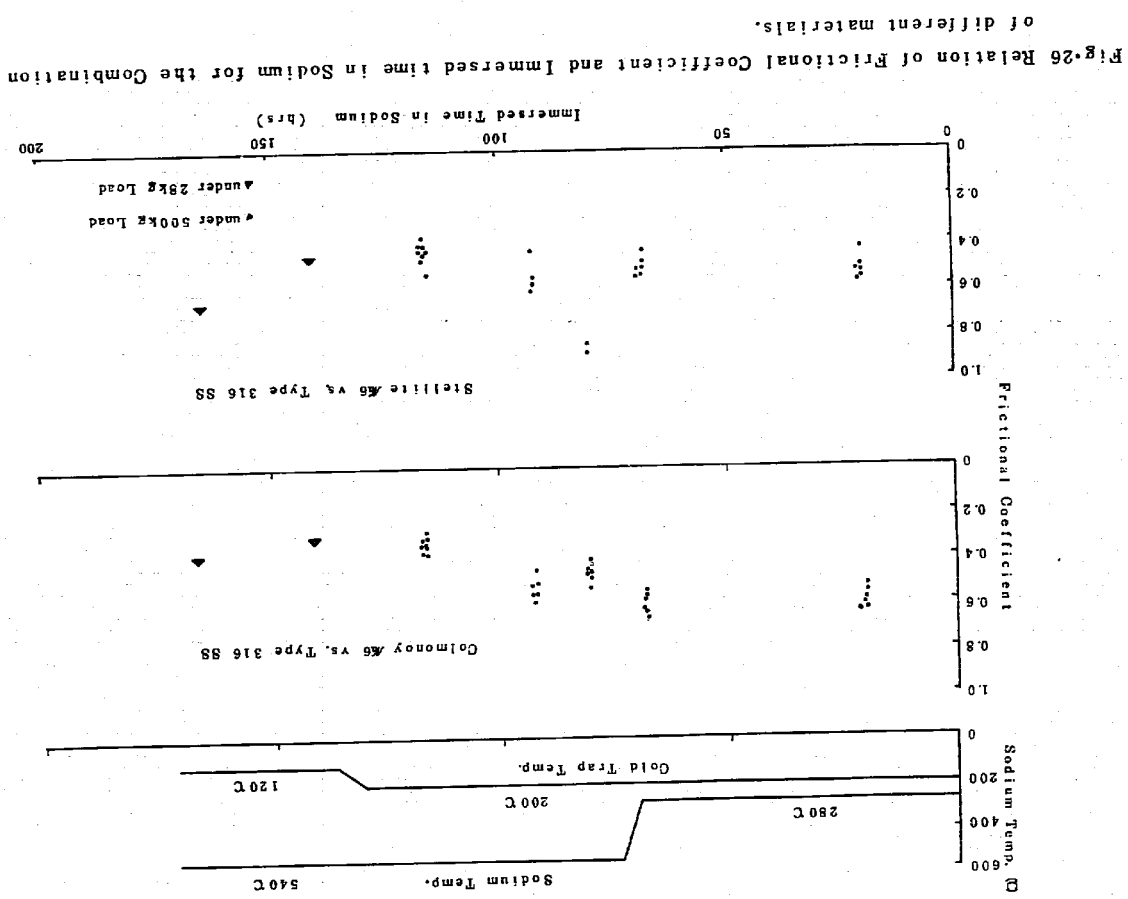


Fig. 26 Relation of Frictional Coefficient and Immersed time in Sodium for the Combination of different materials.

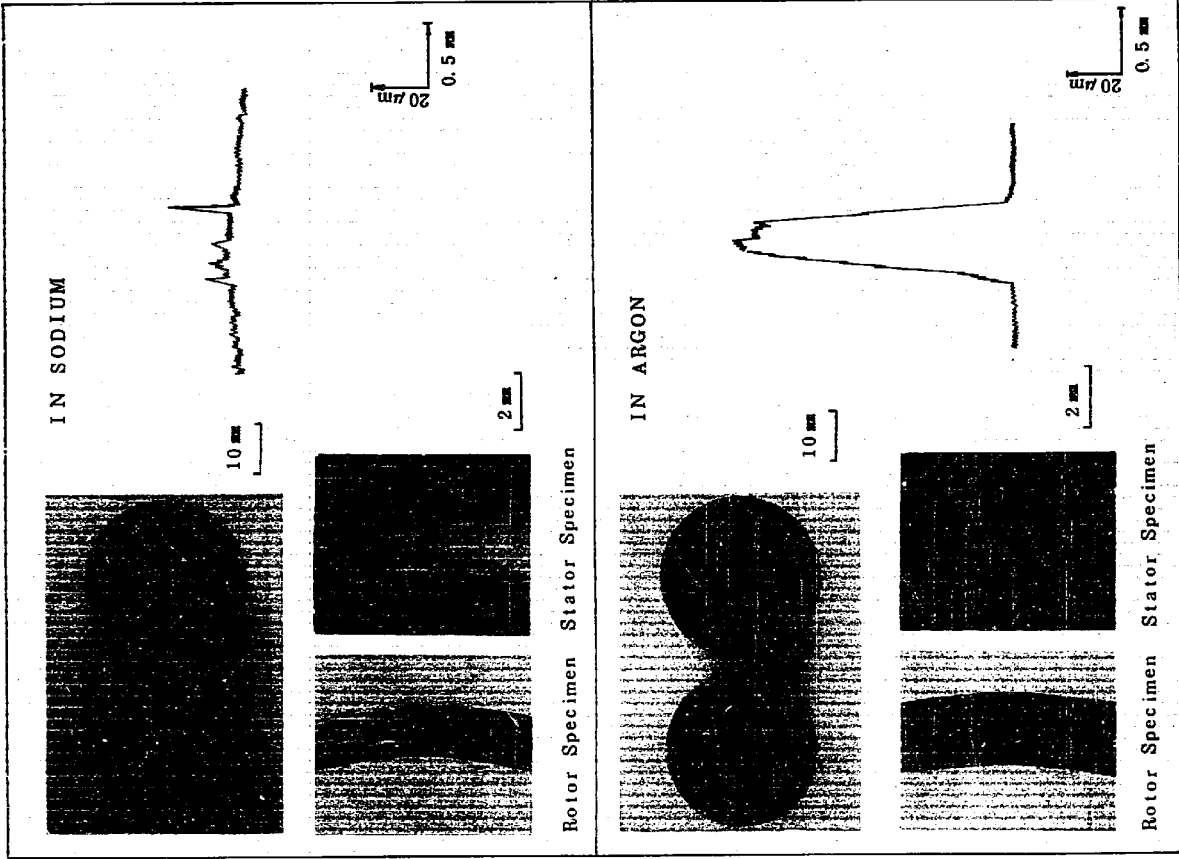


Fig. 28 External Appearances and Roughness change after Tested for the combination of stellite No.6 vs. Type 316 SS.

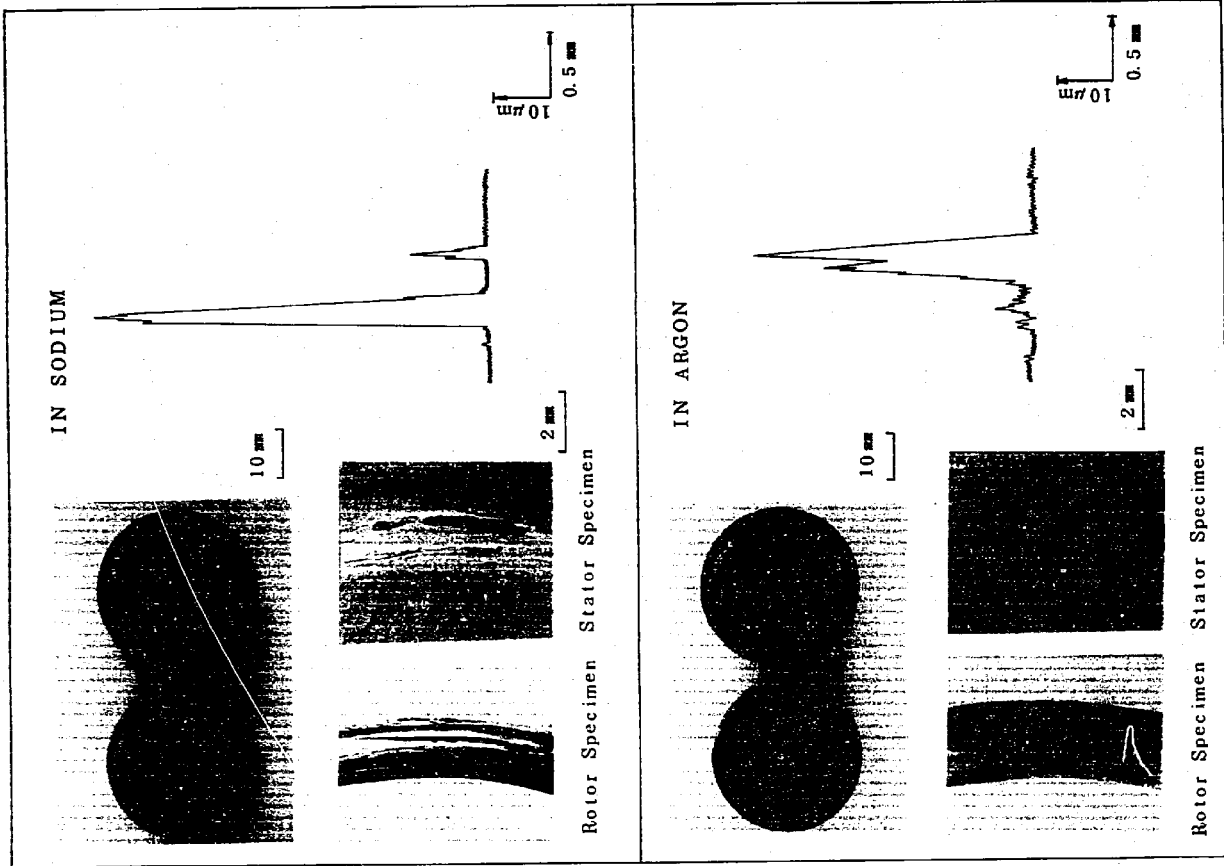


Fig. 27 External Appearances and Roughness change after Tested for the Combination of Colmonoy No. 6 vs. Type 316 SS.

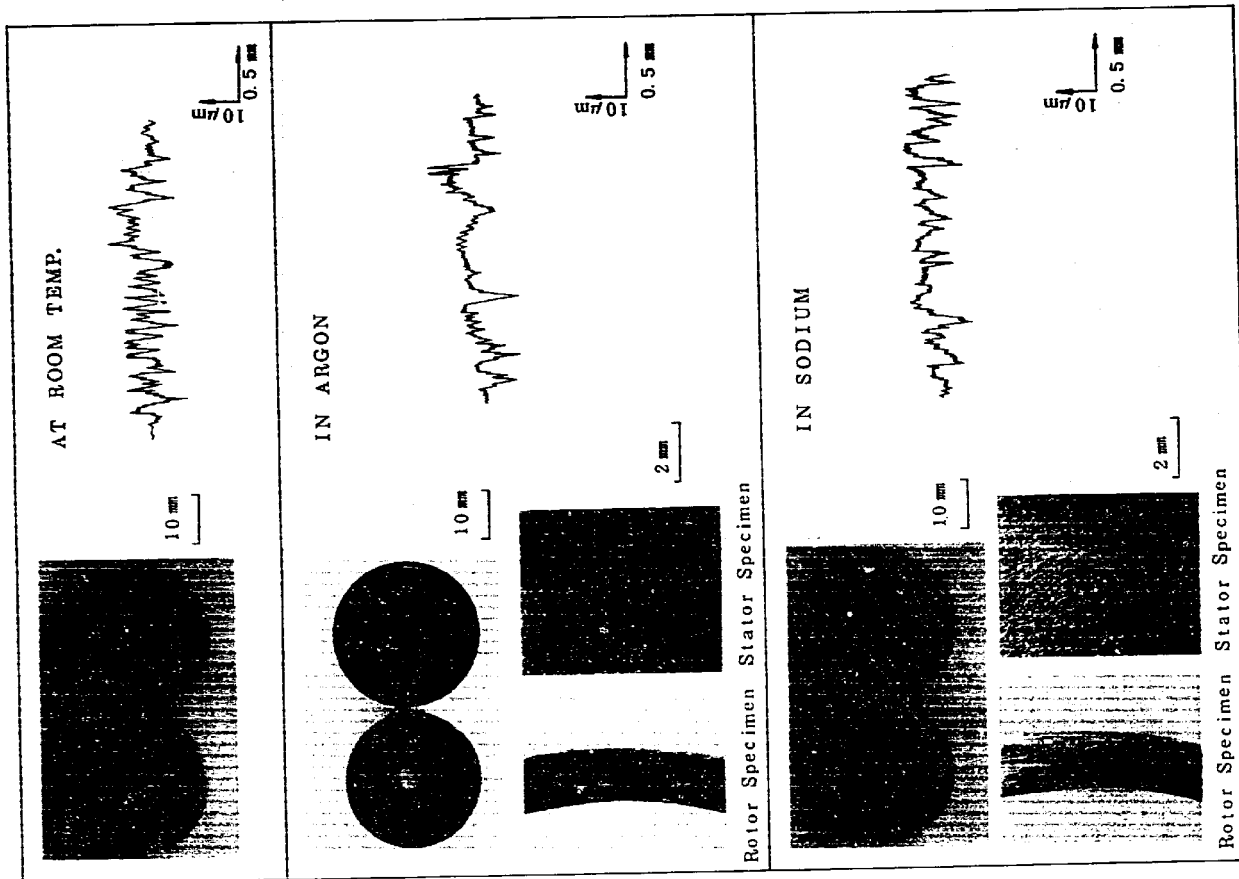


Fig.29 External Appearances and Roughness change of the sliding surface for the combination of LC-1C (BF.) vs. Type 316 SS.

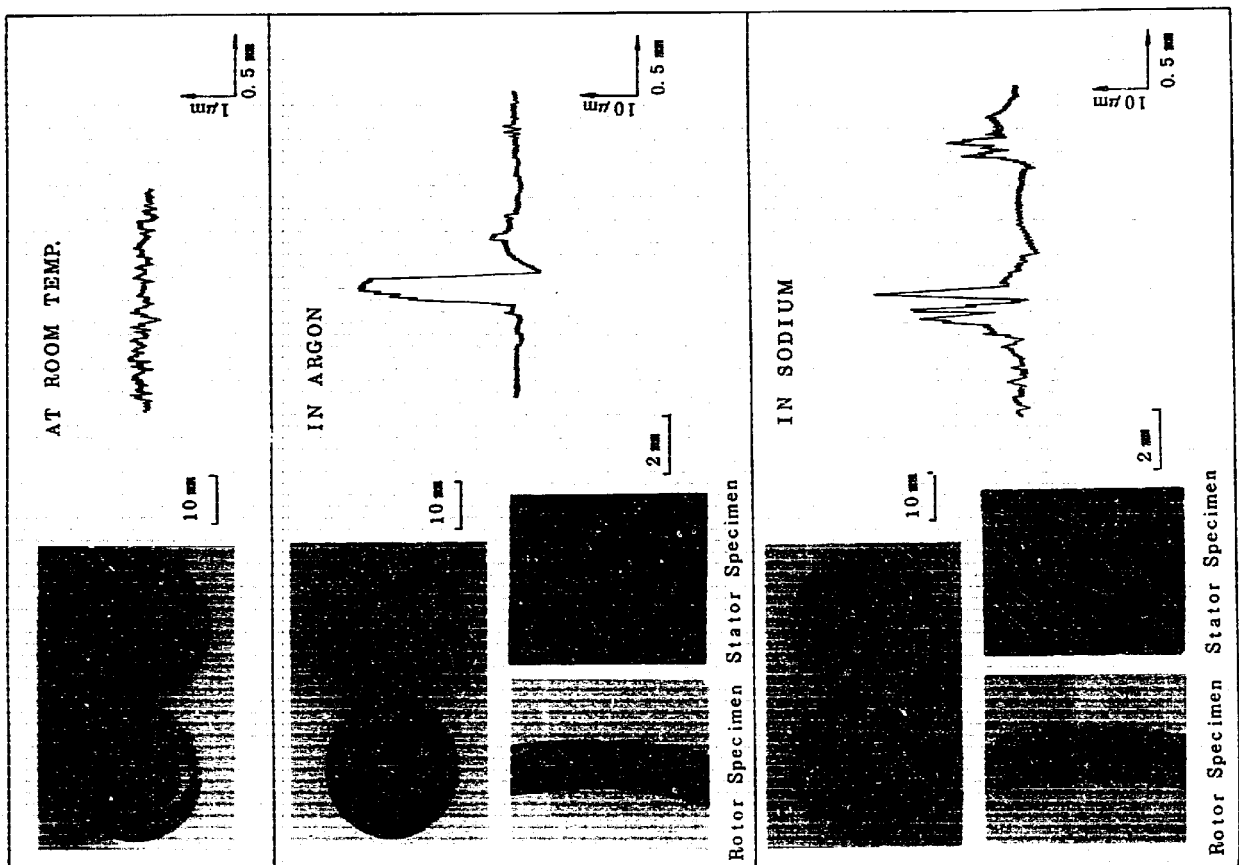


Fig.30 External Appearances and Roughness change after Tested for the Combination of LC-1C (G.F) vs. Type 316 SS.

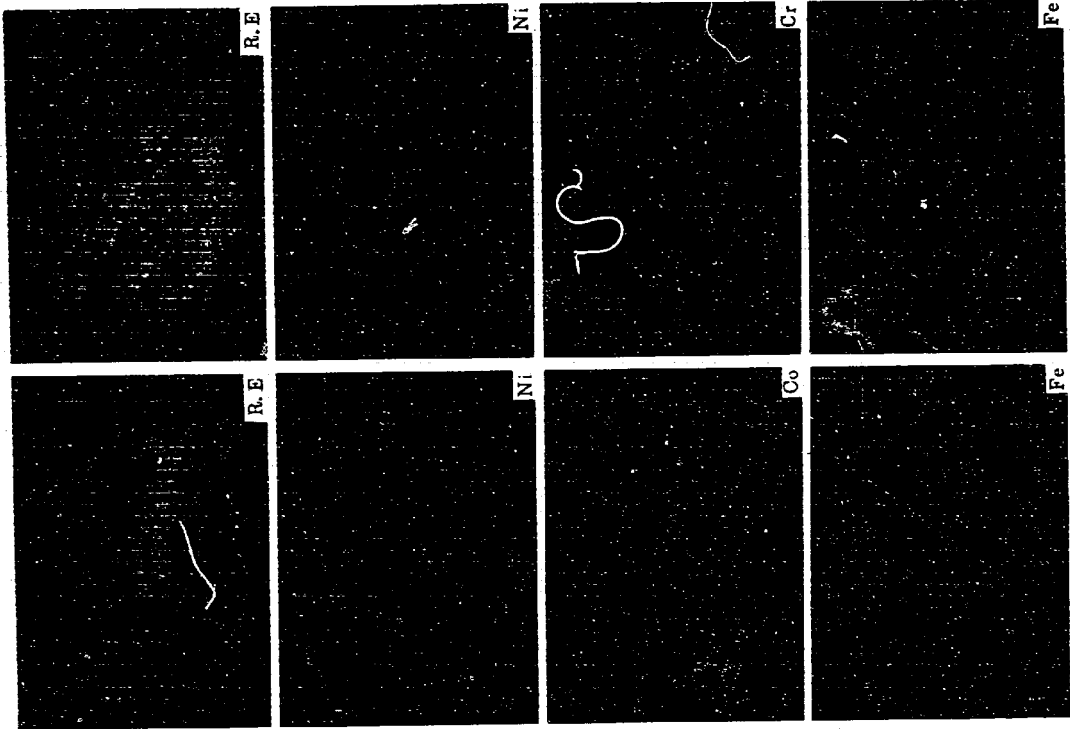


Fig. 31 Results of X.M.A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and Stellite No. 6 after tested in 540C Ar.

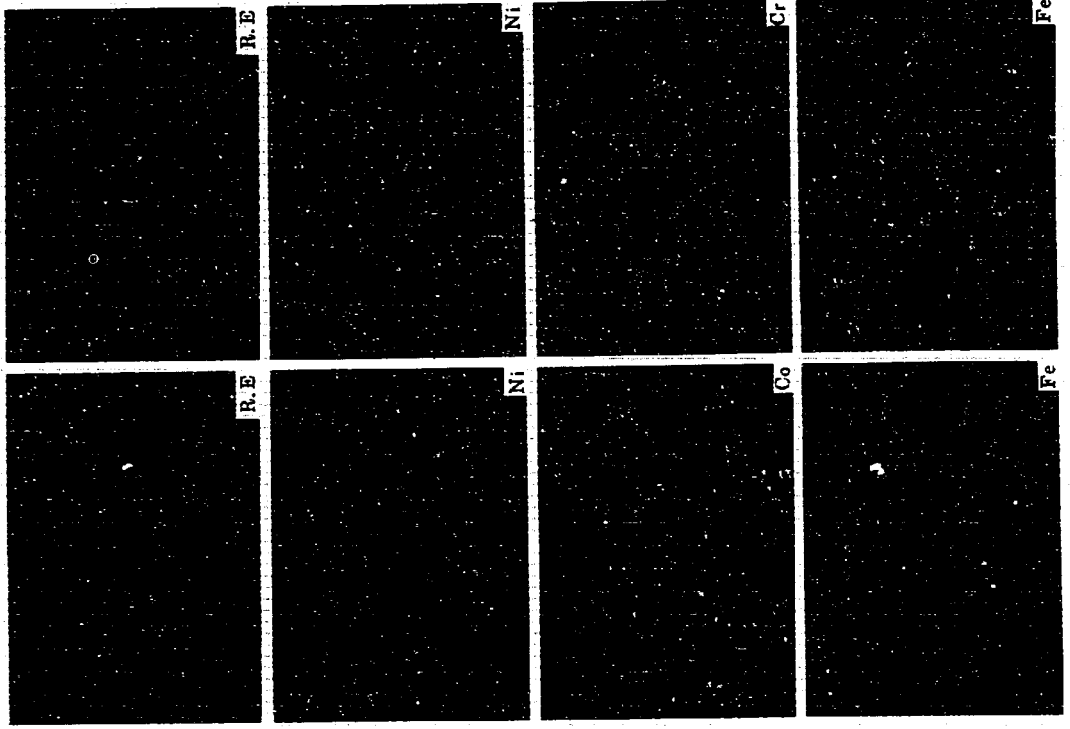


Fig. 32 Results of X.M.A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and Stellite No. 6 after tested in 540C Sodium.

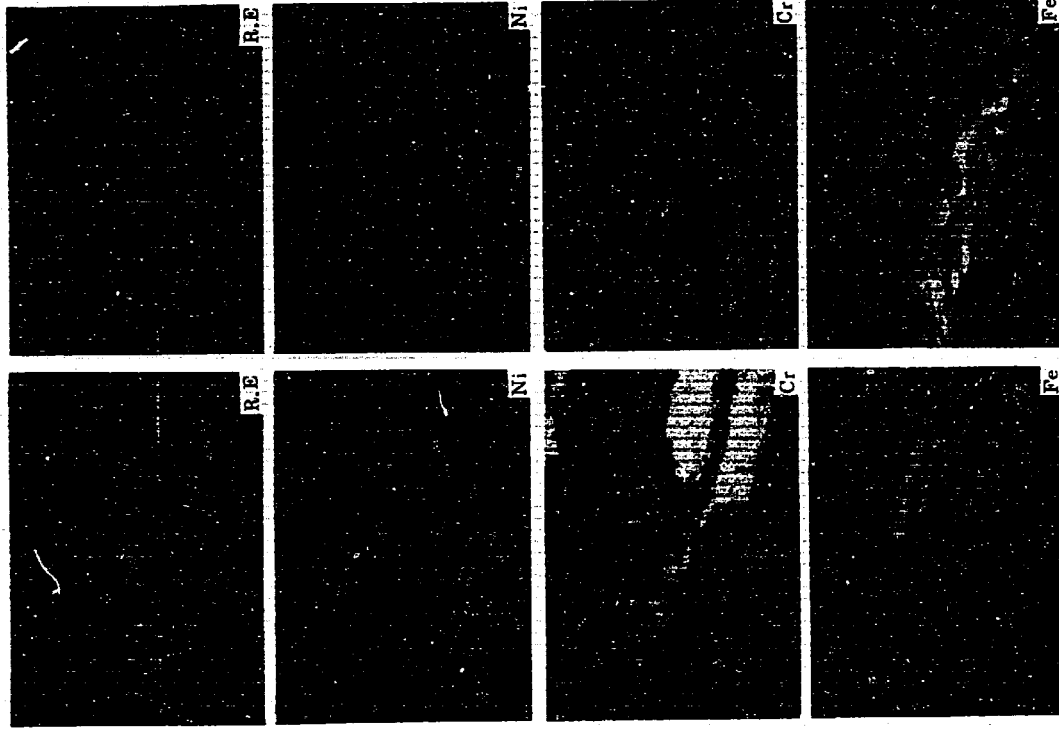


Fig. 34 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and Colmonoy No. 6 in 540°C Sodium.

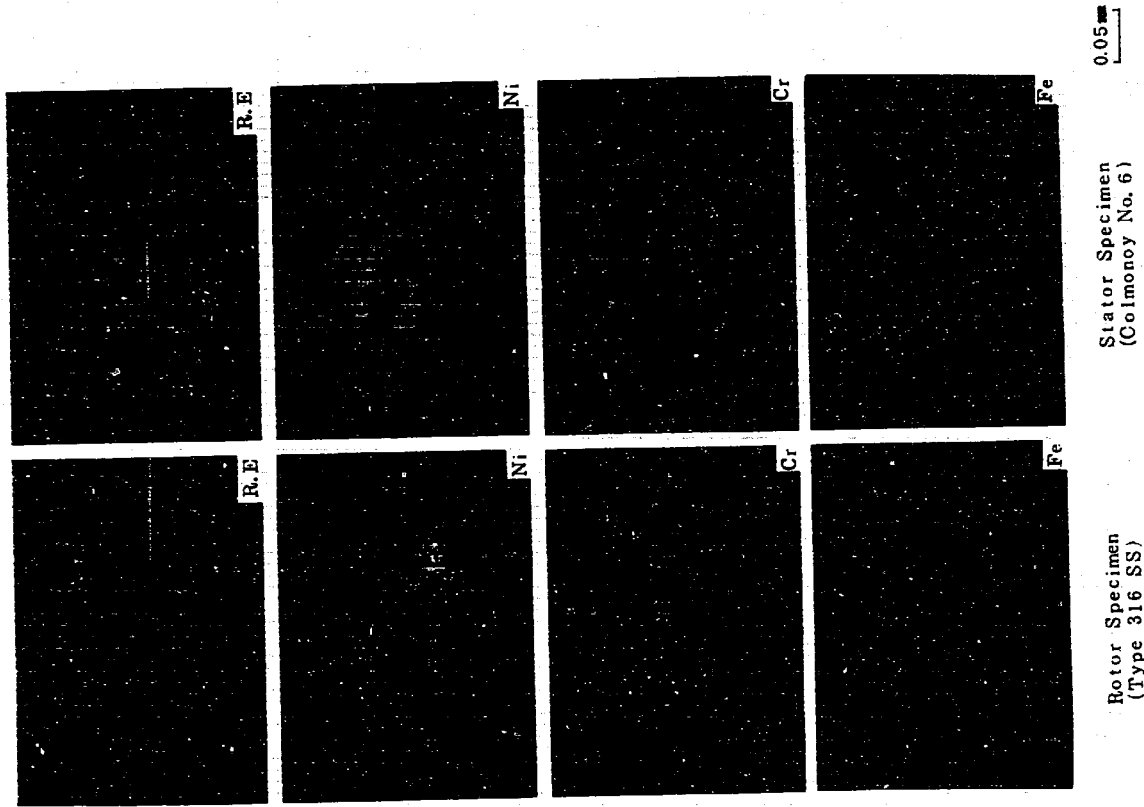
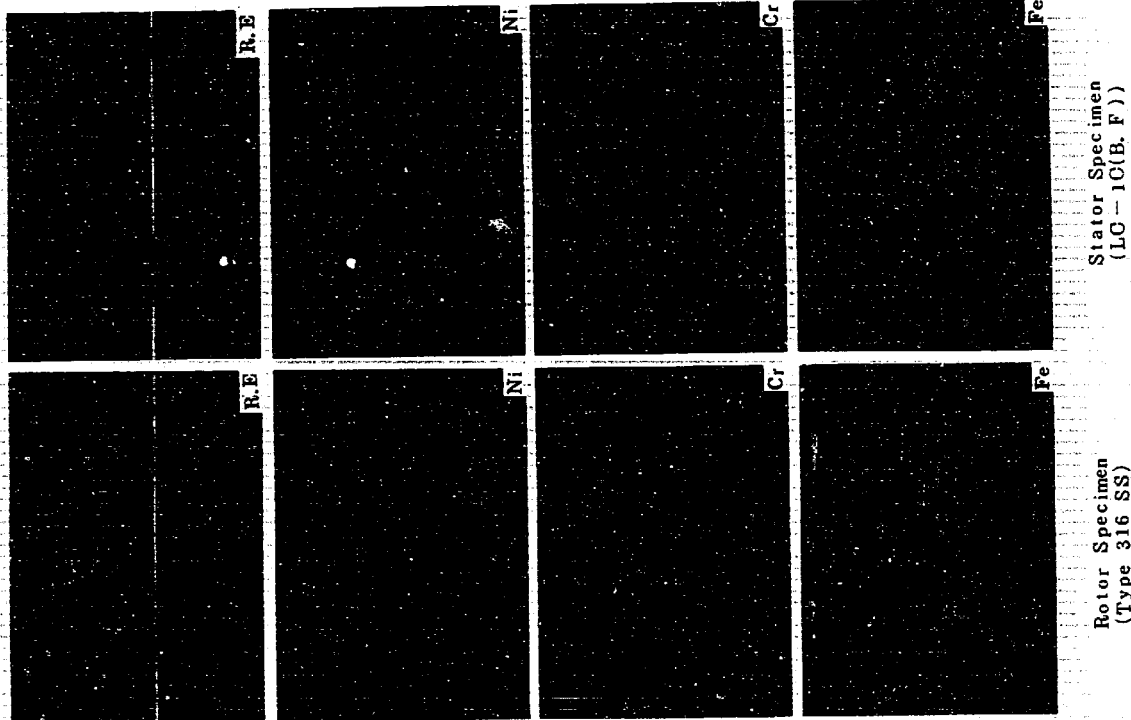


Fig. 33 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and Colmonoy No. 6 in 540°C Argon.

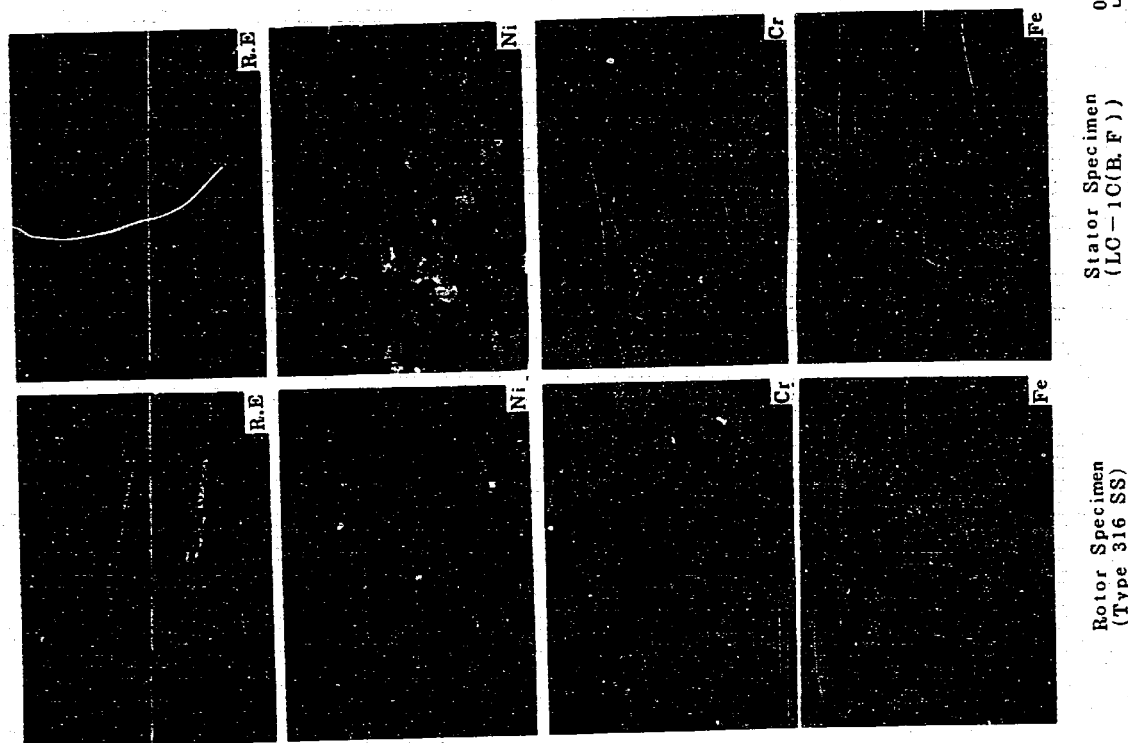


Rotor Specimen
(Type 316 SS)

Stator Specimen
(LC-1C(B, F))

0.05

Fig. 36 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and LC-1C(B, F) in 540 °C Sodium.

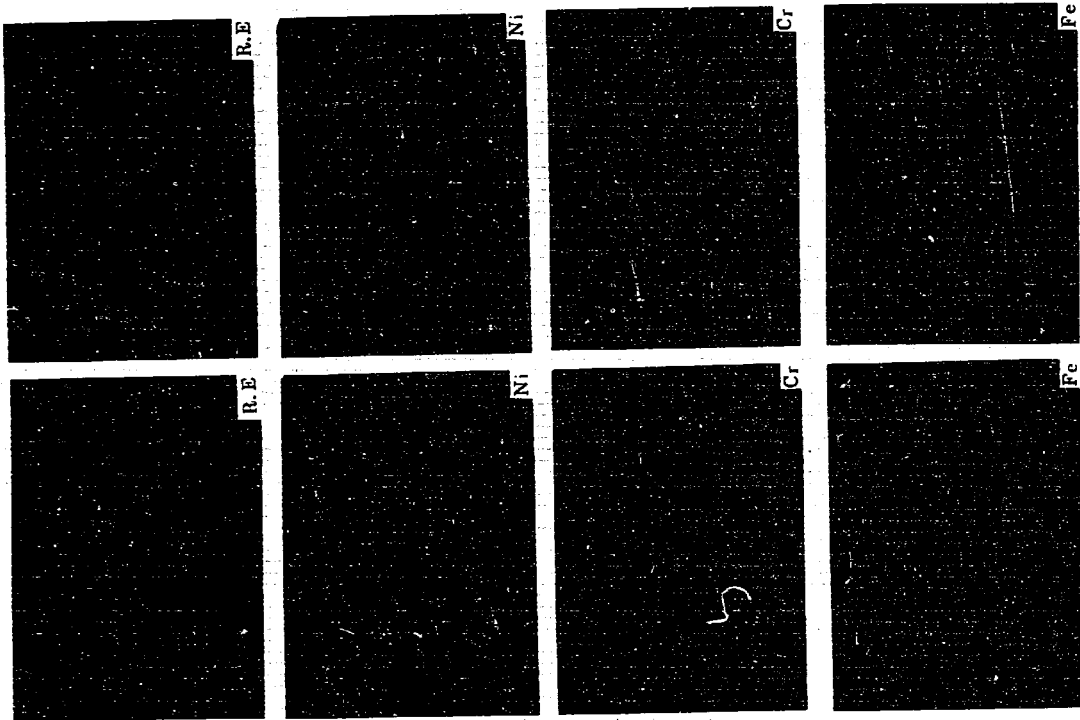


Rotor Specimen
(Type 316 SS)

Stator Specimen
(LC-1C(B, F))

0.05

Fig. 35 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and LC-1C(B, F) at Room Temp.



Rotor Specimen (Type 316 SS) Stator Specimen (LC-1C(G.F)) 0.05mm

Fig. 37 Results of X. M. A on the sliding surface for the combination of Type 316 SS and LC-1C (G. F) in 540 °C Argon.

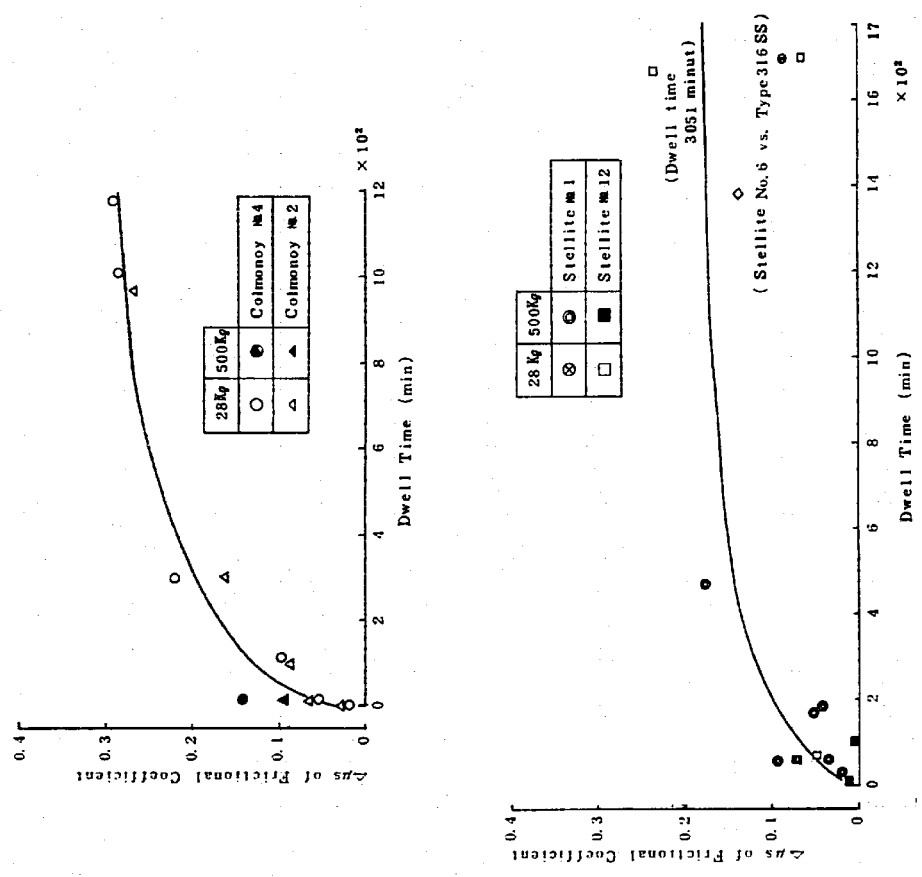


Fig.38 Relations between Frictional Coefficient and Dwelling time of various Materials.

