

# 13Cr タービン翼材の機械的強度におよぼす 非金属介在物の影響

小野 健二\* 佐々木 良一\*\*

## The Effect of Non-Metallic Inclusions on the Mechanical Strength of 13Cr Steel for Turbine Blades

By Kenji Ono, D.S.E., and Ryoichi Sasaki  
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The 13Cr steel has been used widely for steam turbine blades which are subject to stress at high temperatures. The experiments herein disclosed aimed to determine mechanical properties, i.e. tensile, impact and fatigue strength, of the 13Cr steel at high temperatures and to make clear the effect of non-metallic inclusions on mechanical properties of this steel.

Five types of specimens were used in the experiment, which contained 0.13% to 0.20% C, 12.69 to 13.13% Cr and various quantities of non-metallic inclusions, and were given by quenching and tempering No. 201 to No. 206 Brinell hardness.

Results of the experiment are summarised as follows:

- (1) Tensile strength at various temperatures is not affected by the non-metallic inclusions.
- (2) With the increase of temperature, tensile strength and fatigue strength decrease, while endurance ratio increases.
- (3) Impact value is lowered by non-metallic inclusions only slightly at room temperature but considerably at high temperatures.
- (4) In general, rotating bending fatigue strength decreases with the increase of non-metallic inclusions. The maximum lowering of fatigue limit is 10% at room temperature, 20% at 500°C and 20% in 90°C steam jet.

### 〔I〕 緒 言

現在蒸気タービンの翼に 13Cr 不銹鋼が広く使用され、米国においても同様<sup>(1)</sup>である。タービン翼は高温高圧の蒸気中で高速回転を受け、特に近時タービンが大容量高速化するに伴い、蒸気も高温高圧化し、ますます苛酷な条件で使用されている。にもかかわらずその高温に

おける疲れ強さについては Sichikov, Vishnevetskii, Ginberg<sup>(2)</sup>氏, Kinney<sup>(3)</sup>氏等によつて、また Fuller<sup>(4)</sup>氏によつて高温水蒸気中で行われた研究があるくらいで、あまり発表されていない現状であるので、今回 13Cr 翼材の高温における疲れ強さを求めた。また 13Cr 鋼にあらわれやすい欠陥として非金属介在物があり、介在物の少ないいわゆる清浄な鋼を製造することに関しては製鋼者側において努力されているが、鋼中に多少介在物が存在することは否定できない。動的応力を受ける機械部

\* 日立製作所日立研究所 工博

\*\* 日立製作所日立研究所

品の疲労破損は非金属介在物から出発することが多いことは Johnson<sup>(5)</sup>, Clements<sup>(6)</sup>, Stone<sup>(7)</sup> 氏等を始め多くの研究者によつて指摘せられており、軸方向に存在する介在物が振り疲れ強さを 20~25% 低下させること<sup>(8)</sup>, 航空機用機関の部品において相当な疲れ強さの低下をもたらしたこと、あるいはバネ鋼の疲れ強さを低下させること<sup>(9)</sup>等が数多く報告され、また焼鈍によつて介在物の影響が顕著に現われること<sup>(10)</sup> も報告されている。一方比較的硬さが低い鋼では影響が少いともいわれている。一般には介在物の存在は鋼の疲れ強さを低下させるが、これは鋼種によつてことなり、また 13Cr 鋼について調べられていないようである。また上述の研究は主として常温における試験であり、高温で使用される 13Cr 鋼については高温における試験が行われなければならない。よつて高温における引張、衝撃、疲労の各試験を行い、非金属介在物の影響を明かにした。

〔II〕 試料の調質および組織

(1) 試料

組成が近似し、非金属介在物量のみ異なる 5 熔解の 13Cr 鋼を選び試料とした。第 1 表は組成、オーステナイト結晶粒度および学振鋼品位判定法による清浄度と平均厚みとを示す。いずれも 20 mm × 23 mm 角に熱間圧延された後所定の寸法に切断された。

(2) 試料の熱処理

実験の正確を期するため材料はすべて焼入後焼戻によつてブリネル硬さ  $H_B$  201~206 の範囲に調質することにし、その熱処理条件を求めた。すなわち 20 mm × 20 mm × 20 mm の試験片を用い、保持時間は 30 分間一定とし 920~1,020°C の間で温度を変えて油焼入して  $H_B$  を測定し、第 1 図のごとき結果が得られたので焼入温度は試料 A, B, C, D および X のいずれも 990°C と決定された。つぎに 990°C から油焼入された試験片を 720~780°C の間で温度を変えて 1 hr 焼戻後空冷して  $H_B$  を測定し、第 2 図のような結果が得られたので、焼戻温度はそれぞれ、A 試料 770~775°C, B 試料 740~745°C, C 試料 790~795°C, D 試料 770~775°C および X 試料 755~760°C と決定された。よつて試験片素材について以上の処理が施されてから更に硬さを測定し、 $H_B$  201~206 の範囲にあるもののみ試験片として採用された。

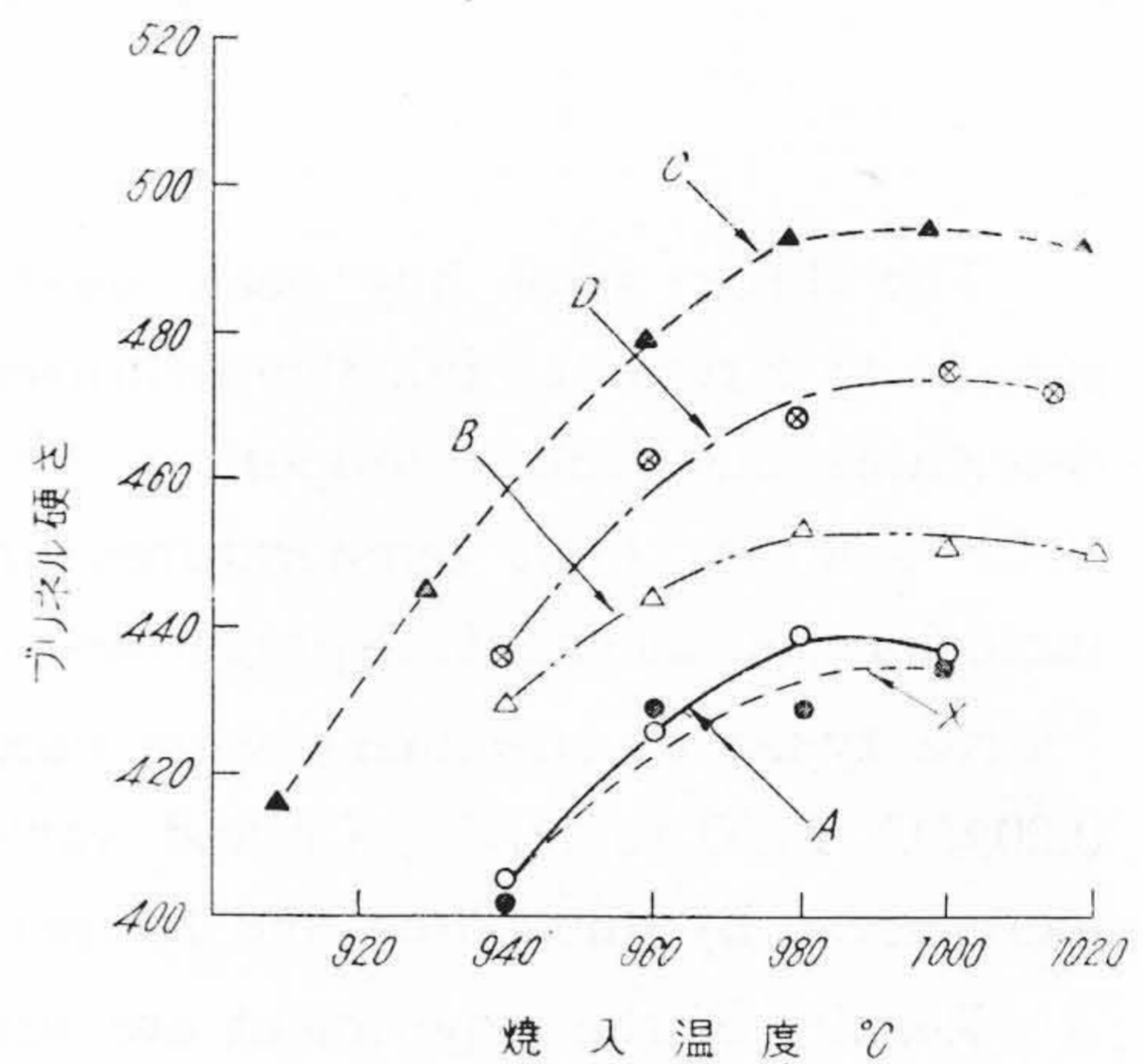
(3) 組織

第 3 図は調質された試料の代表的な組織を示す。試料 B, C および D の試験片は大体図のように一様なソルバイト組織を示すが、X 試料の試験片は殆んどが図のように極めて微量のフェライトが存在する。第 4 図は A 試料に現われた遊離フェライトを示す。A 試料の試験片を大別

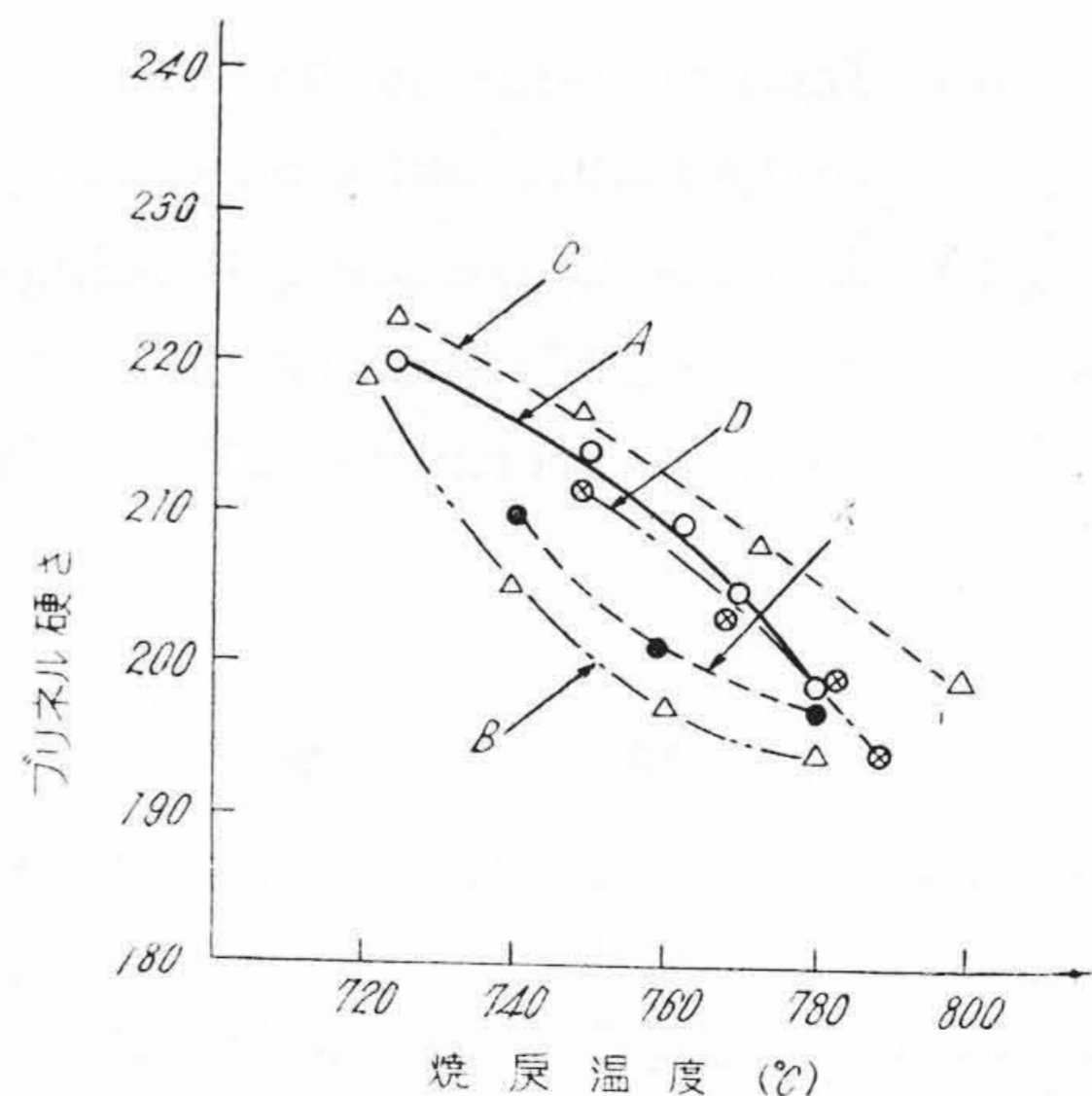
第 1 表 試料の組成(%), 学振法による結晶粒度および清浄度と平均厚み

Table 1. Chemical Composition (%), Grain Size and the Quantity and Thickness of Non-Metallic Inclusions (Japanese Gakushin's Standard)

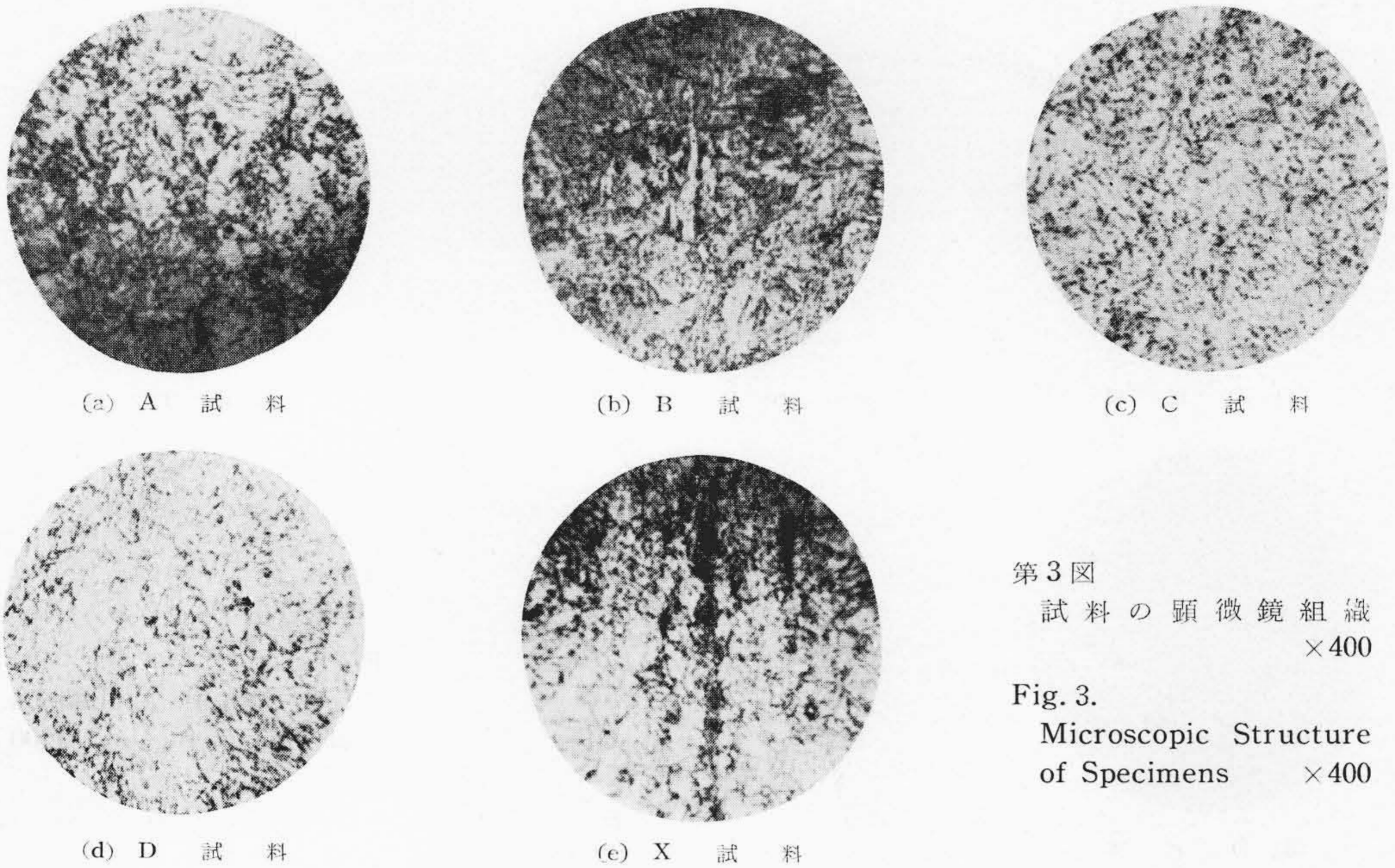
試番	TC	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	オーステナイト結晶粒度	清浄度および平均厚み	
									A 系	B 系
A	0.13	0.31	0.30	0.011	0.009	0.32	12.69	7~8	1.0, 3 $\mu$	1.5, 3 $\mu$
B	0.17	0.15	0.29	0.018	0.012	0.20	12.90	7	0.5, 3.8 $\mu$	3.3, 6.3 $\mu$
C	0.20	0.19	0.28	0.022	0.012	0.21	13.13	7~8	1.5, 3.2 $\mu$	3.9, 6.5 $\mu$
D	0.18	0.28	0.29	0.021	0.012	0.17	12.93	7	3.4, 4.9 $\mu$	3.9, 6.7 $\mu$
X	0.16	0.20	0.31	0.011	0.009	0.27	12.94	7	2.7, 2.3 $\mu$	3.3, 5.5 $\mu$



第 1 図 焼入温度対硬さ曲線  
Fig. 1. Effect of Quenching Temperature on the Hardness of 13Cr Steel

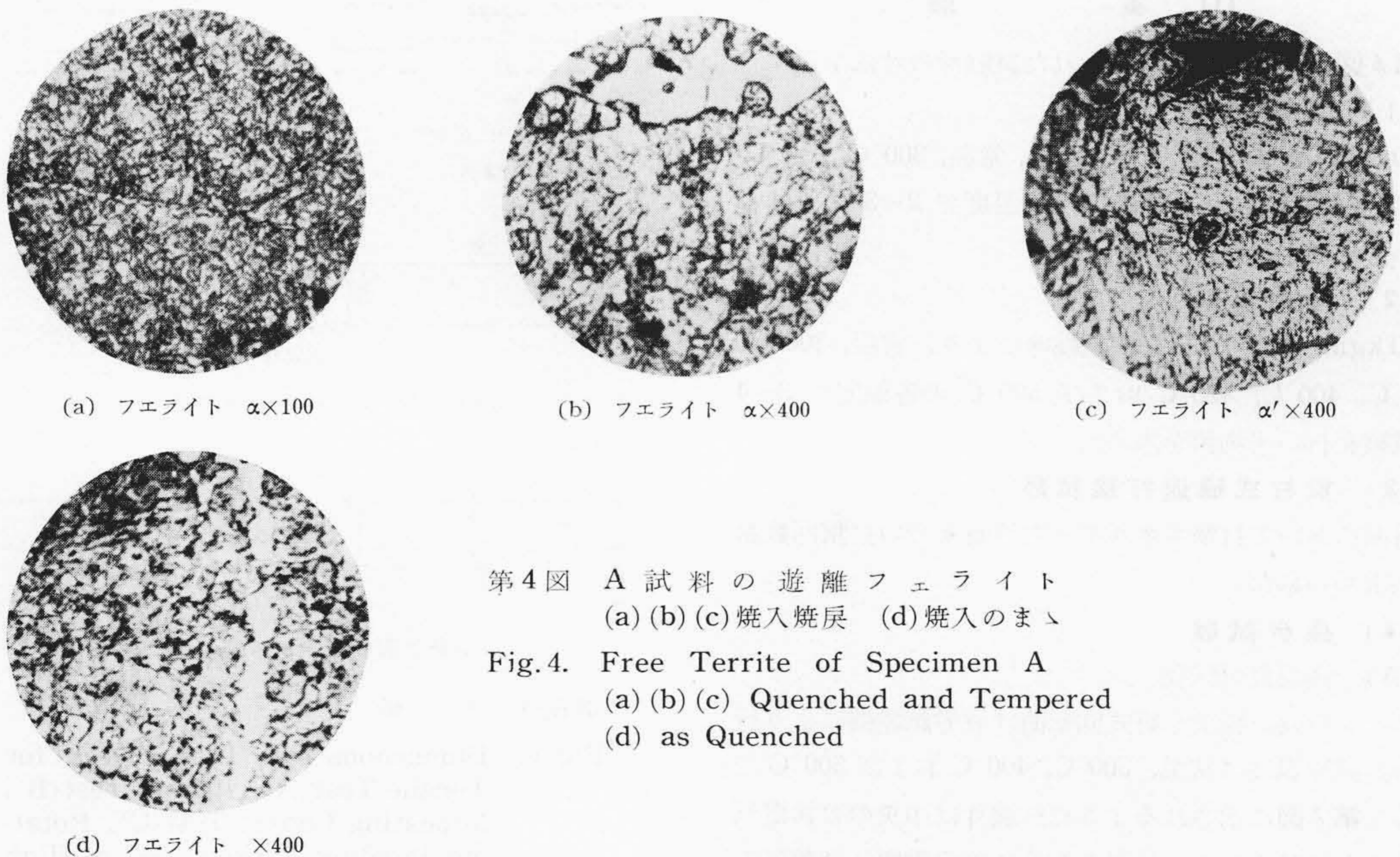


第 2 図 焼戻温度対硬さ曲線  
Fig. 2. Effect of Tempering Temperature on the Hardness of 13Cr Steel Quenched from 990°C



第3図  
試料の顕微鏡組織  
×400

Fig. 3.  
Microscopic Structure  
of Specimens ×400

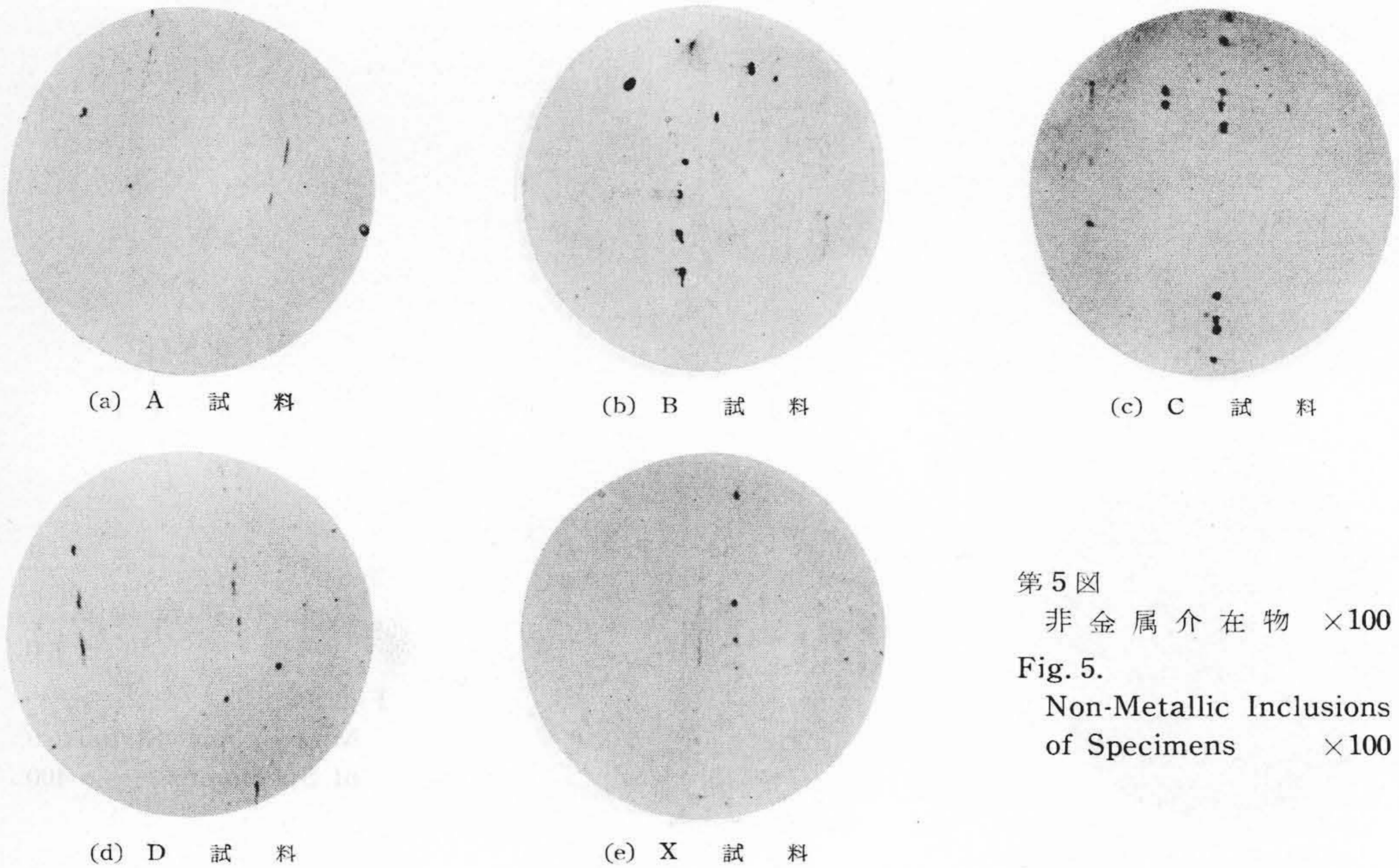


第4図 A 試料の遊離フェライト  
(a) (b) (c) 焼入焼戻 (d) 焼入のみ

Fig. 4. Free Ferrite of Specimen A  
(a) (b) (c) Quenched and Tempered  
(d) as Quenched

すると第3図(a)のように正常なソルバイト組織を示すもの、第4図(b)のようにフェライトが析出し、その周辺に比較的大きな炭化物粒子がつながって析出しているものおよび第4図(c)のようにフェライトが析出しその内部に析出物が認められるものの3種になる。焼戻状態ではフェライトは第4図(b), (c)のように2様にあられるが、焼入のみではいずれも第4図(d)のようにフ

エライト内に析出が起らず、フェライトは加工方向に層状にならんでいる。フェライトは比較的微量で加工方向に直角な面を鏡したのでは見出し難いので、加工方向に平行な面を鏡する必要がある。第4図(b)のようなフェライトを $\alpha$ 、第4図(c)のようなフェライトを $\alpha'$ として区別した。また第5図(次頁参照)は各試料の代表的な介在物の写真を示す。



第 5 図  
非 金 属 介 在 物 ×100  
Fig. 5.  
Non-Metallic Inclusions  
of Specimens ×100

〔III〕 実 験

第 6 図は各種試験に用いられた試験片の寸法を示す。

(1) 引張試験

20t アムスラー型試験機を用い、常温、300°C、350°C、400°C、450°C および 500°C の各温度で 2~3 本試験を行い平均値を求めた。

(2) 衝撃試験

30 kgm シヤルピー衝撃試験機により、常温、300°C、350°C、400°C、450°C および 500°C の各温度で 3~4 箇試験を行い平均値を求めた。

(3) 松村式繰返打撃試験

常温において打撃エネルギー対破断までの打撃回数曲線が求められた。

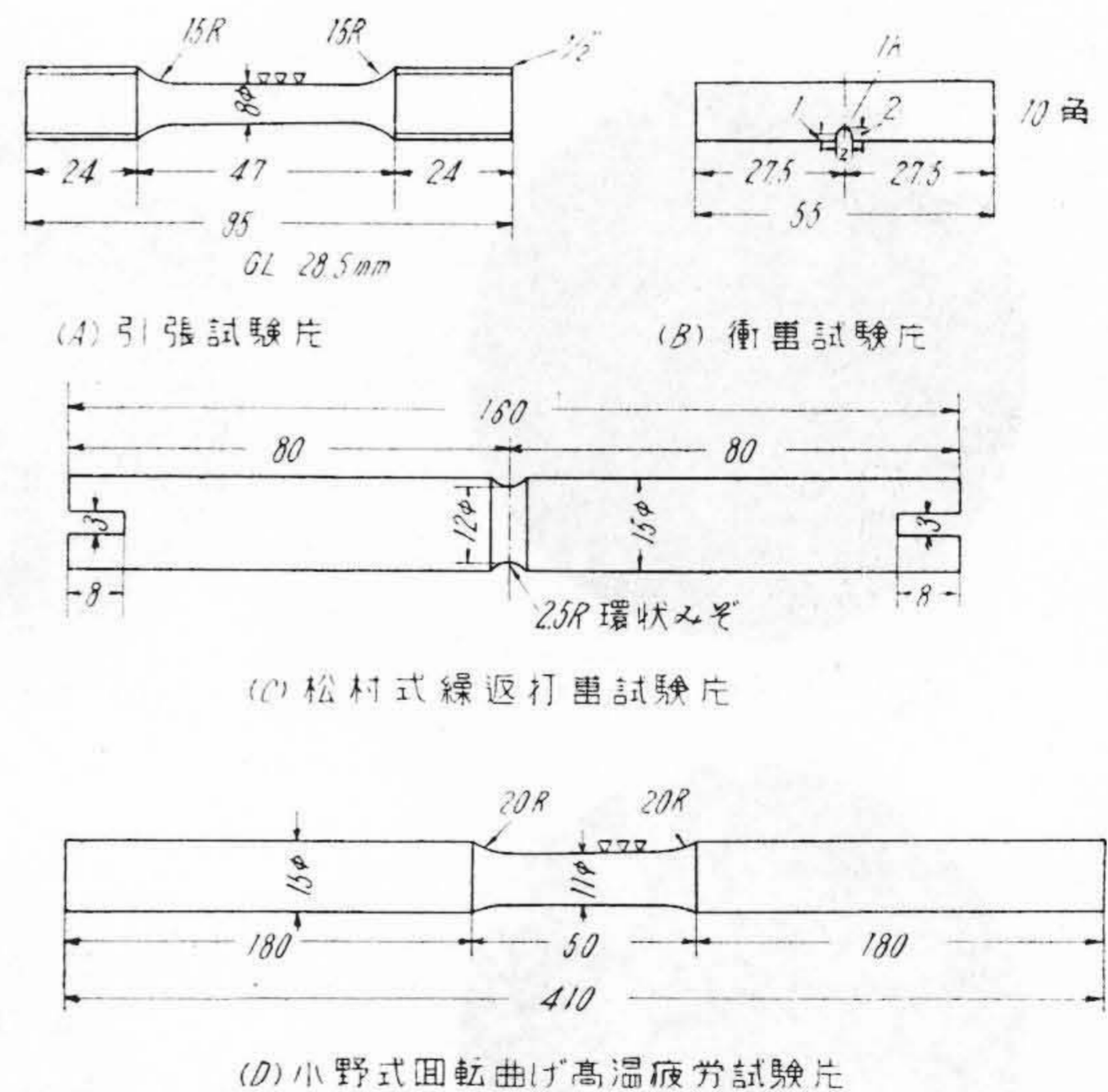
(4) 疲労試験

(A) 高温疲労試験

スパンの長い特型小野式回転曲げ疲労試験機により行われ、試験温度は常温、300°C、400°C および 500°C である。第 7 図に示されるように試験片は中央の管状電気炉により加熱された。炉温の調節には自動電圧調整器と熱電式自動温度調節計とが使用され、試験中の炉温の変化は ±2°C 以下である。

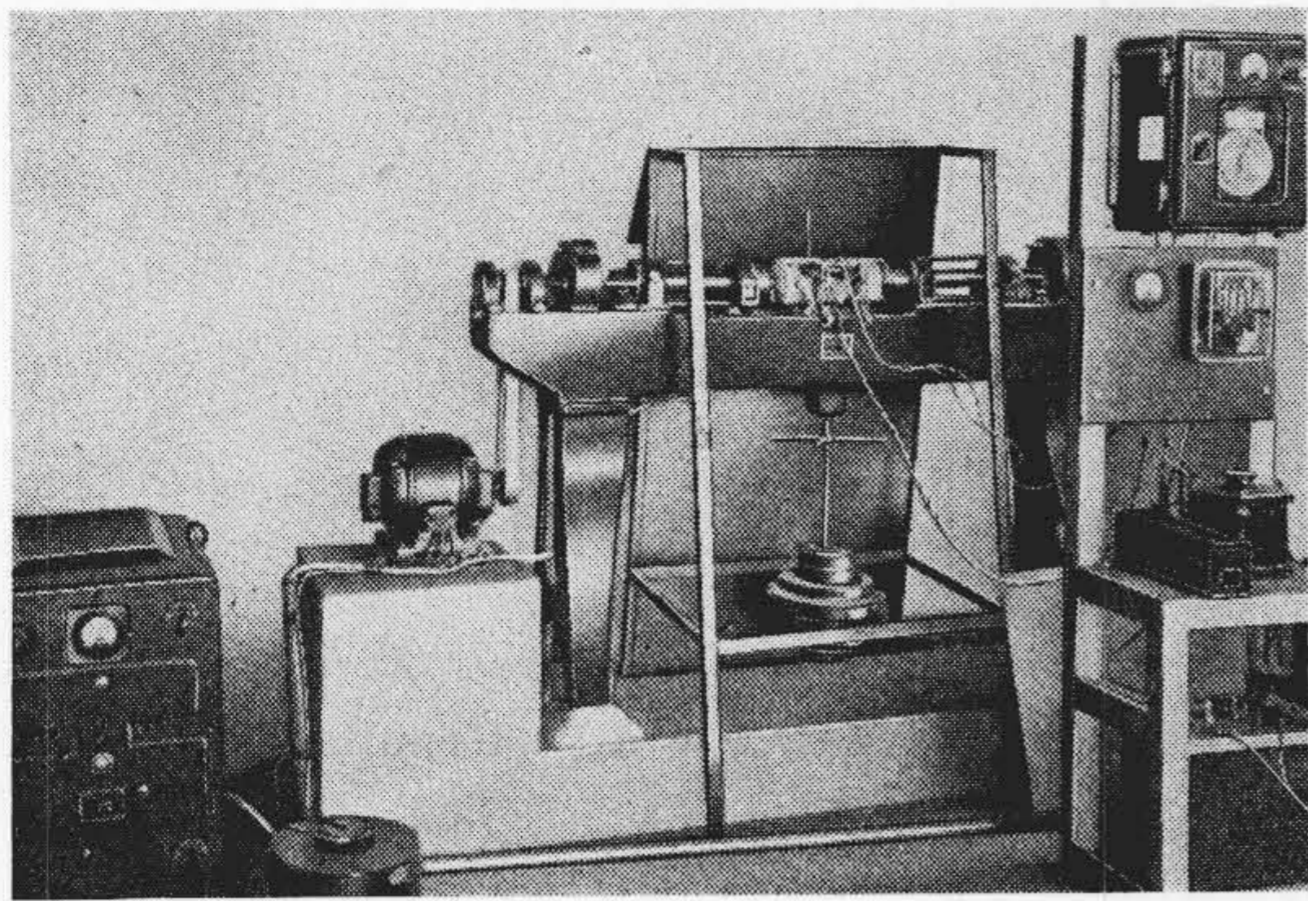
(B) 90°C 水蒸気噴流による腐蝕疲労試験

介在物の多少によつて 5 等級に分けられた X 試験片につき、疲労試験機に取付けられた試験片に水蒸気を吹きつける方法で腐蝕疲労試験が行われた。すなわち第 8 図に示されるようにフラスコにアスベストで保温されたガラ

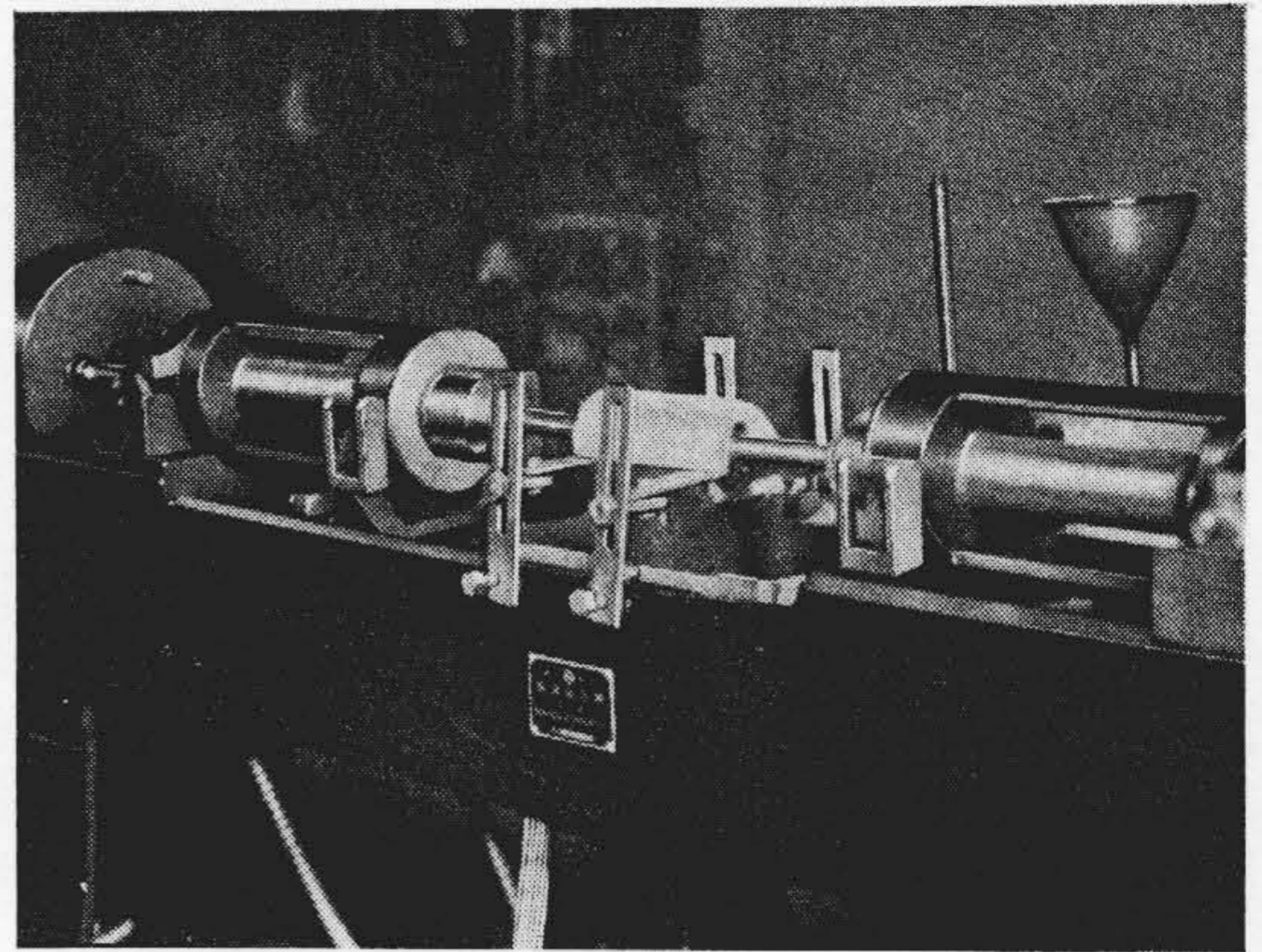


第 6 図 試 験 片 の 寸 法  
Fig. 6. Dimensions of Test Pieces for Tensile Test (A), Impact Test (B), Repeating Impact Test (C), Rotating Bending Fatigue Test at High Temperature (D)

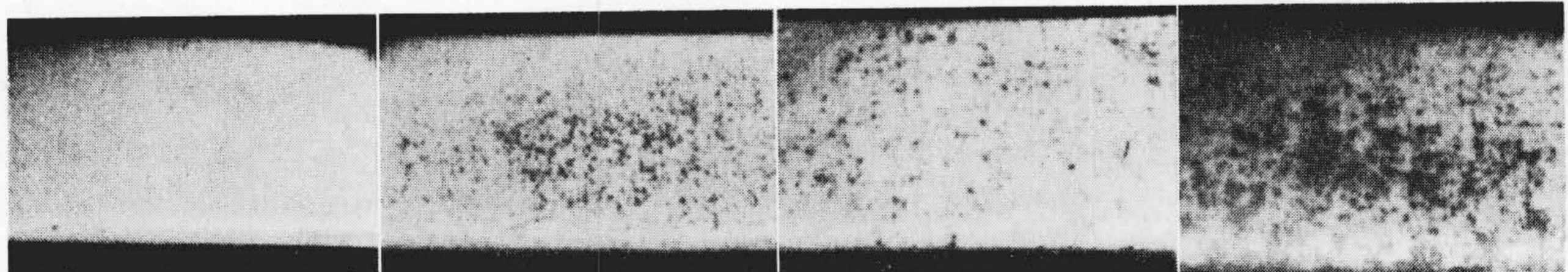
ス製ノズルをつけ、試験片中央直下で水蒸気が噴出するようにし、保温と蒸気の散逸防止のため不銹鋼製カバーで試験片上部を覆いさらにアスベストで保温された。フラスコは電熱器により常に一定電力で加熱されるようにした。この場合試験片に当る附近の蒸気温度は 90~93°C である。また水は工場の水道水が用いられた。



第7図 高温疲労試験装置  
Fig. 7. Apparatus for Fatigue Test at High Temperature



第8図 90°C 水蒸気噴流による腐蝕疲労試験装置  
Fig. 8. Apparatus for Corrosion Fatigue Test by 90°C Steam Jet



A 級                      B 下 級                      C 級                      D 級

第9図 赤血塩試験の一例  
Fig. 9. Example of Test by Potassium Ferricyanide

表面の粗さが疲労試験結果に著しい影響を与えるので、試験片はすべてR部および中央平行部はエメリー05まで研磨された。試験片切削後すべて試験片は後述の赤血塩試験法で介在物の多少が判定された。常温の疲労試験では応力繰返数  $10^6 \sim 10^7$  で  $S-N$  線図に水平部分があるが、高温疲労試験においてはこの水平部分があることがあられないため、繰返数が  $10^8$  程度まで試験が行われた例<sup>(12)</sup> が報告されており、また腐蝕疲労においても同様の傾向があり、また  $S-N$  線図の傾斜がいつそう急であること<sup>(13)</sup> はよく知られている。よつていずれも繰返数  $10^8$  程度まで実験されることが望ましいが、時間の関係上一応  $10^7$  をもつて疲れ限度を求めた。これでも材料の比較は十分できるものと考えられる。

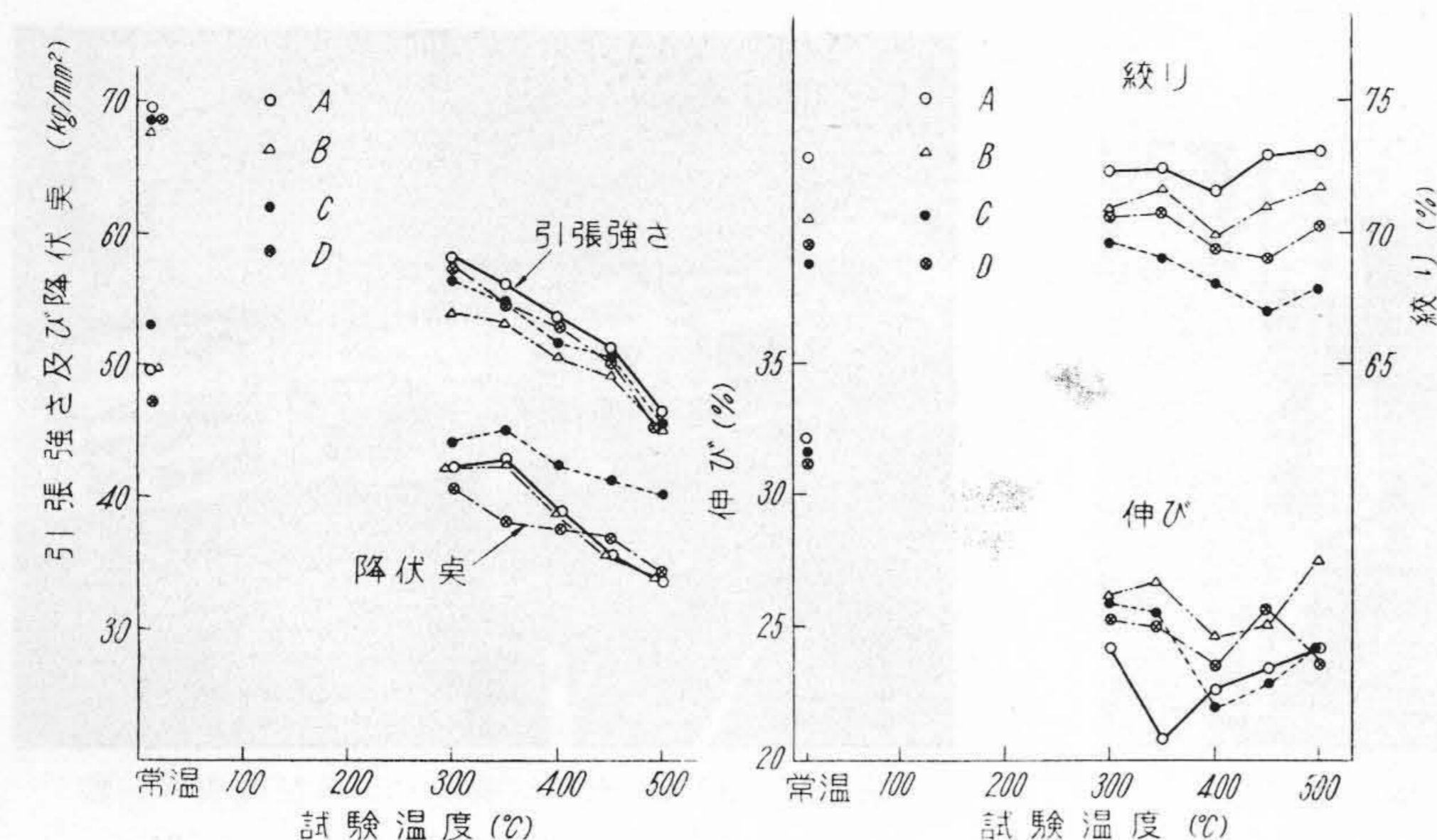
#### (C) 赤血塩試験による介在物等級の判定<sup>(14)</sup> およびその結果

非金属介在物の分布が一様ではないので、同一鋼塊から採取されたものであつても、箇々の試験片の介在物量は異なり、学振法による清浄度は同一鋼塊に属する試験片全体について一つの目安を示すに過ぎず、箇々の試験片について介在物の多少を判定する必要があると考えられる。特に疲労試験においては試験片の表面にあらわれ

た介在物の量および分布が影響をおよぼすと考えられるので、次に述べる方法<sup>(14)</sup> によつて箇々に試験片表面の介在物を検出した。

試験片の表面を研磨、脱油脂および水洗した後、稀薄HCl水溶液に暫時浸漬して、次に水洗し、稀薄赤血塩水溶液に短時間浸漬し、引き上げてから空气中で自然乾燥すると、疵および非金属介在物が存在するところはいわゆるタンブル青を生じて、介在物の存在が誇張され肉眼で認められるようになる。すなわち最初HClが作用し $FeCl_2$ が生成する。水洗によつて表面は洗われるが、介在物あるいは疵の部分の $FeCl_2$ は除去されにくいから、次に赤血塩と反応してこの部分にタンブル青を生ずるのである。生じたタンブル青の斑点はおおむね表面に存在する介在物の分布を示す。これによつて斑点の少ないものからA, B, C およびDの等級に分類した。第9図は赤血塩試験を行つた一例を示す。

赤血塩試験の結果は、試料A, B, C およびDの試験片はそれぞれ、A級, A下~B級, C級およびD級と判定されたものがそれぞれの試験片数の2/3~3/4を占め、おおむね清浄度が悪くなるにしたがい、赤血塩試験による等級も低下することがわかつた。X試料の試験片



第10図 引張試験結果  
Fig.10. Results of Tensile Test

は A 級 9 本, B 級 14 本, C 上級 10 本, C 級 16 本および D 級 12 本と相当な範囲に広がった結果を示し, たまたま同一溶解番号の材料で介在物量のみ異なる試験片が得られるわけで, 各級毎に疲労試験を行つた。以後各等級に分類された X 試料は  $X_A$ ,  $X_B$ ,  $X_C$  上,  $X_C$  および  $X_D$  と呼ばれる。

(5) フェライトの影響

一般に強度に対しては組織が均一であることが望ましいが, A 試料にあらわれた程度の微量のフェライトが強度に影響するか否かを確かめるため, A 試料の引張および衝撃試験片を試験終了後, 全数検鏡してフェライトの有無と試験値との関係を調べ, また疲労試験について検鏡後  $\alpha$  なし,  $\alpha$  のあるもの,  $\alpha'$  のあるものの 3 種にわけて試験が行われ, 必要に応じてさらに試験後破断部附近の組織が調べられた。

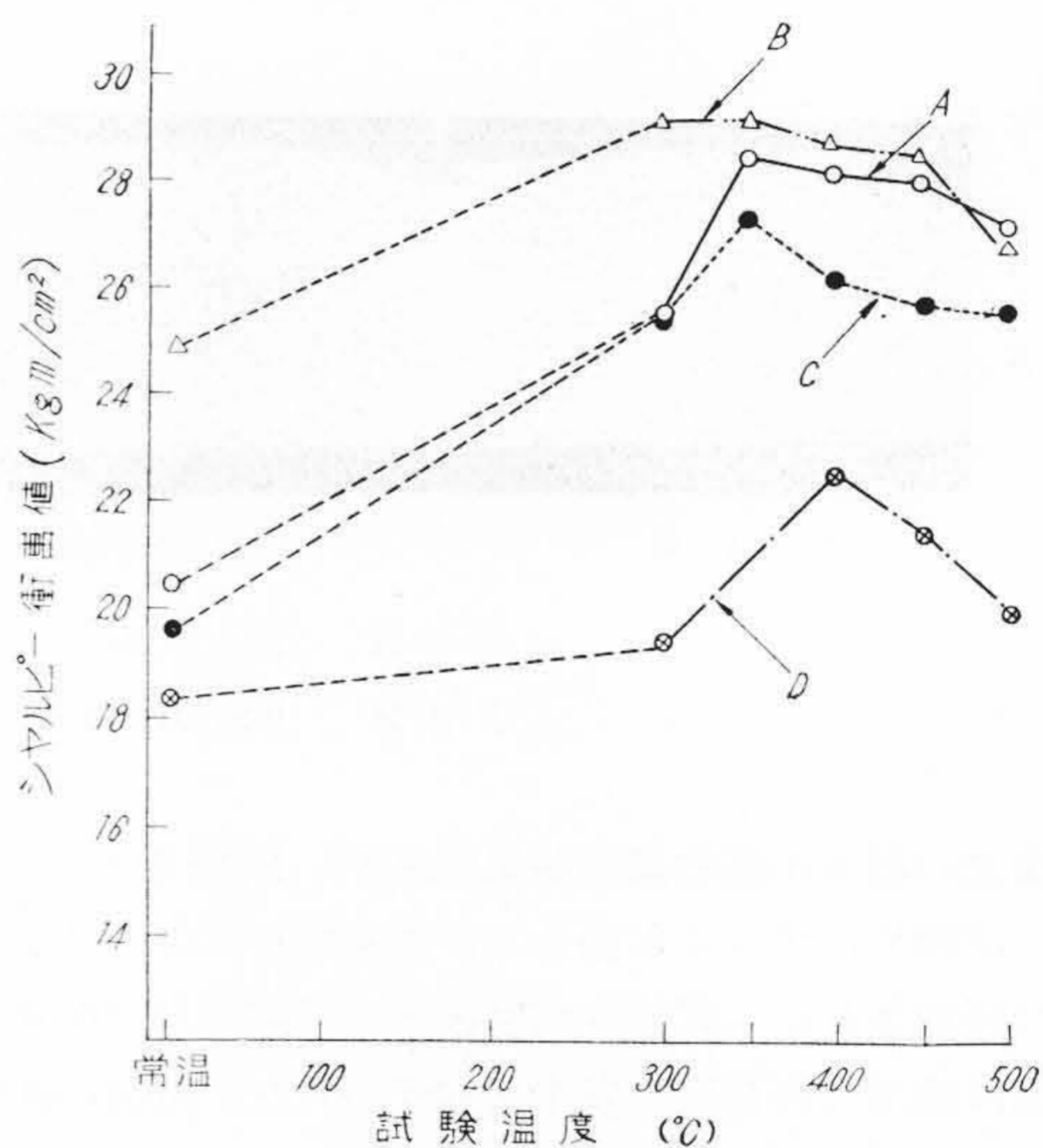
[IV] 実 験 結 果

(1) 引張試験

第10図試料 A, B, C および D の試験結果を示す。X 試料については第 2 表に示す。試験温度の上昇と共に, 引張強さおよび降伏点は低下し, 伸びは減少するが 400°C 附近で極小を示し, 450°C 以上で増加する。又絞りは 300°C で常温よりやや大きいが, 400~450°C で極小を示すようである。試料 A, B, C および D の 4 者を比較すると等しい硬さに調質されたにもかかわらず, 引張強さは A 試料が若干高く, B 試料が若干低いが, 介在物量との関係は認められない。また降伏点, 伸びおよび絞りについても同様介在物量との関係は認めにくい。

(2) 衝撃試験

第11図は試験結果を示す。衝撃値は温度の上昇と共に増加し, 350°C 附近で極大を示し, 以後減少する。試料 B, A, C, D の順に衝撃値は低下し, 特に高温において



第11図 衝撃試験結果  
Fig.11. Results of Impact Test

第 2 表 X 試料の引張試験結果  
Table 2. Results of Tensile-Test on X-Specimen

試料温度 (°C)	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)
常 温	66.5	47.0	31.1	71.4
100	63.1	47.3	29.5	72.3
500	44.3	37.3	23.5	71.3

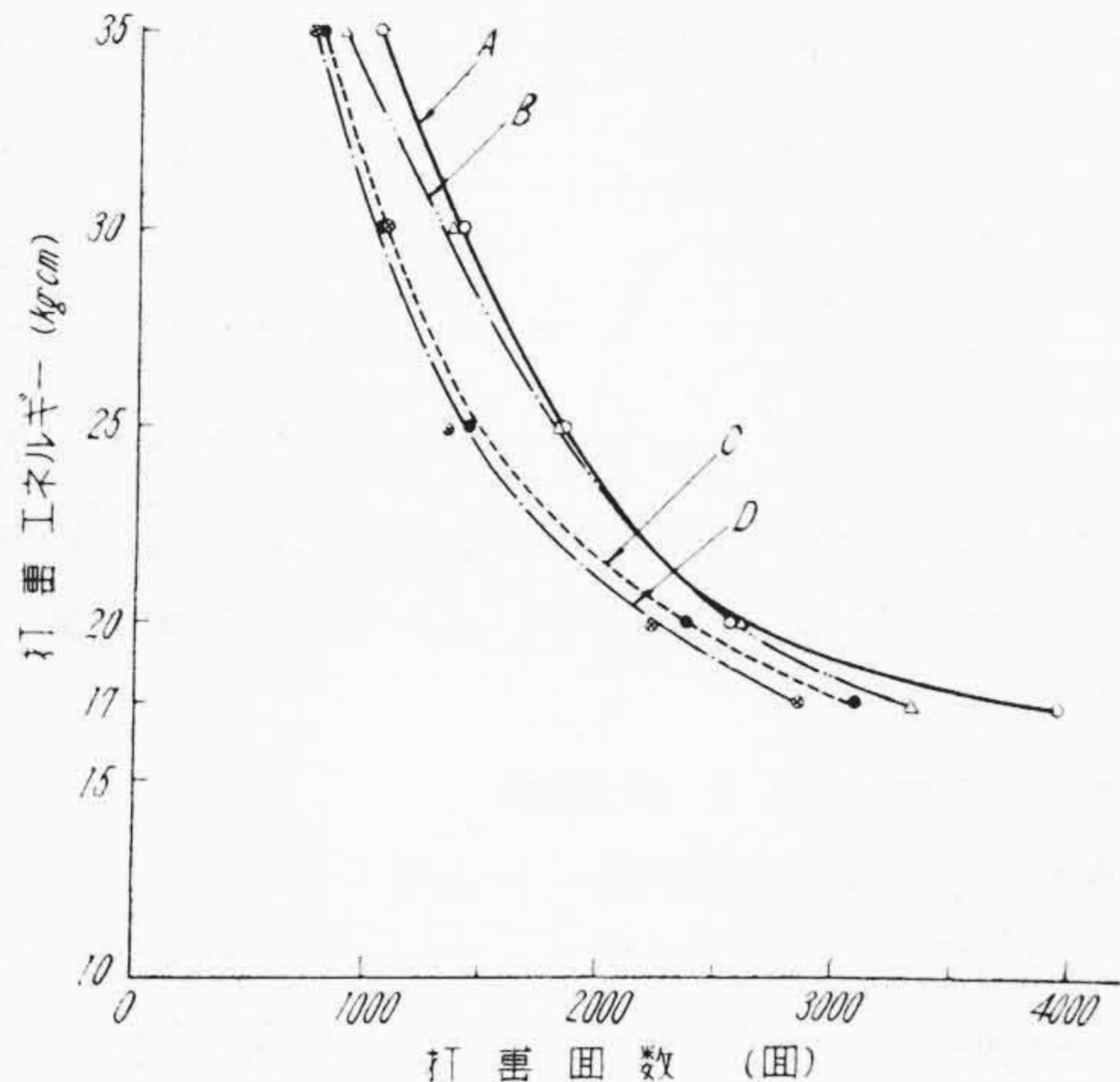
はその差が著しい。

(3) 松村式繰返打撃試験

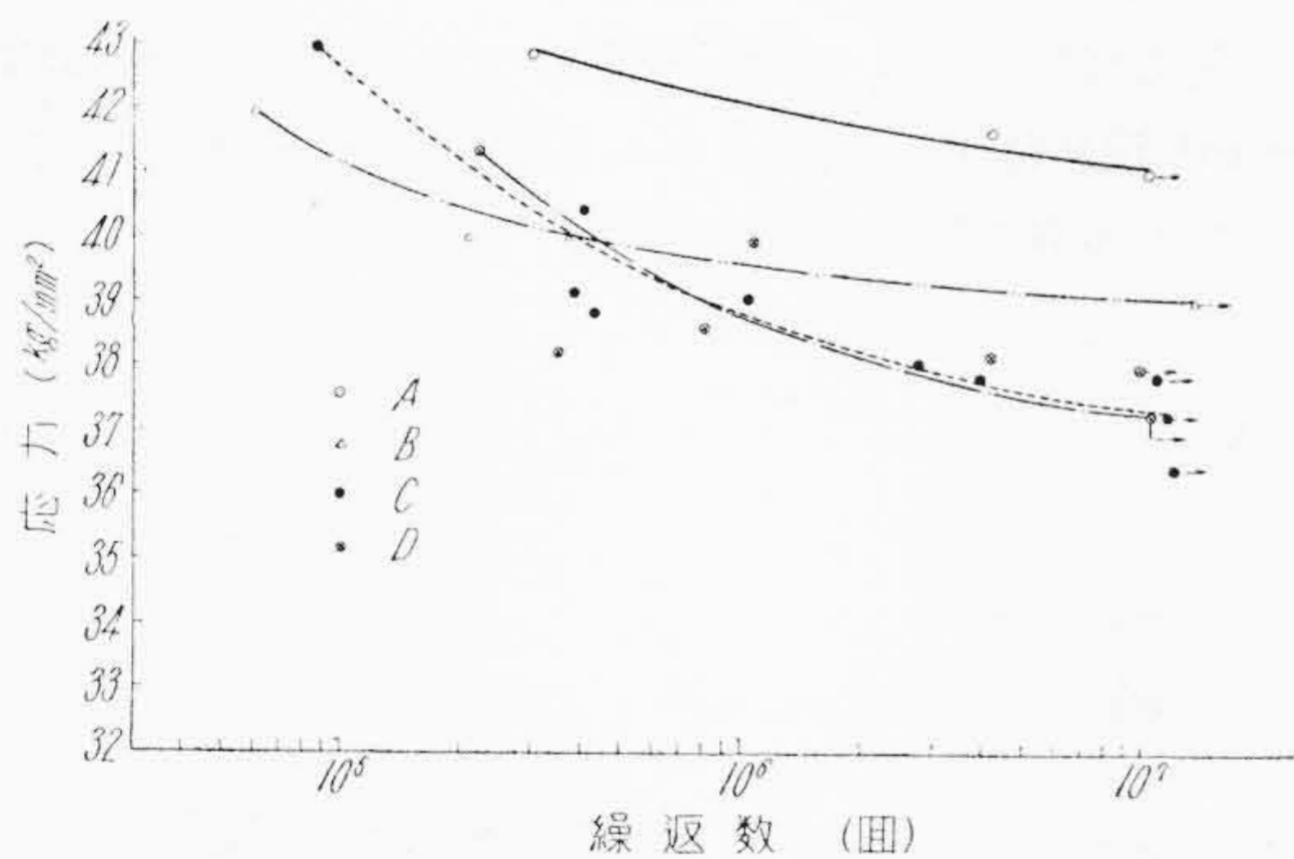
第12図は試片結果を示す。僅かずつの差であるが試料 A が最も強く B, C, D の順に強さは低下し, 試料 A と D とでは相当の開きがある。

(4) 疲労試験

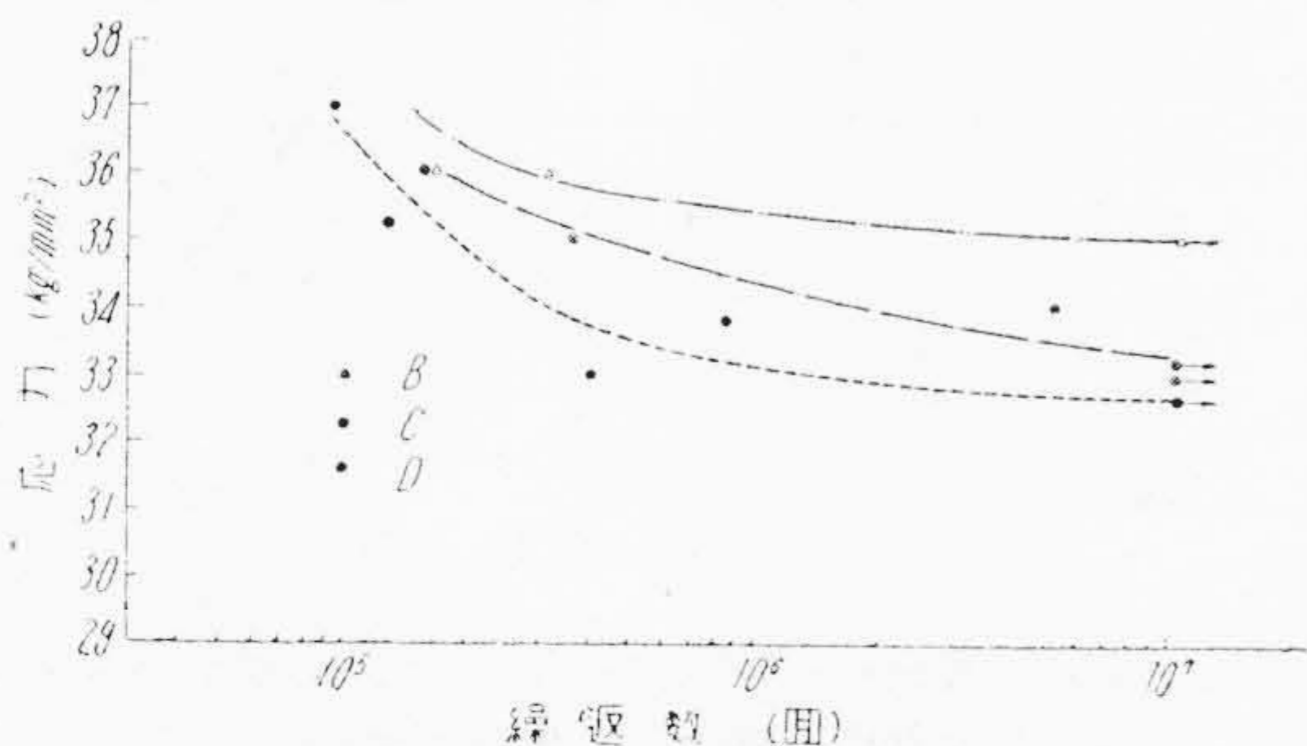
第13図～第17図は高温の疲労試験結果を示す。第3表および第18図(次頁参照)はこれから得られた試料 A, B, C および D の疲れ限度および耐久比を示す。温度の上昇



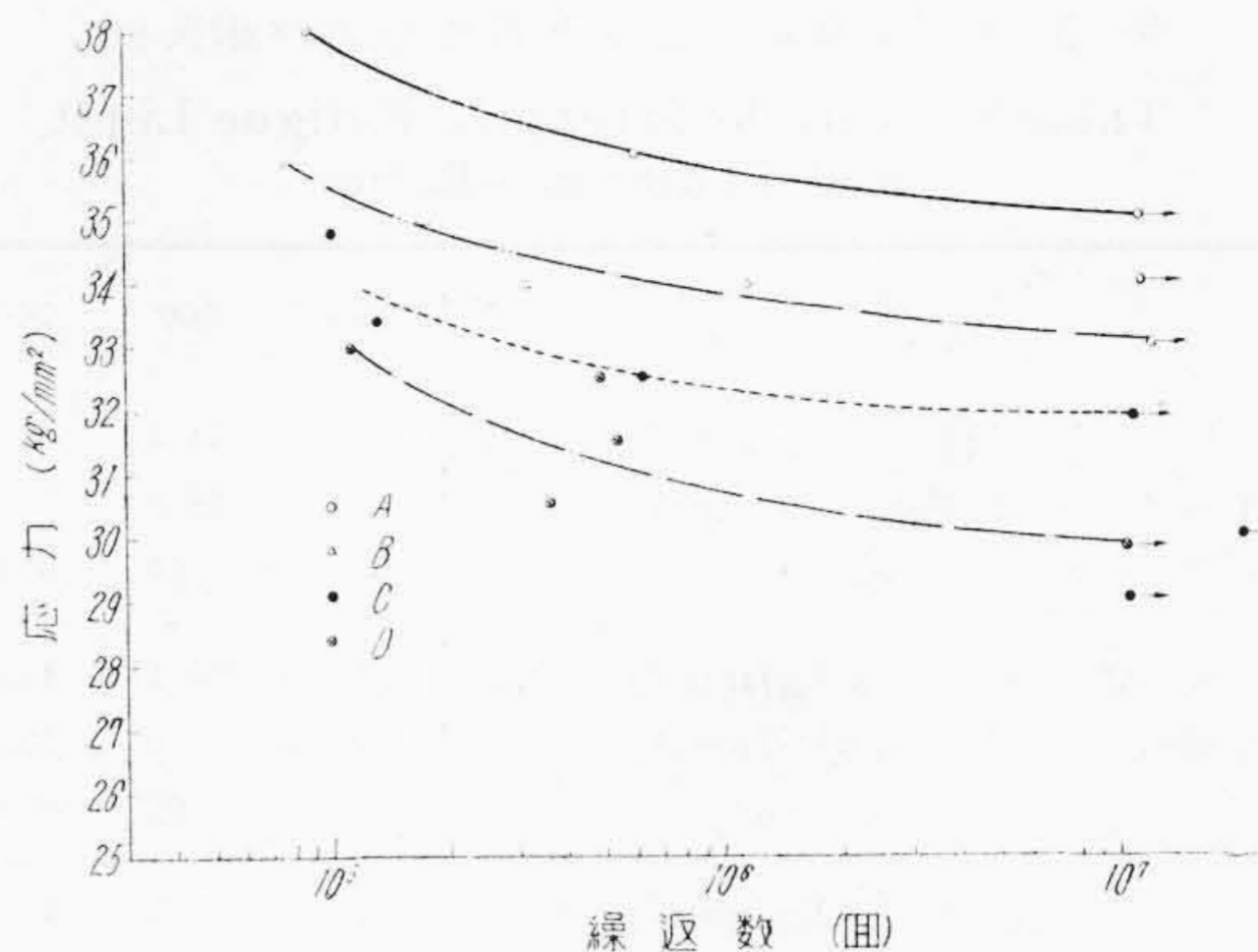
第12図 松村式繰返打撃試験結果  
Fig. 12. Results of Repeating Impact Test (by Matsumura's Type Machine)



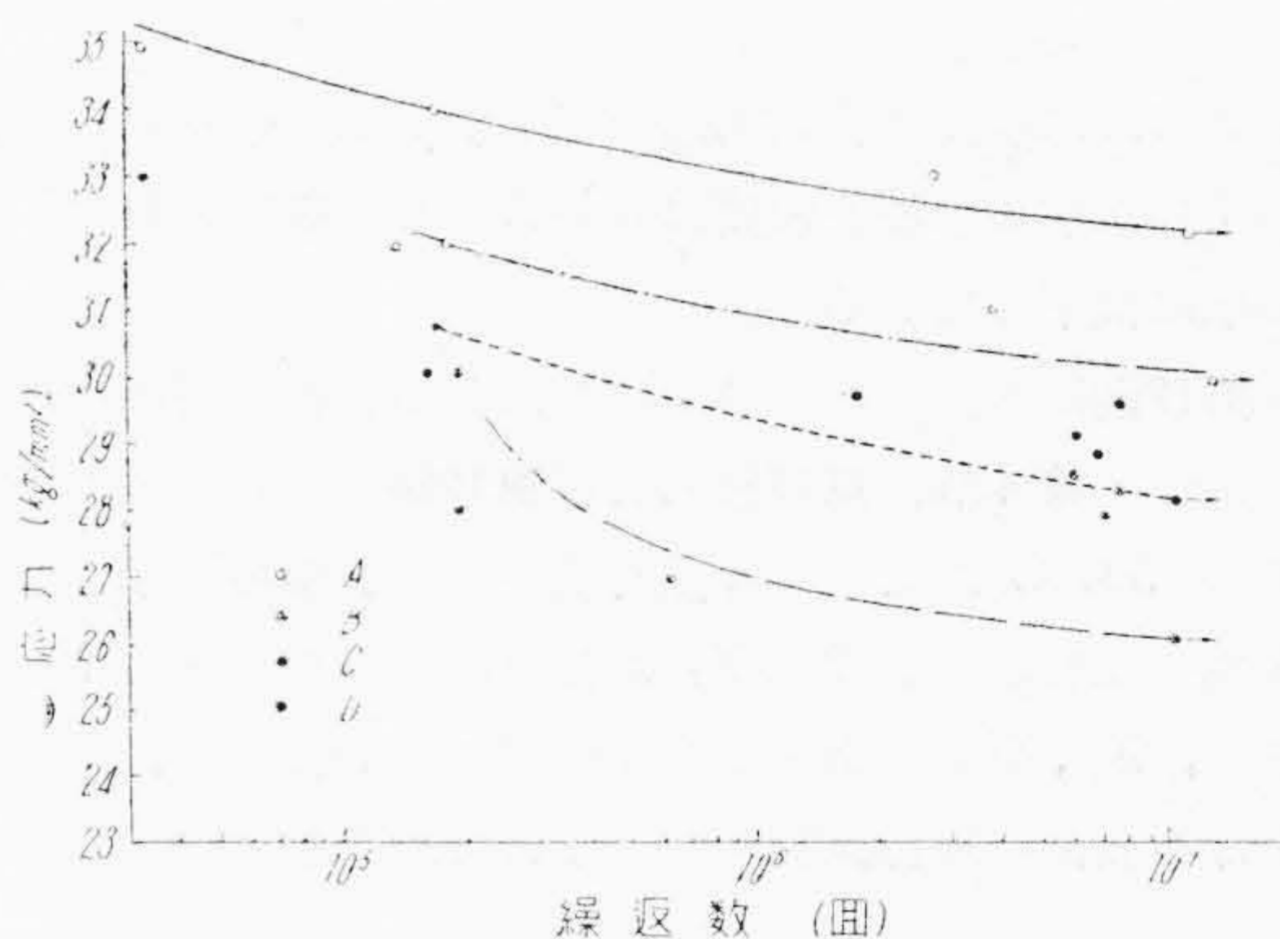
第13図 13Cr 鋼の S-N 線図 常温  
Fig. 13. S-N Diagrams for 13Cr Steel at Room-Temperature



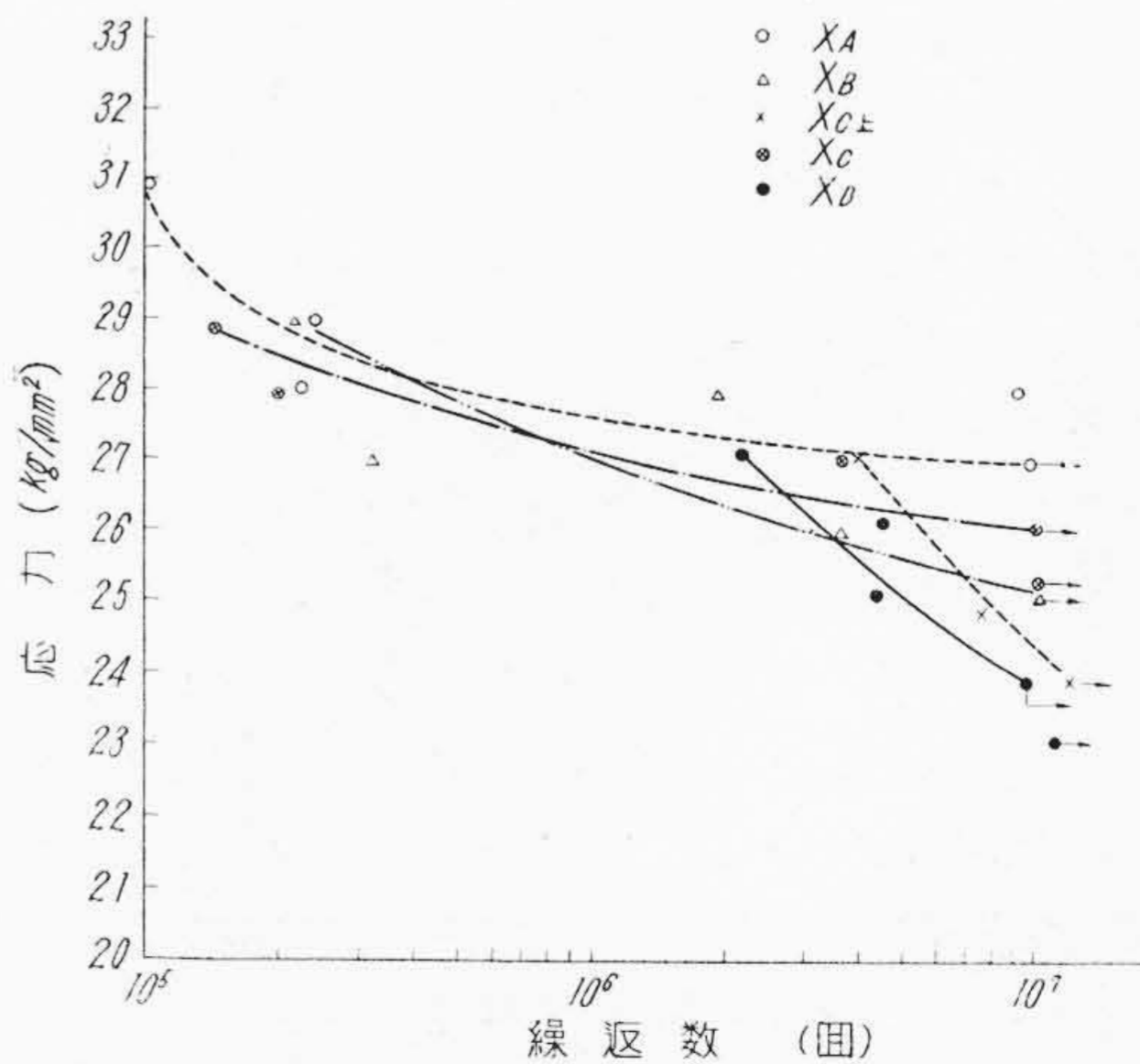
第14図 13Cr 鋼の S-N 線図 300°C  
Fig. 14. S-N Diagrams for 13Cr Steel at 300°C



第15図 13Cr 鋼の S-N 線図 400°C  
Fig. 15. S-N Diagrams for 13Cr Steel at 400°C



第16図 13Cr 鋼の S-N 線図 500°C  
Fig. 16. S-N Diagrams for 13Cr Steel at 500°C



第17図 X試料の疲れ強さにおよぼす介在物の影響 500°C  
Fig. 17. Effect of Inclusions on Fatigue Strength of Specimen X (at 500°C)

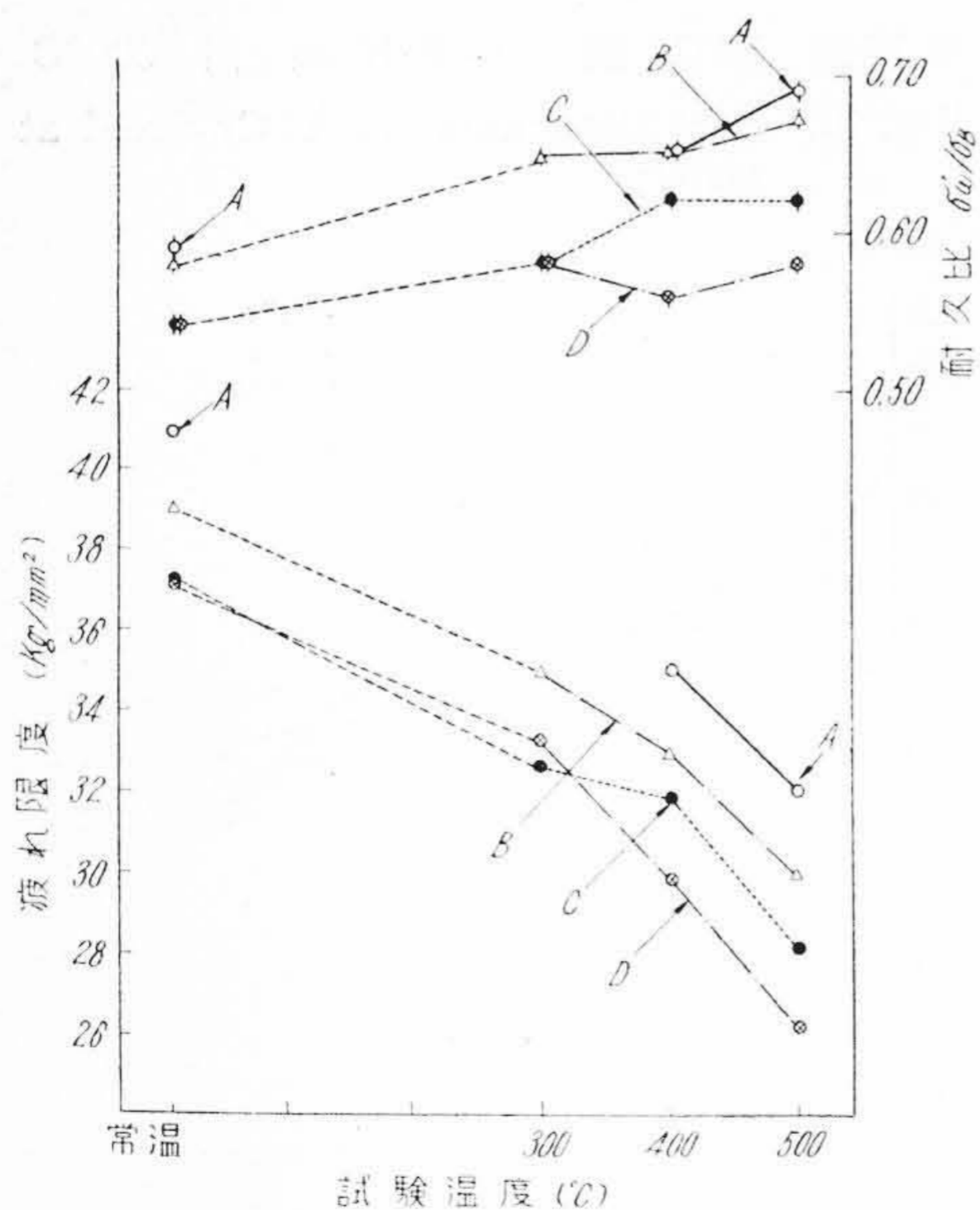
第 3 表 引張強さ、疲れ限度および耐久比

Table 3. Tensile Strength, Fatigue Limit and Endurance-Ratio

試 験 温 度 (°C)		常 温	300	400	500
A 試料	引張強さ $\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	69.6	—	53.3	46.3
	疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	40.9	—	35.0	32.0
	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$	0.59	—	0.65	0.69
B 試料	引張強さ $\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	67.8	53.7	50.4	44.6
	疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	39.0	35.7	33.0	30.0
	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$	0.58	0.65	0.65	0.67
C 試料	引張強さ $\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	68.7	56.3	51.5	45.3
	疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	37.2	32.6	31.8	28.1
	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$	0.54	0.58	0.62	0.62
D 試料	引張強さ $\sigma_B$ (kg/mm <sup>2</sup> )	68.5	57.4	53.2	44.8
	疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	37.2	33.2	29.8	26.2
	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$	0.54	0.58	0.56	0.58

と共に疲れ限度  $\sigma_w'$  は減少するが耐久比  $\sigma_w'/\sigma_B$  はかえつて増加する。疲れ限度は試料Aが最も高く、B, C, Dの順に低下している。

第19図はX試料の水蒸気噴流による腐蝕疲労試験結果を示す。第4表は第17図および第19図から得られたX試料の500°Cおよび水蒸気噴流中の疲れ限度を示す。介在物が比較的少ないX<sub>A</sub>, X<sub>B</sub>が強く、介在物の多いX<sub>D</sub>が弱く、X<sub>A</sub>, X<sub>B</sub>とX<sub>D</sub>の差は約20%にもおよんでいる。なお高温の疲労試験においては破断が特定の位置で生



第 18 図 疲れ限度および耐久比におよぼす温度の影響

Fig. 18. Effect of Temperature on Fatigue Limit and Endurance-ratio

第 4 表 X 試料の疲れ限度 (kg/mm<sup>2</sup>)

Table 4. Fatigue-Limit of X Specimen Containing Various Quantities of Inclusions (kg/mm<sup>2</sup>)

	X <sub>A</sub>	X <sub>B</sub>	X <sub>C</sub> 上	X <sub>C</sub>	X <sub>D</sub>
赤血塩試験による等級	A下級	B級	C上級	C級	D級
500°Cにおける疲れ限度	28	26	25	27	25
90°C 水蒸気噴流中の疲れ限度	28	29	25	26	22

ずるといようなことはなく中央平行部の色々な位置から破断するが、水蒸気による腐蝕疲労試験では、破断は大部分水蒸気噴流を受ける中心点から3~5mm離れた位置で起る。

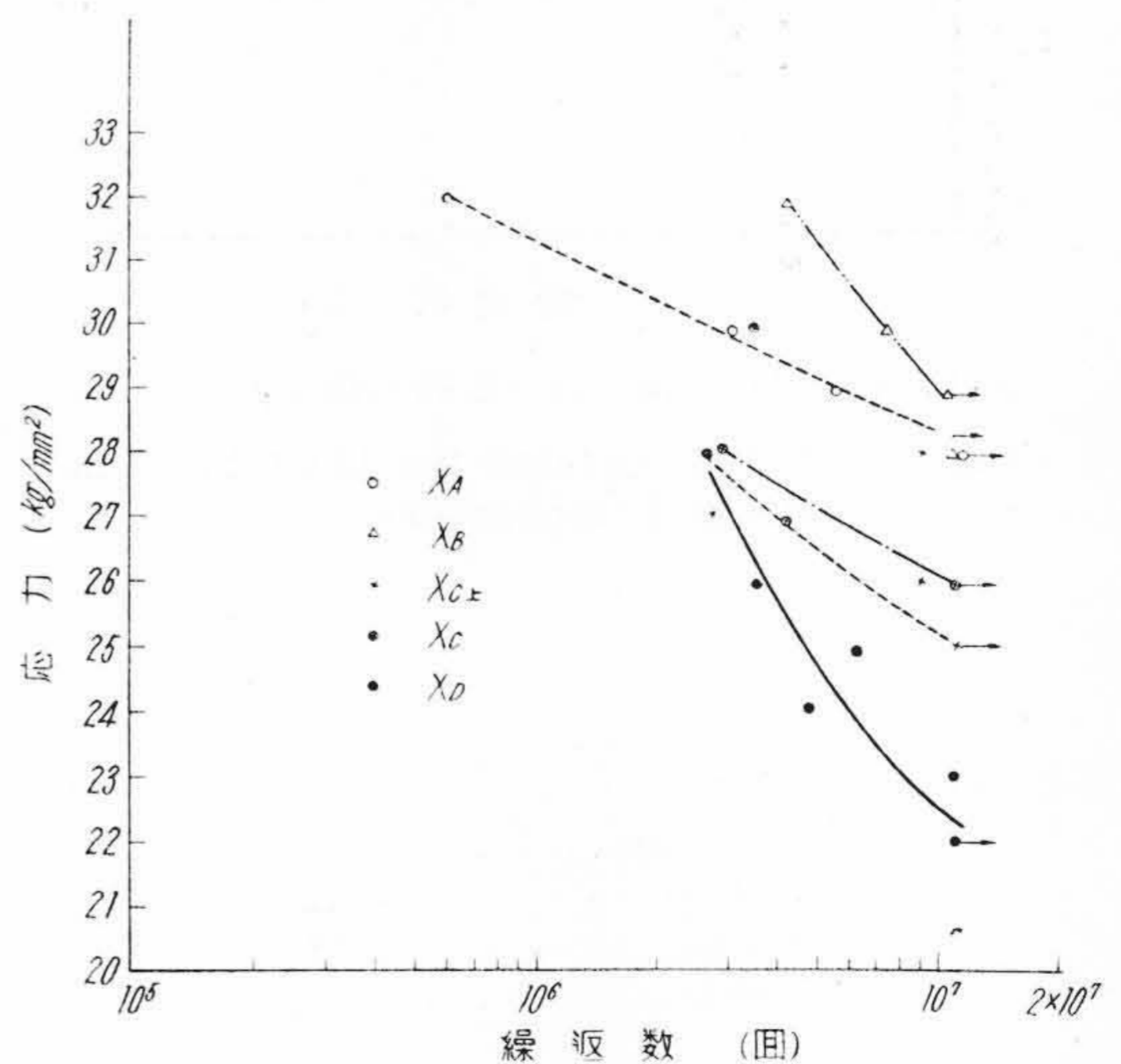
(5) フェライトの影響

(A) 引張強さと衝撃値におよぼす影響

箇々の試験片を検鏡してフェライトの有無を調べた結果と試験値との関係は第20図および第21図の通りで、フェライトの有無によつて試験値に特別な偏りはない。

(B) 疲れ強さにおよぼす影響

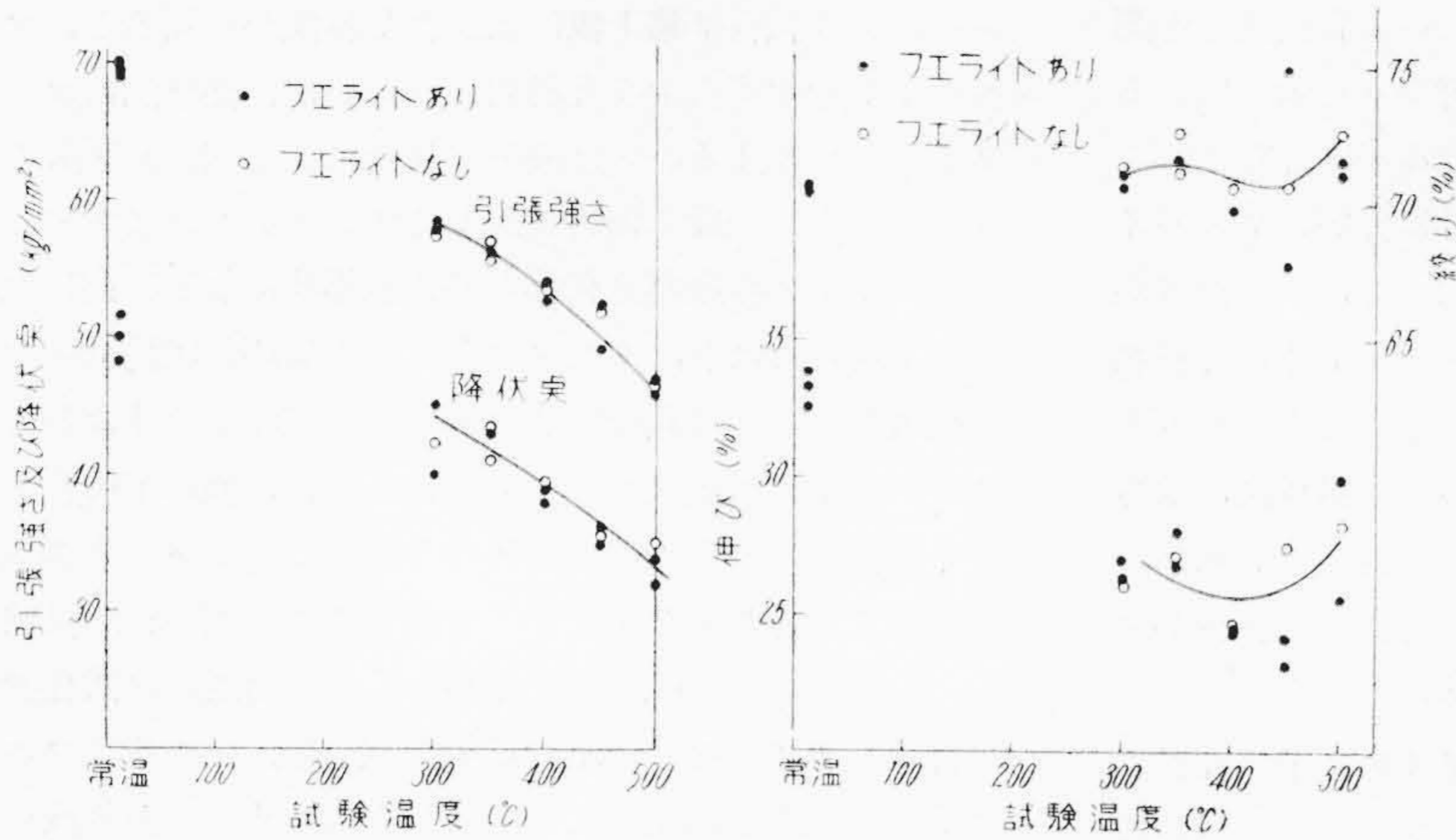
第22図は試験結果を示す。第5表はこれから得られた疲れ限度および耐久比を示す。これによるとフェライトの現われているものは正常組織のものに比べ約2kg/mm<sup>2</sup> 疲れ限度が低い。フェライトを $\alpha$ と $\alpha'$ とに区別したが両者の間に大差がない。



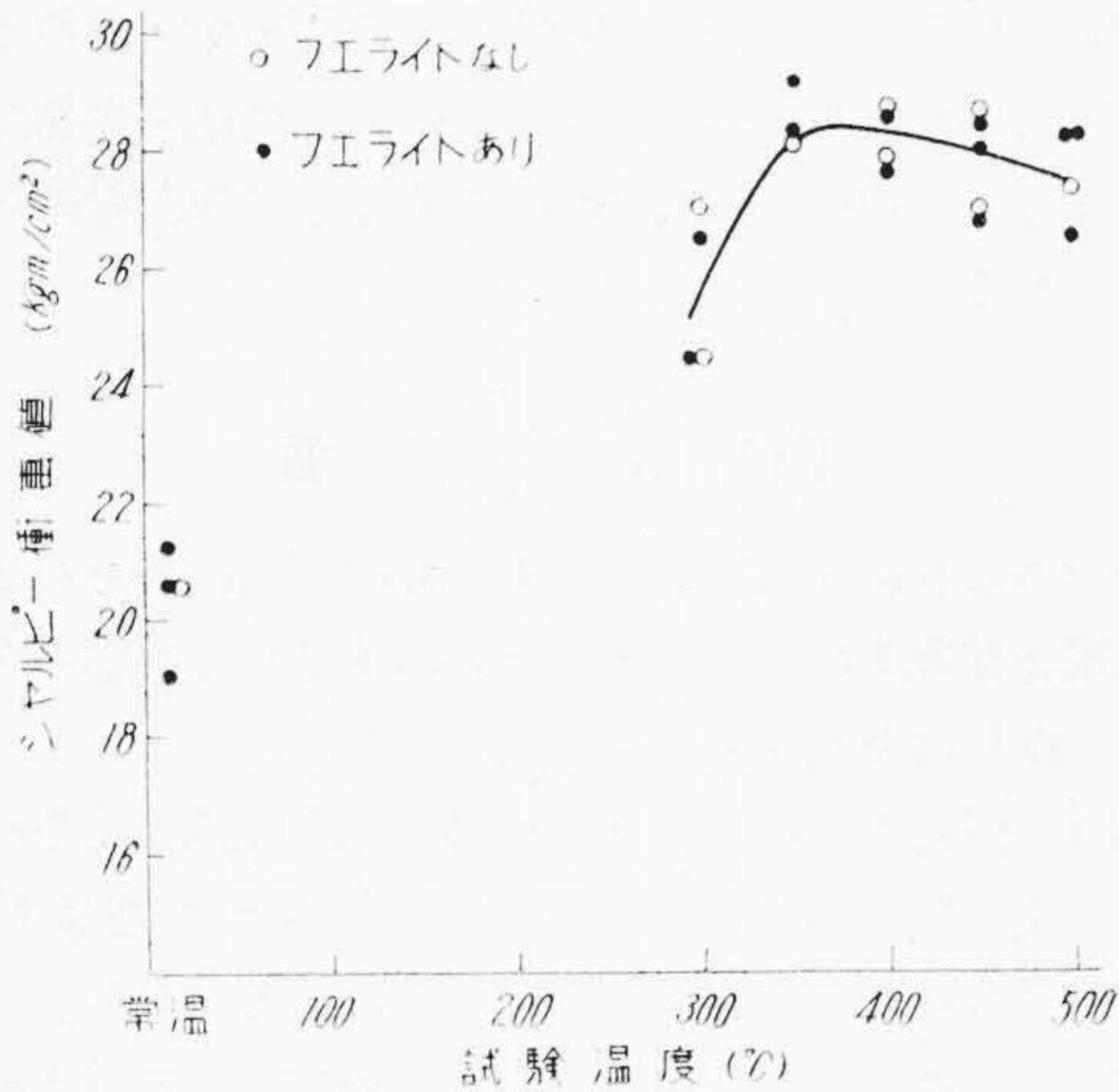
第 19 図 X 試料の腐蝕疲れ強さにおよぼす介在物の影響 (90°C 水蒸気噴流中)

Fig. 19. Effect of Inclusions on Corrosion Fatigue Strength of Specimen X (in 90C Steam Jet)





第20図 引張試験におよぼすフェライトの影響 試料A  
Fig. 20. Effect of Free Ferrite on the Results of Tensile Test (Specimen A)



第21図 衝撃値におよぼすフェライトの影響 (A試料)

Fig. 21. Effect of Free Ferrite on the Impact Value (Specimen A)

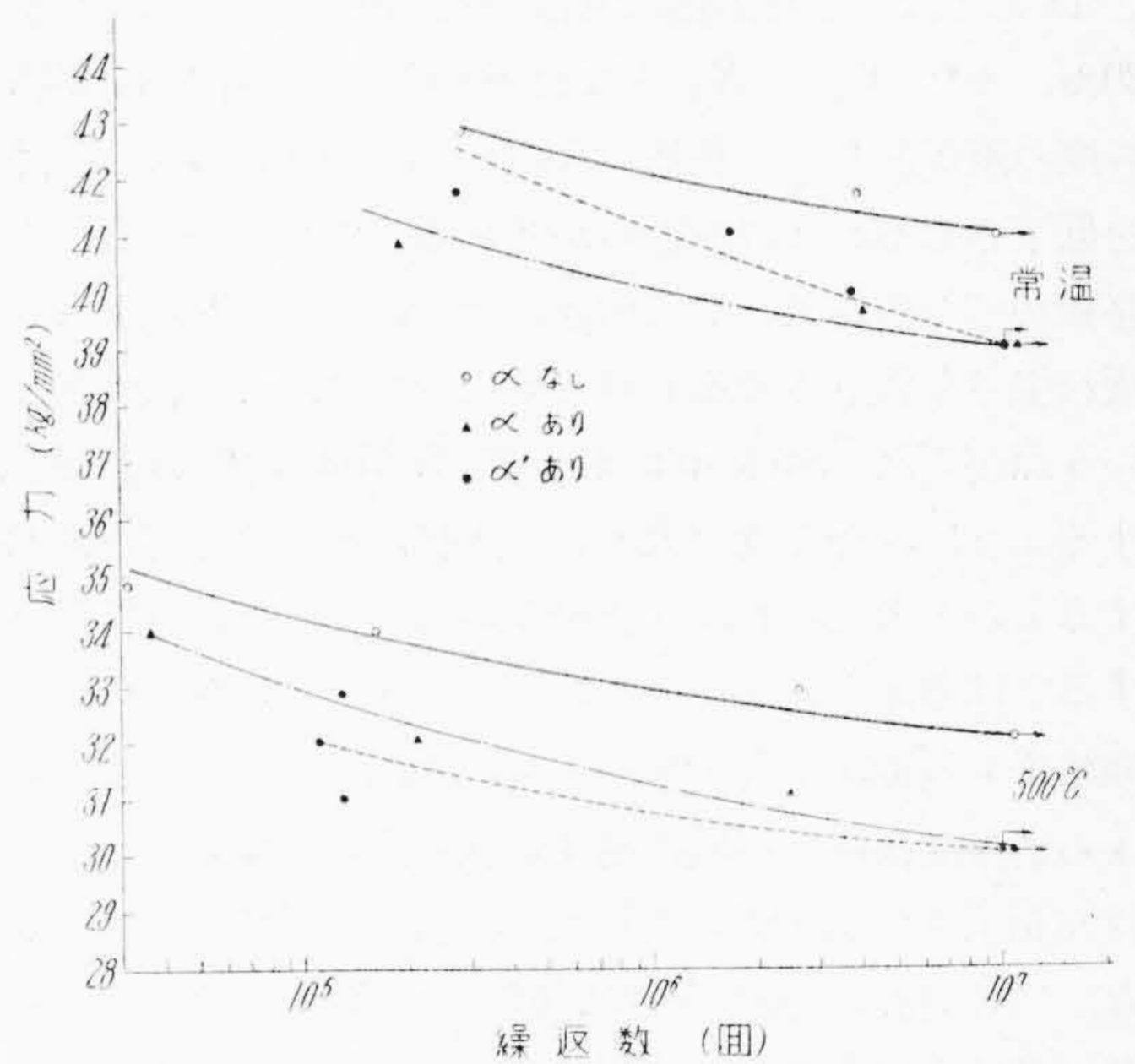
第5表 疲れ限度におよぼすフェライトの影響 (A試料)

Table 5. Effect of Ferrite on the Fatigue Limit (Specimen A)

試験温度 (°C)	引張強さ $\sigma_w$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\alpha$ なし		$\alpha$ あり		$\alpha'$ あり	
		疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$	疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$	疲れ限度 $\sigma_w'$ (kg/mm <sup>2</sup> )	耐久比 $\sigma_w'/\sigma_B$
		$\sigma_w'$	$\sigma_w'/\sigma_B$	$\sigma_w'$	$\sigma_w'/\sigma_B$	$\sigma_w'$	$\sigma_w'/\sigma_B$
常温	69.6	40.9	0.59	38.9	0.56	39.0	0.56
500	46.3	32.0	0.69	30.0	0.65	30.0	0.65

〔V〕 結果の検討

引張強さ  $\sigma_B$  および疲れ限度  $\sigma_w'$  は温度の上昇にしたがい低下するが、耐久比  $\sigma_w'/\sigma_B$  はかえって幾分増加して



第22図 13Cr鋼のS-N線図におよぼすフェライトの影響 (A試料)

Fig. 22. Effect of Free Ferrite on S-N Diagrams for 13Cr Steel (Specimen A)

いる。この傾向は高温疲労試験においてしばしば現われる一般的な現象で、多くの研究者の実験結果にも認められている<sup>(15)</sup>。疲労が内部歪の蓄積によるものであると考える<sup>(16)</sup>と、内部歪は温度の上昇により幾分開放されるから、疲労は恢復することになり、したがって高温においては耐久比が大きくなるものであろう。

引張強さは試料 A, B, C および D の間に若干差があるようであるが、統計的方法による有意差検定を行うと、試料 A と B の間には 1% の危険率で有意差が認められ、試料 A, C および D の間には有意差が認められない。したがって A と B との差は介在物以外の理由によるものであつて、非金属介在物の存在は引張強さにはほとんど影響しないものといえよう。しかしながら第11図に示されるように、衝撃値はおおむね介在物の少ないも

のが高く、殊に高温ではその差が著しい。C濃度にも関係があるので試験結果は介在物の影響のみを示しているとは考えられないが、特に高温における差は介在物によるものであろう。すなわち温度の上昇に伴い、ソルバイト地は靱性を増すが、介在物は比較的脆く、かつ温度が上昇しても靱性を増さないから、ソルバイト中の介在物がクラックの進展を助け衝撃抵抗を低下させるものと考えられる。松材式繰返打撃試験においては第12図に示されたように、あきらかに介在物の多い材料の方が弱い。これは上述の衝撃値に対すると同様、介在物の存在がクラックの発生およびその進展を助けるのであろう。

疲労試験においては第18図および第4表に示されたように、介在物の多い試料の方が疲れ限度は低く、試料AとDとでは、疲れ限度に常温で約10%、500°Cで約20%、また $X_A$ と $X_D$ とでは90°C水蒸気中で約20%程度の差があり、介在物の存在が13Cr鋼の疲れ強さを低下させることはあきらかである。すなわち介在物の存在が一つの切欠として働き、そこに応力が集中して、疲れ強さを低下させるものと解釈されるが、切欠作用という点からは、Stewart および Williams<sup>(8)</sup>氏が指摘するように、介在物の大きさ、形状、その分布等が影響するものと考えられ、介在物の影響がその量だけに関係するとは考えられない。したがってX試料についての実験結果からもあきらかなように、学振の鋼品位判定法による清浄度は同一鋼塊に属する試料全体について一つの目安を示すに過ぎず、これだけで判断を下すことはできない。故に特に苛酷な条件で使用される部品については、清浄度の良好な素材を使用すると共に、切削された箇々の部品についてなんらかの方法で介在物の検出を行い、その結果を考慮に入れて使用されることが望ましい。介在物の多い試料の水蒸気噴流中における疲れ限度は500°C空気中の疲れ限度よりも低く、かつS-N線図の傾斜は著しく急であるから、応力繰返数のさらに大きいところでは介在物の少ないものとの差は一層大きいと考えられる。一般の腐蝕においても介在物の多いものは腐蝕されやすく、したがって腐蝕疲労において介在物の影響がより大きくなるのは当然である。水蒸気中における13Cr鋼の疲れ強さについての Fuller<sup>(3)</sup>氏の実験によれば、水滴を含まない高温高圧水蒸気中の試験では疲れ限度の低下は著しくなく、空気中における水蒸気噴流による試験が最も苛酷で、疲れ限度は常温空気中の約55%程度に低下している。これは水滴と空気中の酸素との協同作用で腐蝕が促進されるからであり、高温の水蒸気のみ腐蝕作用はこれよりはるかに弱いのであろう。

13Cr鋼においてCr量が高いか、あるいはC量が低い場合に組成上フェライトを生ずることは良く知られて

いるが、A試料は第1表に示された組成から見ると、フェライトを生ずるような材料ではないが、部分的にフェライトが存在することは成分の偏析によるものであろう。Cr鋼は一般に偏析を起しやすいといわれており、フェライトが非金属介在物と共に繊維状に加工方向にならんで現われたり、またフェライトの周辺に炭化物の析出が著しいことは顕微鏡的な偏析を暗示する。すなわちフェライトの附近は非金属介在物と共に、他の不純物も多く存在すると考えられ、そのうちでPは $A_3$ 変態点を上昇させるためフェライトを生じやすくすると同時に、Cの溶解度を減少させるから、その附近には炭化物が析出しやすくなり、地のC量が減少し、いつそうフェライトの生成を助長したものと考えられる。この程度の微量のフェライトの存在は引張強さおよびシャルピー衝撃値にはあまり影響を与えないが、疲れ強さを低下させる傾向がある。これは組織の不均一な部分が一種の切欠として働くためと考えられ、材質の向上には非金属介在物と同じくこの種の偏析についても十分考慮と対策とが必要である。

## [VI] 結 言

以上のように13Cr鋼の高温における疲れ強さおよび非金属介在物が機械的強度におよぼす影響をあきらかにした。結果は要約すると次の通りである。

- (1) 温度の上昇と共に疲れ限度 $\sigma_w'$ は低下するが、引張強さ $\sigma_B$ との比 $\sigma_w'/\sigma_B$ はかえつて増加する。
- (2) 介在物の存在は引張強さには影響しない。
- (3) 介在物の存在はシャルピー衝撃値を低下させる傾向があり、殊に高温において著しい。
- (4) 介在物の存在は繰返打撃強さを低下させる。
- (5) 介在物の存在は疲れ限度を低下させ、試料AとDとでは常温で約10%、500°Cで約20%の差がある。
- (6) 組織中に往々現われる遊離フェライトは引張強さ、衝撃値にはあまり影響しないが、疲れ限度を低下させる傾向があり、微量フェライトの有無は疲れ限度に約2 kg/mm<sup>2</sup>の差を生じた。

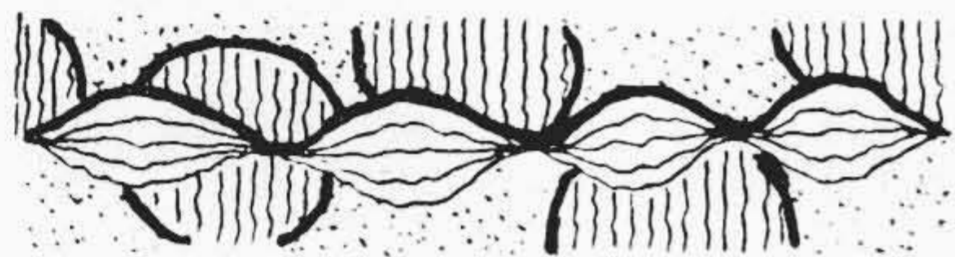
タービン翼材として化学組成以外に本論文に示されたような組織について十分に検討されなければならないが、日立蒸気タービンは性能向上のためにかゝる組織的問題に至るまで考慮が払われていることを附記したい。

本研究を行うに当つて御指導を賜つた石橋正先生、ならびに村上武次郎先生を始め、御指導、御鞭撻下さつた日立研究所兼先所長、終始御鞭撻、御援助を与えられた日立製作所日立工場守田副工場長、綿森課長の方々に厚

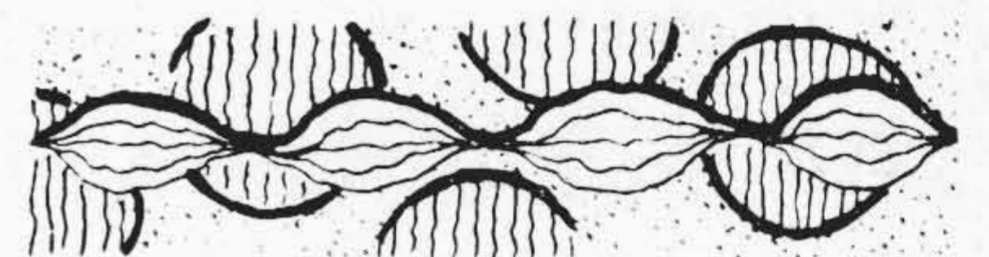
く御礼申し上げますと共に、種々御協力頂いた日立研究所佐藤信次氏、根本正氏、小林豊治氏、有益な御忠言を与えられた大内田氏、また熱心に実験に従事された綿引達君の労に対し、厚く感謝の意を表する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 中村：火力発電 19 号 高温用金属材料の諸性質とこれにおよぼす諸影響について (1954)
- (2) Sichikov, Vishnevetskii, Ginberg: Chem. Zentr II, 738 (1947)
- (3) Kinney: Proc. ASTM 38-II, 197 (1938)
- (4) Fuller: Trans. Am., Soc. Steel Treat, 19, 97~111 (1931)
- (5) Johnson: SAE Journal 44, 59~67 (1939)
- (6) Clements: SAE Journal 44, 68~71 (1939)
- (7) Stone: Iron Age 128, 1234~1237 (1931)
- (8) Stewart, Williams: Ch. Abst. 2146g (1949)  
J. Am. Soc. Nav. Engrs. 60, 475~504 (1948)
- (9) Swan, Sutton, Douglas: Engineering 131, 314~316, 374~376 (1931)
- (10) 石橋, 瓜生: Research Inst. Appl. Mecha. Kyushu Univ. 1, No. 3 (1952)
- (11) 学振: 金属材料 I 応力論 76 (昭和 14)
- (12) Welch, Wilson: Proc. ASTM 41, 733 (1941)
- (13) Thum, Ochs: Korrosion und Dauerfestigkeit 86 (1937)
- (14) 新持: 日本金属学会誌 17, 446 (1953)
- (15) 例えば, 学振: 金属材料 I 応力論附表 81~90 (昭 14)
- (16) 西原, 小林: 機学会論文集 12, 55 (昭 21)



### 特 許 の 紹 介

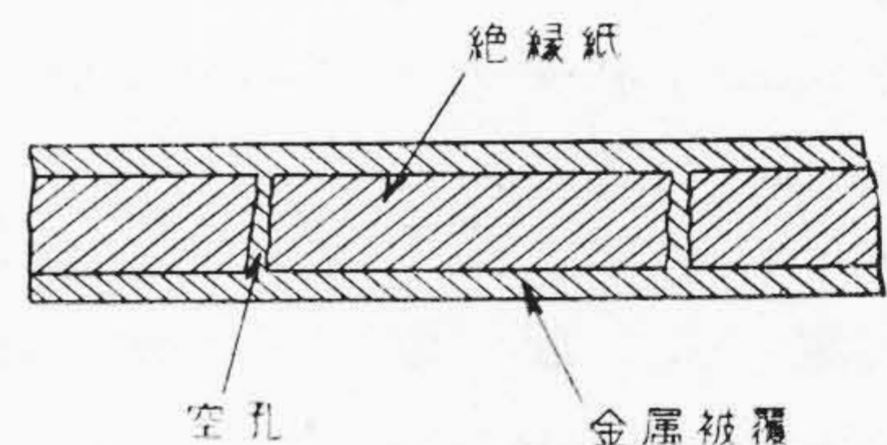


特 許 第 190794 号

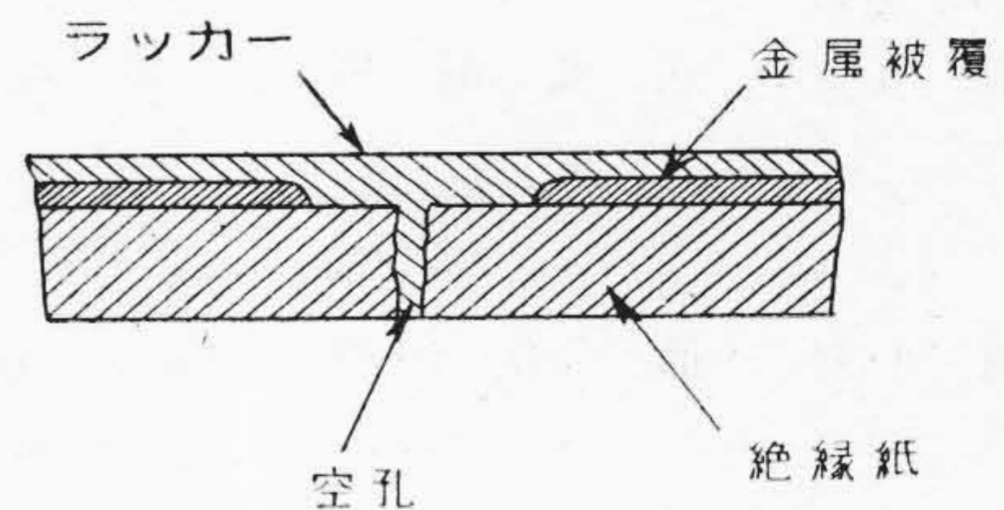
山 辺 知 定

### 絶 縁 紙 処 理 方 法

蓄電器用, その他の絶縁紙は紙自体の絶縁耐力が高くても, 紙質中に不可避免的に存在する導電性微粒子のため, 絶縁紙全体の絶縁耐力が著しく低下するのを免れない。本発明はこのような絶縁紙の絶縁耐力の低下の原因を除去して, 絶縁耐力を向上させるために, 絶縁紙又は金属被膜を有する絶縁紙の両面の間, 電界を加えて絶縁紙の絶縁不良箇所を通じ放電を起させた後, 絶縁紙又は金属被膜紙の少くとも一方の面に, 絶縁塗料を塗布, 含浸又は吹付けて上記放電により絶縁紙に生じた空孔内に塗料を浸透させることを特徴としたものである。即ち第 1 図に示すように, 絶縁紙の両面を金属板又は金属ローラよりなる一对の電極で挟み, 両電極間に絶縁紙の使用時印加せられる電圧値以上の電圧を印加するとき, 絶縁紙中の導電性微粒子の存在する部分に於て放電が起り, この絶縁破壊箇所微小な空孔を生ずる。この絶縁紙の一方の面又は両面に, ラッカーを塗布又は吹付けるとき前記空孔も又ラッカーで充填せられ, 全体として絶縁被膜層が形成せられる。第 2 図は絶縁紙に亜鉛等の金属被膜を蒸着せられた所謂金属被膜紙の場合であつて, この金属被膜とこれと反対側の絶縁紙面に接する金属板との間に, 前記のような電圧を印加するとき絶縁不良箇所に絶縁破壊による空孔を生ずると共に, 空孔の周囲の金属被膜も放電により溶解飛散して, 絶縁紙の表面上に金属被膜の被着しない部分を生ずることは, 金属被膜紙蓄電器



第 1 図



第 2 図

の使用時の絶縁破壊対応作用と同一である。この金属被膜紙の被膜及び被膜飛散部の全面に亘つて, ラッカーを塗布又は吹付けるとき空孔にも浸透して, 絶縁被膜層が形成せられる。

この方法によれば, 絶縁紙は紙自体の絶縁耐力を完全に発揮し得るに到り絶縁性能の向上の目的を達し得るばかりでなく, 絶縁紙は一枚だけでも十分な絶縁耐力を示し, 従つて蓄電器の容積重量乃至価格を軽減することができる。(高木)

『日立評論』 送 変 電 特 集 号 別 冊 No. 7

本誌別冊特集号として昨年 No. 3「火力発電機器特集号」No. 4「水力発電機器特集号」と引続き発行致し、読者諸賢より絶大なる御好評を頂きましたが、これに関連する送変電機器およびその諸問題を取纏めた「送変電特集号」を別冊 No. 7 として来る 6 月下旬発行致すことになりました。

内容は下記の通り我国における送変電に関する重要問題をあまねく網羅し、詳述したものであり、これが執筆には日立製作所の日立工場始め関係工場の技術陣および研究陣の精鋭を動員し、本文 130 頁、写真図版 300 版余の集大成であります。

何卒別冊の水力・火力両特集号と共にあわせ御愛読願います。

◇ 内 容 ◇

- ◎ 巻頭言「最近の大電力送電」.....東大教授 福田 節 雄
- ◎ 送 変 電 用 機 器 管 見 .....日立製作所・日立工場 谷 崎 義 一
- ◎ 135,000 kVA 制 振 変 圧 器 .....日立製作所・日立工場 首 藤 清
- ◎ 最近の負荷時電圧調整器.....日立製作所 {日立工場 桜 木 義 祐  
日立国分分工場 大 音 透
- ◎ 最近の調相機および制御装置.....日立製作所 {日立工場 {佐 藤 文 雄  
日立国分分工場 {川 口 弥 二 郎  
池 田 正 一 郎
- ◎ 高 電 圧 遮 断 器 の 問 題 .....日立製作所・日立国分分工場 桑 山 正 俊
- ◎ 最近のドライバルブ避雷器.....日立製作所・日立国分分工場 落 清
- ◎ 日立ユニットサブステーションとその発達 .....日立製作所・日立国分分工場 {安 藤 卓 郎  
池 田 正 一 郎
- ◎ 油 な し 変 電 設 備 .....日立製作所 {日立国分分工場 安 藤 卓 郎  
日立工場 首 藤 清
- ◎ 配 電 と 配 電 用 変 圧 器 .....日立製作所・亀戸工場 鬼 頭 国 忠
- ◎ 近 代 的 な 変 電 所 用 配 電 盤 .....日立製作所 {日立国分分工場 森 山 一 夫  
多 賀 工 場 宗 像 晋 介
- ◎ 送 電 線 の 高 速 度 保 護 継 電 方 式 .....日立製作所・日立国分分工場 川 井 晴 雄
- ◎ 最近の送変電用保護継電器.....日立製作所・多賀工場 猿 渡 房 吉
- ◎ コ ン デ ン サ 型 計 器 用 変 圧 器 .....日立製作所・日立工場 森 山 昌 和
- ◎ 電 力 通 信 設 備 .....日立製作所・戸塚工場 {三 木 正 一 年 夫  
東 中 谷 信 士 夫  
中 野 富 士 夫
- ◎ 特別高電圧引込用としての 60 kV 単心油入ケーブル .....日立製作所・日立電線工場 {高 橋 長 一 郎 宣 治  
今 井 利 博  
橋 本 博
- ◎ 超高圧送電用 610 mm<sup>2</sup>, 590 mm<sup>2</sup> ACSR (鋼心アルミ撚線) の鋼線およびケーブル .....日立製作所・日立電線工場 {岩 田 寿 郎 郎 美  
山 本 三 郎  
岡 光
- ◎ プラスチック制御ケーブルの特性に関する二三の考察 .....日立製作所・日立電線工場 {川 和 田 七 郎 男  
庄 司 一
- ◎ 三 相 模 擬 送 電 線 .....日立製作所 {日立研究所 西 堀 博 雄  
日立国分分工場 川 井 晴

東京都千代田区丸の内 1 の 4  
(新丸の内ビルディング 7 階)

日 立 評 論 社

誌代特集号 1 冊 ¥100 円 16  
(振替口座東京 71824 番)