



三菱電機

第 19 卷

昭和 18 年 7 月

第 7 號

内 容 目 次

タービン 發電機軸材の特異性	井上八郎右衛門	193 (1)
周波数辨別回路に就て	杉 多 重 雄	212 (20)
ゴム 製品の促進老化試験に關する考察	石 黒 克 巳 伊 藤 公 男	217 (25)
交流電磁接觸器用電磁石	服 部 謙	221 (29)

三菱電機株式會社

三菱電機

第十九卷

昭和十八年七月

第七號

621.313.322.044.3-81:620.1:669.14

タービン發電機軸材の特異性

長崎製作所 井上八郎右衛門

内 容 梗 概

2極のタービン發電機軸は設計上鍛鋼としては非常に無理な使い方をしなければならぬ。之に對しては如何なる規格が用ひられ、之と應力との關係は如何なつてゐるかを概然的に説明し、この目的のために使はれてゐる軸材、特に含Ni鋼の大形軸は管錐を用ひて深部から試験片を取る必要がある事及び、試験片に出る結果よりも均一性と言ふ事が重要である事を種々の實驗結果に就いて述べてゐる。併し軸材使用者側の立場からのみ検討し、製鋼上の技術に就いては他に譲る事とした。

緒 言

莫大なる兵器の消耗を伴ふ今日の戦争は正に生産力の戦争である。生産の増強こそは戦捷に對する大きな鍵である。而も電力の増強を考へずに生産を増強せよと言ふのは、爆弾を持たずに爆撃に行けと言ふのと同じである。而して電力を増強するに當つても水力は資材及び建設年月の點より火力程早急には出来ない。然るに火力を増強するに當つても多種多様の資材を必要とするが、今日我が國の工業の水準に於て問題となるのはタービン發電機用の軸材である。汽罐、タービン及び復水器等は工場の生産力の點を除けば或程度迄克服出来る目鼻が附いてゐる。併し發電機軸は技術及び資材殊にニッケルの點より之が生産に大きな障害を與へてゐる。併し何と言つてもこの戦時下の電力資源は確保しなければならぬ。かゝるが故に大東亞電力懇談會等に於てもニッケルを使用しない軸材で如何に時局を切り抜けて行くかに就いて熱心に研究されてゐる所以である。依つて無ニッケル時代を開拓すべき基礎資料として、今日迄の軸材は如何なる状態にあつたか、如何なる製品が使はれてゐたか、如何なる點が困難であつたか等の點に就き、筆者多年の研究を再吟味するのも温古知新又有意義な事と考へ本文を草した次第である。併し筆者は使用者であつて製鋼者ではないから製鋼術の點に關してはその専門家に譲る事とし、次の諸項目に就いて順次述べる事とする。

1. タービン發電機の發達と軸材との關係
2. タービン發電機軸設計の特異點
3. 軸材の仕様とその應力
4. 試験片に對する吟味
5. 軸材に表はれる諸缺陷
6. 均一性の要求

1. タービン發電機の發達と軸材との關係

1884年 パーソン社に於て最初のタービン直結發電機として7.5kW 1,800RPM 機が製作されてより、今日の200,000kW と言ふ大容量のタービン發電機が出来る迄の目覺しい發達の中には幾多の因子が含まれてゐるが、その中でも最も大きな因子の一は回轉子軸材の發達である。初期に於ては高速度とは言へ構造上の形式にも模索があり、出力も小さかつたので回轉子の構造も從來の電動機と同様に炭素鋼の軸に硅素鋼板の打抜鐵心を積んだもの、或は多角形の軸に突極を植ゑ込んだもの等があつた。併し出力が増大するに従つて磁極と軸と分ける事が困難となり、單一打物で磁極を打出す事となつた。併し2極や4極の突極を單一打物にする事は鍛造作業が複雑であるばかりでなく、形が大きくなるに従つて應力の點よりこの形式では不満足となつて來た。1910年頃から出力も數千kW に及ぶに至つて現在の圓筒形構造が誕生し、之が最良案として形式の進歩は完成された。而して材質も出力が3,000kW 内外では普通の鋼でよかつたが、之以上になれば回轉子の直徑が増し應力が大となるので、普通の鋼では製作が困難となつた。併しこの時代は合金鋼の發達が幼稚であつたので、鋼の強度を増すためには炭素量を増す所謂高炭素鋼に依るのが最も安全とされた。例へば1917年頃 S.F. Barclay⁽¹⁾ は炭素0.38%位で抗張力60 kg/mm²、降伏點35 kg/mm²位の油處理炭素鋼を推奨し⁽¹⁸⁾、合金鋼は偏析其他の缺陷があるから炭素鋼の方が良いと言つてゐる。例へばNi 35% 抗張力73.5 kg/mm²、降伏點45.8 kg/mm²の軸が鐵心端の段落の所で折れたから調べた所大きな割れが現はれたり、炭素を増してC=0.61%、Mn=0.59% Si=0.23% 抗張力=77.5 kg/mm²、降伏點=35 kg/mm²の高炭素鋼にしたら

軸受部で粒度が大きくて切れたりして、合金鋼にしても高炭素鋼にしても困るから結局組立式にすべきだと匙を投げてゐる。之がため2極タービン発電機の發達は足踏みとなつた。10,000 kW 以上になれば6極か4極かにして速度を下げ出力を増して行つた。併し6極機や4極機は所要資材が莫大な量となり、且つ据付運搬等に多額の費用を要し、高速度を特長とするタービンの長所が消滅する等の點より2極機に劣るものである。1920年頃には4極機としては5,6萬kVAの発電機があつたにも拘らず2極機では精々10,000 kW 内外を迂路つてゐた。

然るに第一次世界大戰は合金鋼の發達を促進し、戰時中に蓄積した工業力が平和産業に向けられるに及び、發電機界もこの恩恵に浴する事となつた。殊に大戰中電力飢饉で危機に頻した米國は、再びこの愚を繰返へさない様に鋭意電力の擴充に努めて來た。之がため資材や建設費等の點より2極機が要望される事となり、從來多少は使用されてゐたNi鋼やNi、Cr鋼の軸材が眞剣に研究されて實用に供されるに至り、停頓してゐた2極機は飛躍的發達を遂ぐるに至つた。そして1930年頃には3,600 PPM、22,500 kVA 機が登場するに至つた。其後製鋼術の發達によりNi、Cr鋼にMo及びVa、W等の添加が實用化するに及び、強度及び均一性が向上し更に大形軸の製作が可能となり、今日では3,600 RPMで65,000 kW、3,000 RPMで100,000 kW等が完成されるに至つた。この様に高速度を生命とするタービン発電機に於ては専ら軸材の發達が發電機の發達を左右したと言つても過言ではない。

2. タービン発電機軸設計の特異點

タービン発電機の軸材は設計上材料使用に就いて次の種々の困難な點が存在してゐる。

ア. 軸と鐵心とが一体である事

誘導電動機、凸極型交流回轉機、直流回轉機等に於ては回轉子は何れも巻線を納める鐵心部分と之を機械的に

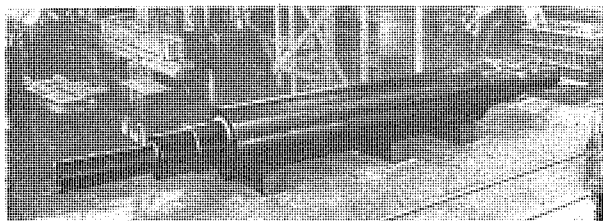
支持する軸体部分とから成立つてゐる。然るにタービン発電機では高速度で遠心力に依る應力が大きいため、鐵心と軸とを別個の構造部分とする事が出来ない。軸も鐵心も一体とした單一鍛鋼を必要とする。而も鐵心を支持するだけの場合より軸材としては大形となり應力も大きくなり、従つて製作が困難となる。この軸材は第1圖の様な鍛鋼であつて、中央の直徑の大きい所が鐵心部で兩端の段落以下が軸となる所である。

イ. 鍛鍊の利く外層を切り割る事

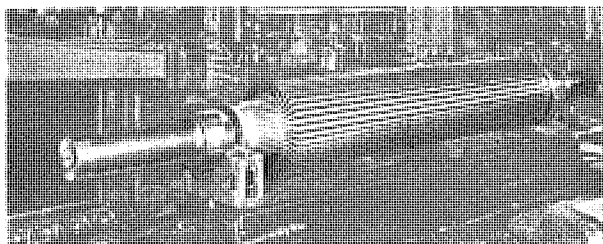
打ち上げられた鍛鋼軸には第2圖の様に表面から溝を削り去る。鍛造物として最も鍛鍊の利くのは最外層部であつて最も強い所である。その強いのも外層が完全に連絡してゐるからであるが、それに溝を切ると折角の鍛鍊の長所を消滅させる事となる。一般に應力の大きな大形鍛造物でこの軸に類似のものに大砲の砲身や壓延機等がある。砲身などは直徑も大きく長さには軸材より遙かに長く、而も發射の際には莫大な爆發力を受けるが、砲身に於ては鍛鍊効果の大きい外面は圓筒形の儘に残し、内部の材質的に缺陷の多い部分は削り取られるので、應力のかゝるのは鍛鍊も熱処理も最もよく利く部分である。又壓延機の如きに至つては直徑も重量も發電機軸より遙に大きいものがあるが、之も鍛鍊効果の大きい外部は完全に残されてゐるし、内部に多少の缺陷はあつても遠心力等のひどい應力が無いので内部の缺陷が漸進的に軸の破壊を促す様な事はない。この様に鍛鋼物の外周を切る事は牛の角を折る様なものである。

ウ. 材質の悪い内部に最大應力を掛けねばならぬ事

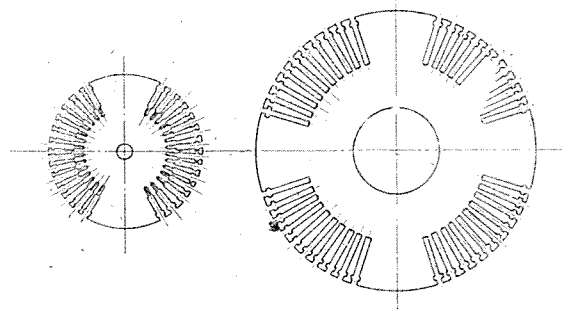
回轉子の表面に切る溝の深さは2極機では大體直徑の約18~25%、4極機では約16~19%である。斷面を比例尺で示せば第3圖のようになる。而してこの場合齒及び鐵心部に掛る應力の分布は大體第4圖の例の様に、半径方向の應力は導体溝底に相當する齒の根元に於て最大となり、切線方向の應力は中心孔の周邊に於て最大となる。齒の根元の應力は之を分散移譲すべき部分がなく、且つ鍛造の纖維方向と直角であるため應力の數値は同じでも鋼に取つては無理が多い。加之溝底半径に依る應力の集中や加工の狂ひ等のため、中心孔の應力よりは小さいが、タービン発電機の使用限度はこの應力を目安としてゐる。かゝる應力があるにも拘らずこの部分は製鋼上から見れば、白點、ガス孔、砂疵、偏析等の集り易い所謂偏析層



第1圖 荒削軸体 #2405

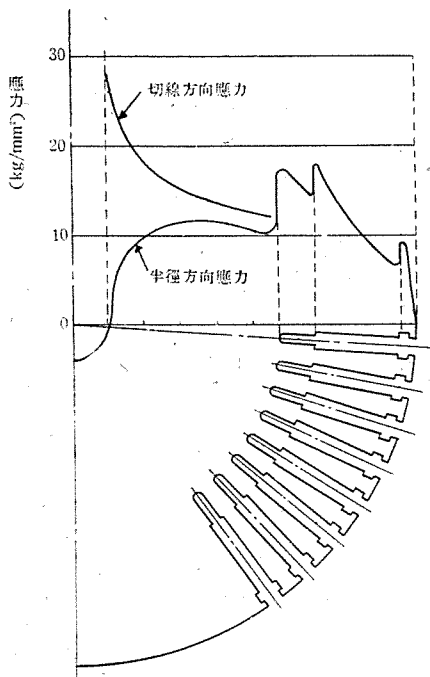


第2圖 溝を切った軸 #2052

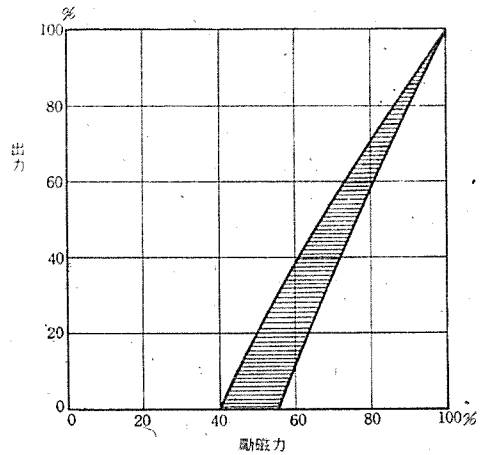


第3圖 軸の斷面 A 1923

(Ghost Zone) の中にあるか或は之に接近してゐる。折角鍛錬した良い部分は切り割つて弱くし、材質の悪い部分に最悪の応力を掛けねばならぬ事がタービン発電機軸の最も難点とする所である。之を製鋼者の立場から見れば當然材質の悪くなる部分にのみ応力を掛ける様な構造では元々の設計の基礎が間違つてゐると言ふ事になるであらうが、之は小形の炭素鋼の時代から長い發達の歴史を経て來たもので、今之を外周の鍛錬の利き易い部分にのみ溝の深さを制限するならば、恐らく今日の2極50,000 kW 機は10,000 kW 位しか出せぬ事になるであらう。10,000 kW 位出すのであつたら大きな合金鋼の軸を用ひなくても充分である。それだけ昔に還る事になる。一般にタービン発電機では出力kVAと勵磁力との關係が第5圖の様になる。即ち回轉子が出すべき勵磁力の中約半分は負荷に關係なく空隙や鐵の磁化に用ひられ、残り半分が負荷に對抗する勵磁力である。故に勵磁力が10%減すれば出力は約20%減する事となる。之を偏析層を避ける様な溝の深さにすれば出力は著しく減少して今日の大容量機は望めなくなる。之がため直徑を大きくして浅い溝を使ふと言ふ事も考へられるがそれは不經濟なものとなるし、その大きな直徑に於ても亦同様な問題が生じて來る。之等を見合はせて次第に發達して來たのが今日の設計である。この困難も造塊、鍛錬、熱處理等の製鋼技術に依つて克服されるならば工業力の進展に資する所が大となる。而して之は必ず解決せられなければならぬ問題である。タービン発電機軸にはかかる特異點があるため單に何百挺の鍛造物を作つた事があると言ふ経験だけでは完全な發電機軸は打てないのである。筆者の取扱つた多數の軸材に就て見るに、國產製鋼者よりも遙かに大きな



第4圖 應力分布 A 1927



第5圖 出力と勵磁力 A 1924

設備と多年の経験とを有すると思はれる歐米製鋼者の作品に於てですら大形の軸材を全く無疵で打上げる事は甚だ困難であつた。之等の困難を避けるために組立式構造が考へられ、4極機では種々の方式が採用されてゐるが、2極機では應力に就き相當に無理な點があるので4極機程一般ではない。現在としては工費及び強さの點で差支へない限り單一鍛鋼を採用する。

エ. 中心孔を有する事

この種の軸体の如き大形鍛造物の中心に集り易い缺陷を除き、或はその状態を知るためには、中心に孔を明ける必要がある。この孔を明ける事はこの部分の應力を孔の無い時の約2倍に増加させる不利益はあるが、それよりも内部點検の方が重要であるから應力の増加は犠牲にしてゐる。この中心孔も砲身のように内部の不良部分を全く取り去り得る程の大きに明けられればよいのであるが、應力の關係上餘り大きな孔は明けられないので、弱い部分を残したまゝで應力が倍加する所に苦しい所がある。併し幸ひに中心孔周囲では塑性變形を起して應力の移行が行はれるため割れ等が無ければ直ちに破壊するには至らないので、齒の根元の應力程重大に考へられてゐない。

以上の様にタービン発電機の回轉子には設計の都合上鍛鋼としては苛酷な使ひ方をするので製鋼法にも無理な要求がなされる所以である。

3. 軸材の仕様とその應力

軸材も10,000 kW 以下では形状が小さいので普通炭素鋼や高張力炭素鋼でよいが、10,000 kW を超せば外徑が大となり應力も増し、又質量効果等のため炭素鋼では製作困難となるのでNi鋼、NiCr鋼、NiCrMo鋼等が使用される。炭素鋼は2極の小型のものや4極機に用ひられるが、本文では之等に関する吟味は省略して、主として大型2極機に用ひられる含Ni合金鋼に就て論ずることとする。この合金鋼の仕様の中には數字的に表はして判斷し易いものと經驗に依らねばならぬものとがある。

先づ数字的に示し易いものには第 1 表に示した様な物理的性質及び化學的成分とがある。物理的性質の中で抗張力と降伏點とは應力と對比して直ちに判断がつくが、伸、絞及び衝撃値は数字的には結果が出るが計畫と對比して判断する事は甚だ困難である。伸よりも絞の方が強靱性の比較には役立つが何%以上なければならぬと言ふ事を理論附ける事は困難である。又衝撃値は衝撃應力を受くる場合には重要とされるがこの種の軸の様に殆ど一定の應力を受けてゐる回轉体に對しては、その數値を理論附ける事は他の一般の機械の場合と同様困難である。又降伏點の他に彈性限度を指定する場合もあるが、一般に此種の鋼の彈性限度は判然としにくい事が多いのでその決定法は一般規約に依つてゐる。又降伏點そのものの決定も嚴密に言へば甚だ困難なものである。併し嚴密な定義は別として文献に表はれた之等仕様の實例としては第 2 表の様なものゝ挙げられる。化學成分は一般に參考程度で磁氣的性質が餘り悪くなければ、物理的性質を主

として考へ化學的成分はこの強さを出すための二次的のものゝ考へられてゐる。

次に数字的に表はし難いものに、毛割、砂疵、ガス孔、白點、偏析非金屬介在物等に關する指定がある。併し之等は今の所全く經驗に依つて判断するより他なく、製鋼者側と使用者側とで意見の相異を來す場合があり採否決定に最も苦心する所である。

かゝる仕様の材料に對して實際に生ずる應力は齒の根元に於ける半徑方向の應力が規定速度で $10 \sim 15 \text{ kg/mm}^2$ 、 $20 \sim 25\%$ の過速度試験の場合 $15 \sim 20 \text{ kg/mm}^2$ である。之に溝底の形に依る應力集中率を考へに入れるとしても規定速度で 25 kg/mm^2 、試験速度で 35 kg/mm^2 程度のものである。又中心孔の周に生ずる切線方向の應力は數字上では齒の根元の應力より大となり、規定速度で $15 \sim 20 \text{ kg/mm}^2$ 、過速度で $20 \sim 30 \text{ kg/mm}^2$ となる。長い軸では彎曲のため交番應力を生ずるので材料の疲勞限が問題となるが、この應力は 0.5 kg/mm^2 程度のものであるから餘り問題とはならない。大型高速度のタービン發電機に於ては大きな安全係數を取る事が出来ない。又その安全係數も破壊を限度とした抗張力に對して言ふ事は不適當である。他方水車發電機等と異り調速機が鋭敏であるから甚だしい過速度は起らないものとして、一般に過速度試験の場合の應力が降伏點の $50 \sim 60\%$ 程度にある事を目標としてゐる。併し應力の數値のみに就いて考ふれば降伏點はもつと低いものでよい。それにも拘らず製作困難な合金鋼を用ひて強度を増すのは、設計や工作上の誤差を補ふためでもあるが、もつと大きな理由は材質の不均一性に對する試験片に依る試験結果の不信用に依るものである。試験片試験が充分に信用出来る目標を示して呉れるならば、設計工作の誤差に對してはもつと僅か

第 1 表 軸材の一般仕様

物理的性質	抗張力	=	60 ~ 70	kg/mm ²	
	降伏點	=	45 ~ 50	kg/mm ²	
	伸	=	18 ~ 20	%	
	絞	=	40 ~ 50	%	
	衝擊值	=	3 ~ 5	kgm/cm ²	
			Ni 鋼	Ni Cr 鋼	Ni Cr Mo 鋼
化學的性質	Ni	=	2.5~3.5	2.5 ~ 3.5	2~3
	Cr	=	.2 ~ .25	.55~.95	.5 ~ 1
	Mo	=	—	—	.3~.7
	Mn	=	.4~.8	.3 ~ .75	.4~.8
	P	<	.04	.04	.04
	S	<	.04	.04	.04

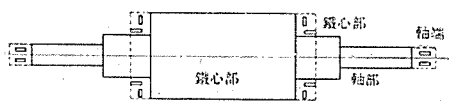
第 2 表 仕様の實例

抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	比例限 kg/mm ²	伸 %	絞 %	使用機		
36	—	35	30	—	62,500 kUA	1800 RPM	(2)
75.3	—	57.5	19.6	36.7	27,500 kUA	3000 RPM	(3)
75	—	43	18	—	23,400 kUA		(4)
56.8	31.5	—	20	—	43,750 kUA		(5)
73	55	—	18	—	80,000 kUA	3000 RPM	(6)
75 ~ 80	50 ~ 60	—	15 ~ 18	—	一般		(13)
60	—	35	16 ~ 18	22 ~ 28	93,750 kUA	1800 RPM	(9)
70	—	45	20	—	31,250 kUA	3600 RPM	(10)
75	61	—	22	—	31,250 kUA	3600 RPM	(11)
72	47	—	15	—	100,000 kW	3000 RPM	(12)
75 ~ 80	50 ~ 60	—	—	—	40,000 kUA	3000 RPM	(14)
50 ~ 60	28 ~ 30	—	—	—	一般		(15)
70	50	—	—	—	"		(15)
70	53	—	—	—	40,000 kUA	3000 RPM	(8)
66	38	—	16 ~ 20	28	一般		(16)
70 ~ 75	51 ~ 53	—	—	—	"		(16)
78	62.5	—	—	—	"		(16)
65.5	32.8	—	20	35	25,000 kUA	3000 RPM	(17)

の余裕しか取る必要はないのである。材料試験では充分に靱性と強さを示したものが屢々破壊するのは、(13) (14) 試験機械で表はし得る数字的結果よりも数字で表はし得ない不均一性に依るものである。故に完全な機械を作るには設計、仕様、材料製作、検査、工作等總てが有機的に發達しなければならぬ。

4. 試験片に對する吟味

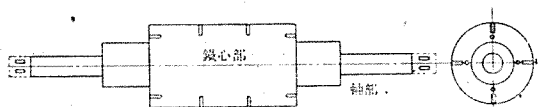
試験片に依る試験は軸材全体が完全に各部均一に出来てゐる場合にのみ信用が出来るのであつて、若しこの條件が満足されなければ試験片試験は單なる氣安めに過ぎない。試験片の数を増せば確率は大となるがそれにも限度がある。故に限りある數で確率を上げるためには從來の試験法に就て吟味する必要がある。嚴密に言ふ場合の降伏點や彈性限度の定義とか決定法とか試験片の形状等の根本問題に就いては省略することゝして、こゝでは主として電機製作者として日常關係のある試験片の採取位置に就いて吟味する事とする。



第 6 圖 切放試験片の位置 A 1926

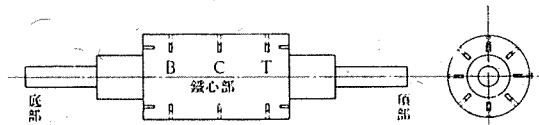
從來一般に採取されてゐる位置は第 6 圖に示す様である。この場合には軸端及び鉄心端に餘肉を付けておいて鍛鍊熱處理後この餘肉を切放して之から試験片を取る。軸端からは軸方向試験片或は衝擊試験片を取る。軸端は接手部分として材質を見るか、已むを得ない場合に軸の強さを大略推定する位で鉄心部程重要ではない。鉄心部から切放された環からは軸方向、半径方向、切線方向の試験片が取られる。この切放試験は一般の材料に就いて行はれる方法であるが、發電機軸の様な場合には充分にその効果を表はす事が出来ない。何となればこの部分は鍛鍊熱處理の効果が良く表はれる所であるから、如何に齒の根元に相當する半径位置から取つたとは言へ、この結果を以て實際に應力のかゝる深部の強さを推定する事は危険である。又この方法では鉄心端に多量の餘肉を付けて環を切り放すため鍛鍊に依る鋼の分子の配列線を切る缺點がある。之に就いては種々の異論もあるが現在では一般に切らぬ方がよいとされてゐる。

之より少し進んだ方法として現在歐米で製作者間に行はれてゐるのが表面管錐法で之は第 7 圖の様である。この場合軸端からも簡單のため切放試験片が取られるが、鉄心部から所謂管錐 (Core drill) で取られるものが重要である。而も一般には簡單のため表面層から取られる。



第 7 圖 表面管錐試験片の位置 A 1926

之は長さ方向に於て鉄心の中央部からも取られるので、前者よりは一步進んでゐるが未だ不充分である。この場合は溝加工との關係があるので日本標準第 4 號試験片は取れぬことが多い。一般に直径 7 耗、標點距離 25 耗のものが用ひられ試験片の素材は 100 耗もあれば充分である。従つてこの試験片の標點距離の中心になる點は表面から 50 耗内外の所である。而るに合金鋼を用ふる軸では直径が大約 700 耗以上であるから、表面から 100 耗位の深さでは鍛鍊も熱處理もよく利くのでその信頼度は切放試験の場合と大差ない。



第 8 圖 深部管錐試験片の位置 A 1926

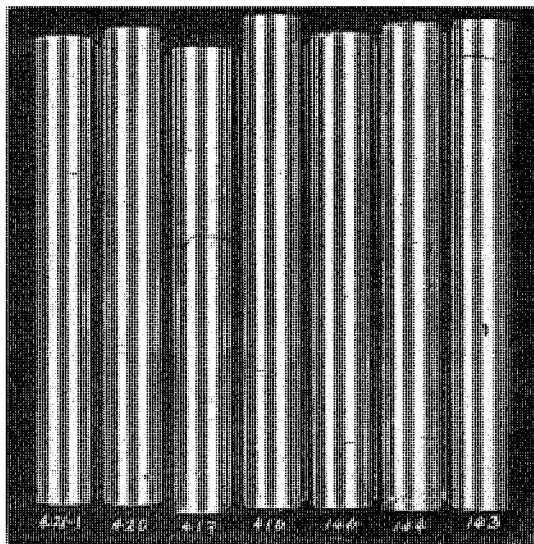
故に管錐を有効に使ふためには第 8 圖の様に深部管錐法を用ひ錐底の深さを充分深くして、そこから取られた試験片の標點距離の中心を、少くとも溝底の最大應力のかゝる部分に迄達せしむべきである。かくする時は内部の材質不均一をも前方法よりずつと詳しく知る事が出来る。切放法や表面管錐法で合格した軸材も深部管錐法に依り思はぬ缺陷を發見し、破壊の慘事を未然に防ぎ無駄な溝切作業の工事を省く事が出来た事もあつた。こんな例は筆者の屢々経験した所であつて、軸材の試験には必ず深部管錐法に依るべき事を主張する所以である。

殊に最近の様に製鋼上にも屑鐵が不足し熟練工が減じた場合の製品に就いては尙更必要である。次にその代表的なもの二三の例を示して説明する。

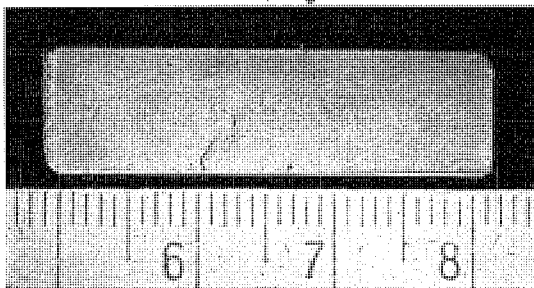
第 3 表 表面管錐試験

位置	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	摘 要		
鐵 心 端	A 1	76.7	52.0	24.0	47.5	表 面 管 錐		
	A 2	78.0	62.4	22.0	47.5			
	A 3	75.4	61.2	22.0	47.5			
	A 4	78.4	62.4	24.0	47.5			
軸 端	A 5	78.0	55.8	23.0	53.7	切 放		
	A 6	78.0	50.7	22.0	51.0			
	A 7	74.1	55.8	23.0	52.5			
	A 8	74.1	59.7	23.0	53.5			
鐵 心	R 1	75.8	60.2	18.0	33.5	表 面 管 錐		
	R 2	76.1	64.1	18.0	33.5			
	R 3	75.1	60.0	18.0	30.5			
	R 4	76.1	60.0	19.5	33.5			
軸 端	衝 擊 值 (シャルピー) (kgm/cm ²)	l ₁	4.6					
		l ₂	4.9					
		l ₃	5.3					
		l ₄	4.6					
化學成分		C 0.30	Si 0.21	Mn 0.59	S 0.027	P .032	Ni 3.10	Cr 0.13

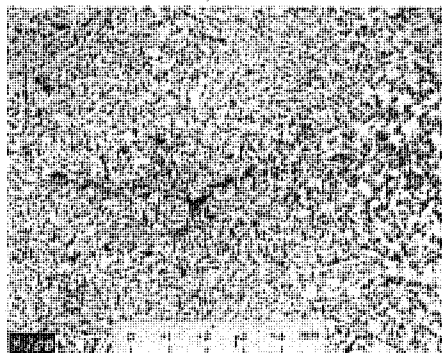
例1. 第3表は仕上り約18廻の Nicr 鋼軸で英國 Vickers 社製軸の成績である。之は 880°C より 450°C 迄空氣中で焼準し 550°C で爐中焼戻したものである。表中番號にAとあるは軸方向試験片、Rとあるは半径方向試験片である。試験片採取位置の詳細寸法は省略するが大抵第7圖の様である。この成績は製鋼會社に於てロイド検査官立會のもとになされたものであつて申し分の無い軸材であつた。然るに之を筆者の工場に於て第8圖の方針に依つて使用検査を行つた所、磁氣探傷の結果第9圖の様に疵の表はれるものがあつたので、之を切解した所第10圖及び第11圖の様に内部に達する疵があつた。引張試験の結果第12圖の様な切れ方をするものがあり、その結果は第4表の様になつた。本表の位置の欄にTとあ



第9圖 磁氣探傷で表はれた疵 #733



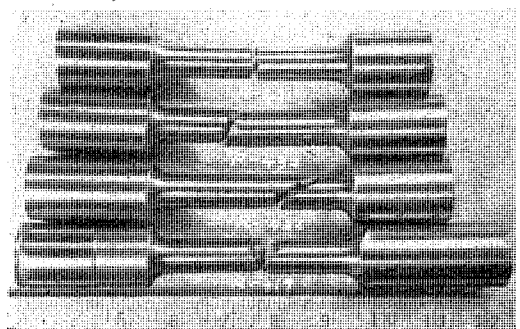
第10圖 試験片断面の疵 #755



第11圖 試験片の組織 #734

るは縊心部分に於て鋼塊の頂部側、Bは底部側、Cは中央部から取つた事を示し、その次の數字は試験片を取つた深さを耗で示したものである。例へば C220 とは鐵心の中央部で 220 耗深さの所から取つた事を示す。第3表と第4表とを比較すれば切放試験や表面管錐試験が如何に頼りないものであるか判る。抗張力や降伏點は割疵が無い限り表面も中心も大差無いが、伸や絞は深さが増すに従つて悪くなつて来る。殊に疵が増し非晶質の部分さへ出てゐる。32本の試験片の中仕様に合格するものは只4本であつて、残りの中19本は特に疵や非晶質が多かつた。この結果が若し製鋼會社で判つてゐたら勿論廢却となるものであつた。第3表の成績のみに信頼してゐたら如何なる惨事を引起したかも知れない。

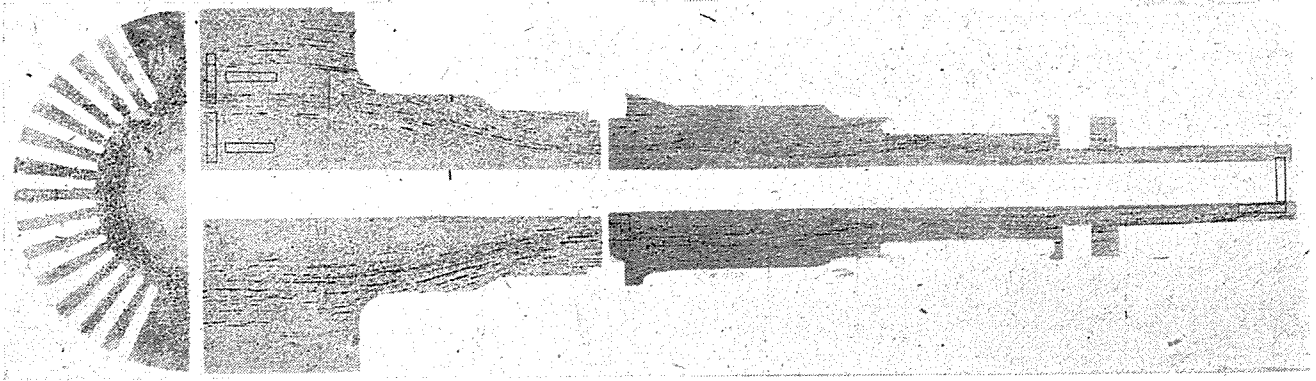
例2. 第5表は仕上り10廻級の國產軸の成績で試験片は第6圖の方針に依つたもので之ならば仕様には合格する。然るに之を深部管錐法で試験すれば第6表の様になつて大部分は不合格となつた。尙この軸は廢却後切解した所第13圖の硫黃寫眞及び第14圖の實物寫眞の様な結果となり大きな偏析層が認められた。



第12圖 試験片の切れ方 #756

第4表 深部管錐試験

位 置	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	摘 要
T 100	143-1	71.4	50.9	20.0	36.0	疵
T 100	143-2	70.2	46.3	26.0	26.5	
B 100	137	72.8	48.3	16.0	29.0	
T 140	144	72.2	56.6	16.0	31.1	
C 140	139	70.2	50.4	16.0	36.0	疵
B 140	138	71.7	52.0	20.0	40.5	
T 180	420	72.8	44.7	17.0	36.0	
T 180	414	71.7	48.8	12.0	26.5	
T 180	416	70.2	50.9	11.0	24.1	疵
T 180	418	70.2	53.0	10.0	24.1	
C 180	140	75.4	55.1	21.0	38.0	
B 180	428	70.7	49.9	16.0	36.0	
B 180	135	70.2	53.0	14.0	26.5	疵
B 180	424	68.1	49.4	16.0	38.3	
B 180	426	70.2	54.0	10.0	24.1	
T 220	415	71.7	52.5	10.0	16.4	
T 220	413	70.7	50.4	16.0	33.6	疵 (非晶質)
T 220	416	64.4	48.3	6.0	16.4	
T 220	419	58.7	46.3	5.0	16.4	
C 220	141	69.6	52.0	11.0	16.4	
B 220	423	73.3	52.0	14.0	26.5	疵 (非晶質)
B 220	136	72.8	54.0	11.0	24.1	
B 220	425	68.6	50.4	8	16.4	



第13圖 切解軸の硫黄寫眞

第6表 管錐試験

位置	番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %
B 100	R 68	59.6	32.4	24.8	47.1
C 100	R 69	58.3	32.7	26.0	44.4
T 100	R 74	59.5	32.6	26.4	38.2
B 140	R 67	60.0	32.6	22.4	28.8
C 140	R 72	59.6	32.7	25.2	44.4
B 180	R 66	60.4	32.7	23.2	44.4
T 180	R 76	59.9	33.7	16.8	33.8
B 220	R 65	59.7	35.2	6.4	13.6
C 220	R 70	62.4	35.1	15.2	26.5
T 220	R 75	57.5	35.2	22.0	38.8



第14圖 軸の断面 #490

第7表 切放試験

位 置	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %		
軸 端	A 5	67.6	56.5	22.0	52.0		
	A 6	68.9	57.2	25.0	54.0		
	A 7	70.8	52.0	28.0	54.0		
	A 8	69.5	48.7	27.0	54.0		
鐵 心	R 1	70.8	55.2	24.0	58.7		
	R 2	70.8	55.2	25.0	58.7		
	R 3	72.1	55.9	24.0	56.8		
	R 4	71.5	55.9	25.0	57.7		
化學成分	C 0.27	P 0.021	S 0.012	Mn 0.58	Si 0.21	Ni 2.05	Cr 0.44

第5表 切放試験

位置	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	摘 要	
軸 端	A 5	69.5	50.0	25.0	58.7	切 放	
	A 6	69.5	53.9	25.0	53.0		
	A 7	68.9	55.2	25.0	54.0		
	A 8	68.9	54.6	26.0	54.0		
鐵 心 端	R 1	67.6	51.3	25.0	50.0	切 放	
	R 2	68.2	53.3	26.0	45.8		
	R 3	66.3	47.4	25.0	50.0		
	R 4	65.6	47.4	24.0	45.8		
鐵 心	R 1	59.2	41.6	26.0	49.0	表 面 管 錐	
	R 2	58.7	39.0	26.0	49.0		
	R 3	58.2	41.6	26.0	42.7		
軸 端	衝 擊 値 (アイソット) (kgm/cm ²)		l ₂	10.2			
			l ₃	10.3			
			l ₄	9.0			
化 學 成 分		C 0.27	P 0.013	S 0.029	Mn 0.65	Si 0.235	Ni 2.30

第8表 深部管錐試験

位置	番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %
B 100	R 44	58.9	33.7	30.0	56.8
C 100	R 45	59.4	36.4	29.2	51.4
T 100	R 50	60.9	39.0	29.2	53.0
C 140	R 48	59.4	32.9	30.0	52.9
T 140	R 49	59.4	32.9	28.8	43.9
B 180	R 42	60.6	33.5	24.8	48.7
C 180	R 47	58.8	30.3	29.6	54.9
B 220	R 47	56.3	30.1	24.0	56.5
T 220	R 51	59.2	30.9	27.9	54.7

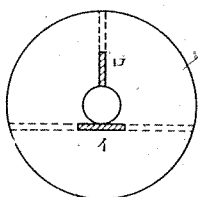
例 3. 第 7 表は仕上り 18 屈級の軸の切放試験結果であつて、之では全部仕様に合格するが深部管錐試験の結果第 8 表の様に強さが不足し伸や絞に餘裕があつたので更に再熱処理を行つた所第 9 表の様になり結局不合格となつた。

第 9 表 深部管錐試験

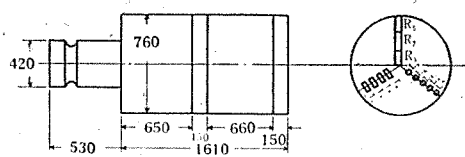
位 置	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	摘 要
B 100	R 186	64.2	36.6	22.4	48.7	
C 100	R 187	63.5	41.2	24.0	52.8	
T 100	R 192	62.2	38.7	28.0	53.1	
B 140	R 185	63.4	34.6	29.2	48.3	
C 140	R 190	63.8	35.6	19.2	37.9	
T 140	R 191	63.7	36.9	29.2	49.4	
B 180	R 184	62.7	35.4	23.2	48.5	
C 180	R 189	62.1	34.9	23.2	46.7	
T 180	R 194	62.8	34.5	24.8	49.1	
B 220	R 183	56.9	30.1	27.2	52.7	
C 220	R 188	—	—	—	—	疵 疵
C 220	R 197	—	—	—	—	
T 220	R 193	64.6	35.0	21.6	31.0	

管錐で試験片を取る場合更に一段の注意をするならば、取り出された試験片を一週間位放置しておくことである。軸体内に偏析層や白點等があつても、之が軸体内にある時は互に各分子が作用し合つて平衡が保たれてゐるため、弱い部分も割れを生ぜずに居ることがある。然るにかゝる部分から 14 耗徑位で取出された試験片は、最早何等外部から力を受けることが無くなるので、各分子は自由に自分の位置を取る。之がため軸体内で割れを伴はなかつた部分が、時日が経つに従つて試験片の内部や表面に割れが発達し磁氣探傷で發見されるまでになる事がある。中には肉眼で見える程成長するものもある。この割れは試験片を取出された孔の内面を見ても殆ど認める事が出来ないものである。試験片だけに疵を出させて検査するかのように思はれるが、之はその部分に溝を切つて薄い断面を持つ齒を残した仕上後の状態を知るために必要である。試験片を取出して直ぐに試験したのではこの影響を見る事は出来ない。

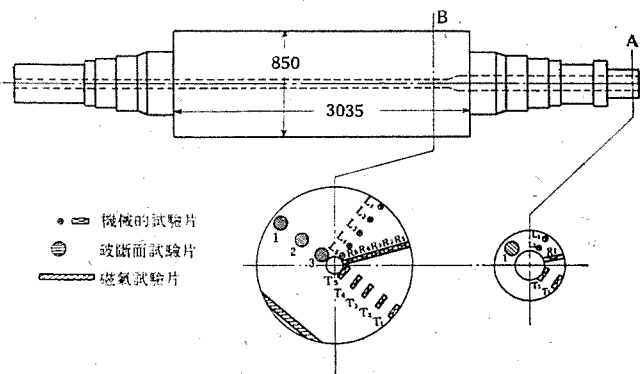
以上是最も重要な齒の根元の強さを知るための試験であるが、前記の様に中心孔の周辺にも大きな切線方向の應力が掛るのでその強さを知る必要がある。之がための試験片は第 15 圖 (イ) の様に中心孔の周辺に切線になる様にするべきである。併し之は管錐孔が齒にかゝる恐があるので採用し難い。之に代はる推定法としては (ロ) の



第 15 圖 中心孔周辺の試験片 A 1925



第 16 圖 三方向試験片の位置 A 1923



第 17 圖 三方向試験片の位置 A 1925

様に半径方向に取る事である。この試験片は齒の根元の試験片と同じ方法でその深さを深くしたゞけで取られる。若しこの部分が完全な均一組織であれば、半径方向も切線方向も同じ強さを表すべき筈であるが、均一でないため多少差異がある。併し偏析層が中心孔迄擴がつてゐない時には切線方向の試験片は鍛鍊の分子方向に直角になるのが質のよい部分にかゝる事が多い。然るに半径方向の分は良質の部分のみの場合もあるが、偏析層にかゝる事もあるので幾分切線方向より悪くなる。若し偏析層が孔の周辺迄追込まれてゐる場合にはどちらも悪くなる。故に概して半径方向の試験片の成績を切線方向の成績と考へて置けば安全である。この結果は一般の使用軸に就いての比較は出来ないが第 16 圖の様な NiCr 鋼

第 10 表 三方向の試験

番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	B H N	シャルピー kgm/cm ²
AT	1 65.2	83.4	18.7	42.6	241	6.8
	2 63.7	81.9	17.0	35.2	235	6.0
	3 65.0	85.1	10.0	25.0	248	5.0
	4 61.7	81.9	12.0	28.0	229	6.4
BT	1 62.8	80.6	21.0	54.6	241	8.4
	2 60.4	79.9	20.3	44.3	235	7.4
	3 61.5	81.1	18.0	37.1	235	6.6
	4 64.3	83.8	17.0	36.0	241	5.8
AR	1 62.4	81.7	18.7	44.8	235	7.5
	2 60.9	81.2	10.0	26.2	235	5.2
	3 60.6	80.0	10.3	27.8	229	5.5
BR	1 61.7	81.9	17.7	46.4	241	8.2
	2 63.9	83.8	15.3	31.4	241	6.6
	3 64.3	79.7	11.0	30.0	235	5.1
AL	1 61.7	81.2	19.5	45.3	235	7.1
	2 60.4	79.8	17.0	30.2	229	6.3
	3 63.7	81.9	12.0	22.0	235	5.5
	4 62.4	81.0	13.1	23.8	235	7.2
	5 59.8	76.0	10.1	21.1	229	6.2
BL	1 64.0	82.5	18.5	39.2	235	6.5
	2 60.4	82.5	19.0	43.7	235	7.5
	3 63.7	83.8	15.5	31.9	241	6.4
	4 66.3	87.7	11.3	23.8	255	5.0
	5 60.1	80.3	10.0	20.0	285	6.3

の切解試験の結果に依れば第 10 表の様に比較出来る。又第 17 圖及び第 11 表は第 4 表の様な性質を持つ軸の切解検査の結果である。第 11 表に於いて BL、BT、BR とあるは各々同一断面に於ての軸方向、切線方向、半径方向の試験片である。之等の結果より判る様に、抗張力や降伏点は内部外部に於て大差はないが、伸や絞は内部程明らかに悪くなる。併し同じ深さのものでは大体似かよつた値を示してゐるから、孔周囲の強さも半径方向試験片で推定しても大体差支へない。

以上で判る様に試験片の採取位置に就ては慎重に考慮すべきである。

第 11 表 三方向の試験

番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸 %	絞 %	アイソット kgm/cm ²	備 考
AL-1	71.7	54.6	26.0	49.0	5.5~5.3	木 理 状 破 面 同 上 同 上
AL-2	74.3	56.6	24.0	58.7	3.3~3.7	
AR-1	68.6	49.4	8.0	24.1	3.1~2.7	
AT-1	72.2	54.0	18.0	40.5	3.2~2.7	
AT-2	71.7	54.0	14.0	16.4	3.7~3.5	
BL-1	71.2	53.0	24.0	51.0	3.6~3.7	衝撃試験片 = 龜裂 抗張力試験片異状破面 衝撃試験片 = 龜裂
-2	68.6	50.4	22.0	49.0	4.1~3.7	
-3	68.6	48.8	12.0	26.5	3.2~3.2	
-4	71.7	52.0	22.0	46.9	2.8~3.2	
-5	76.4	56.6	18.0	38.3	2.6~2.7	
BR-1	72.2	52.0	20.0	31.1	2.7~2.7	抗張力試験片異状破面 衝撃試験片 = 龜裂 同上 (標点外切斷)
-2	70.7	51.4	16.0	31.1	2.2~2.7	
-3	70.7	52.0	19.0	31.1	2.2	
-4	71.7	52.0	12.0	16.4	2.0	
-5	61.3	44.2	1.0	16.4	—	
BT-1	72.2	53.0	20.0	38.3	2.7~2.3	抗張力試験片異状破面 同 上 同 上 同上 (標点外切斷)
-2	71.2	49.9	12.0	21.6	2.2~2.2	
-3	70.2	50.9	16.0	26.5	2.1~2.2	
-4	71.2	49.9	15.0	26.5	2.2~2.2	
-5	30.7	—	1.0	—	2.2~2.0	

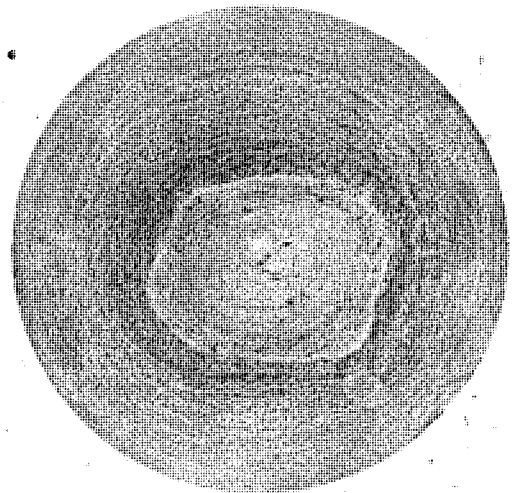
5. 軸材に表はれる諸缺陷

大形の軸材には砂疵、ガス孔、白点、偏析、質量効果等種々の缺陷が表はれる。之は概して不均一性に歸せらるべきもので之等缺陷の検出、その判断にかゝる大形材料を使用する者の常に頭を悩ます所である。一般にかゝる缺陷を検するには引張試験、化学分析等の試験の他にレントゲン試験、磁気探傷等の方法もあり、殊に後者の如きは今日大に進歩はしてゐるが、タービン発電機軸の検査に對しては未だ充分ではない。軸体のまゝ磁気探傷も種々文献には出てゐるが、白点の如く應力がかゝれば割れるかも知れぬが、そのまゝでは何等割れを伴はぬ様な場合にはその効果

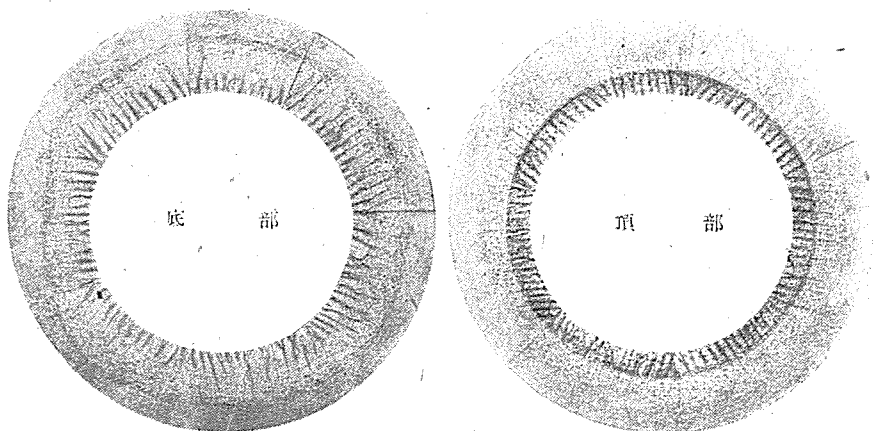
は少い。缺陷を生ずる原因は造塊、鍛錬、熱処理等専ら製鋼技術に關するのであるが、此處ではその原因探究は省略して、之等の缺陷が實物の軸にどんな工合に表はれるかを示す事とする。

ア. 偏 析 層

鋼の中に含まれてゐる種々の不純物が偏析する場合に、割れを伴ふ程のものは判断し易いが、それ程でもないものが多数集つて來ると判断に苦む場合が起つて來る。Ghost line とか Ghost Zone とか言ふ言葉は實際によくその性質を表はしてゐる。今日この偏析の状態は硫黄を以て代表され所謂硫黄寫眞で検出される。この層は鋼塊の上部に大きく下部に小さい。故に鋼塊は頂部から 30~40%、底部から 5~10% 切り捨てられる。實際の軸に就いて先づ偏析を検出するのは軸端及び鐵心端である。第 18 圖は低 Ni Cr 鋼の 75 吨鋼塊から作つた軸の上端部に表はれた偏析層である。之から見れば多少の偏析はあるが大体偏析層は中心に追ひ込まれてゐる事が判る。之を鐵心端面で見ると第 19 圖の様になり、鋼塊の底部側では極く僅かしか認められないが、頂部側では明かに認められる。第 20 圖は第 3 表及び第 4 表の如き成績を持つ軸の表面に表はれた偏析である。この場合は鋼塊の上下の別なく明かに偏析層が認められる。第 13 圖



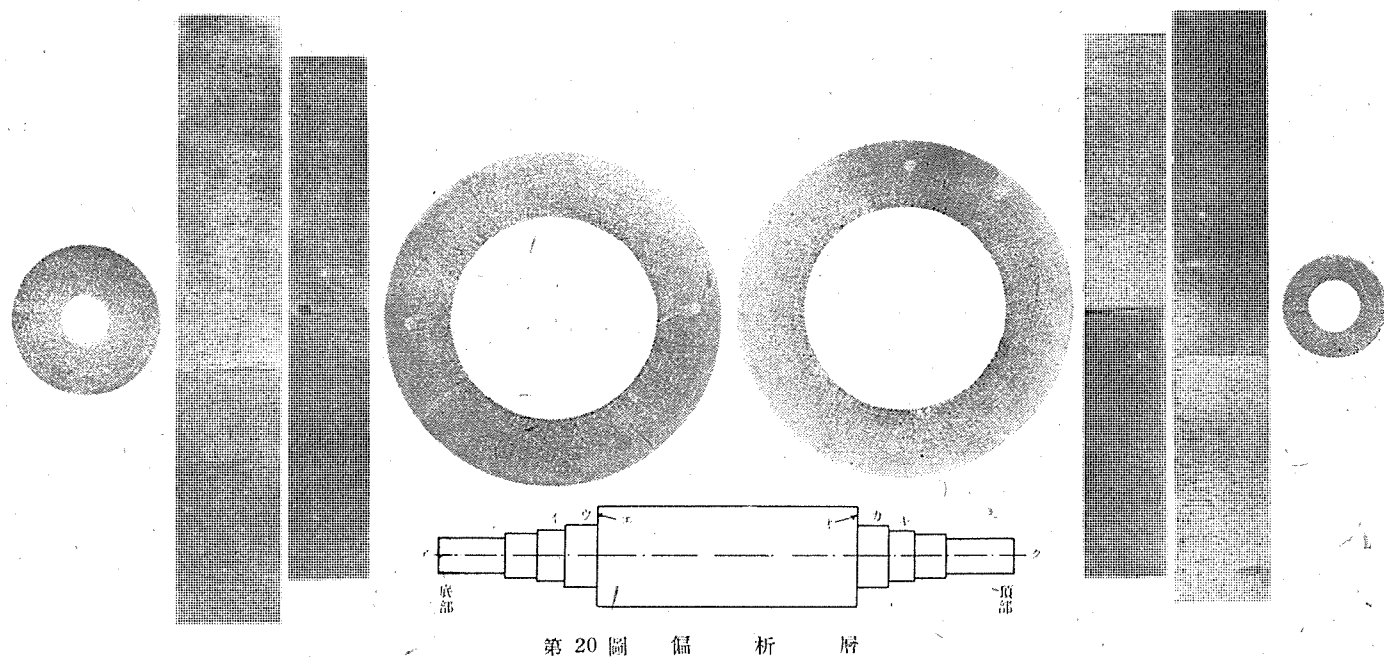
第 18 圖 軸端に表はれた偏析層



775

第 19 圖 鐵心端の偏析層

776

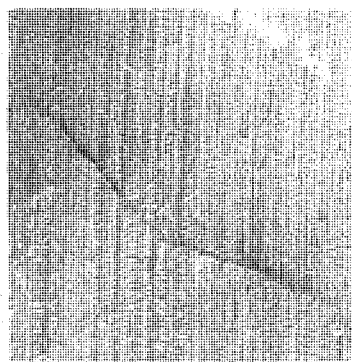


第 20 圖 偏 析 層

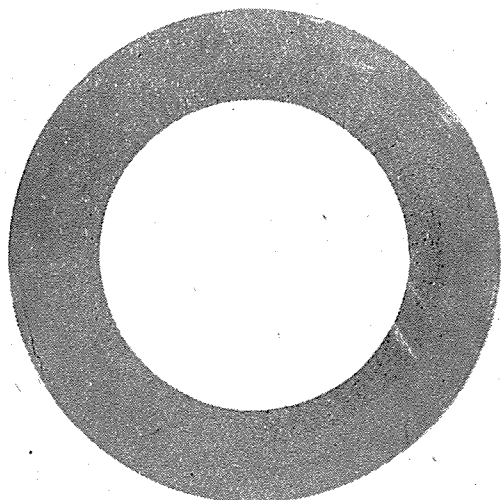
に依れば偏析層の分布が如何なる形で表はれるか、又縦断面に表はれる層と横断面に表はれる層との関係も判る。又齒の根元が大体この偏析層内或は其の近くにある事も納得出来る。第 21 圖の如きは偏析の少い例である。この齒の根元に偏析層が表はれると言ふ事がタービ発電機軸製作上最も難點とする所である。之に對しては造塊函の形、鑄込温度、冷却方法、成分等種々の點から製鋼者に於て研究されてゐる所である。

又鐵心部から軸の段落に移る所では總て偏析層を軸内部に包み込んでしまふのが理想であるが、直径が餘り急に變化するのど、鍛鍊比や鐵心端餘肉の都合に依つてはこの層が表面に表はれる。この場合は一般に切削面にむらを生ずる。このむらも單に多少艶が變つてゐると言ふ程度から、第 22 圖の様に切り子の續かぬもの、第 23 圖の様に砂疵らしく見えるまで發展したものもある。表面

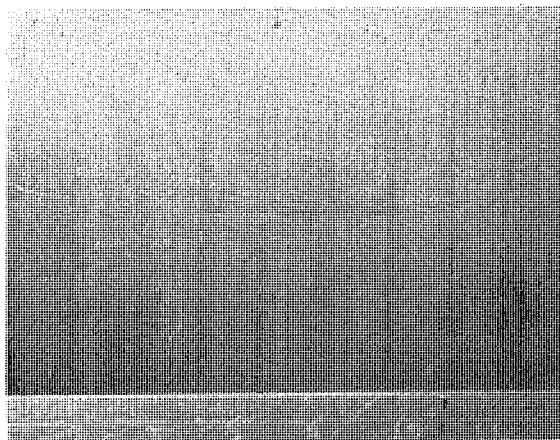
に表はれる偏析層は検査擔任者の手を経ずとも、少しく熟練した機械作業者は直ちに發見する事が出来る。明かに切り子が切れる場合は割れを伴つてゐると言ふ事が判るが、多少艶が變つてゐる程度のもので顕微鏡寫眞で見れば第 24 圖の様に割れを伴つたり、砂疵を伴つたりしたものもある。



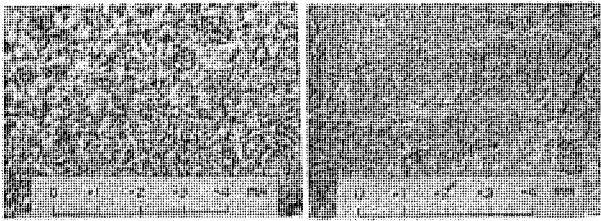
第 22 圖 表面に表はれた偏析層 # 631



第 21 圖 偏 析 層 # 674



第 23 圖 表面に表はれた偏析層 # 460

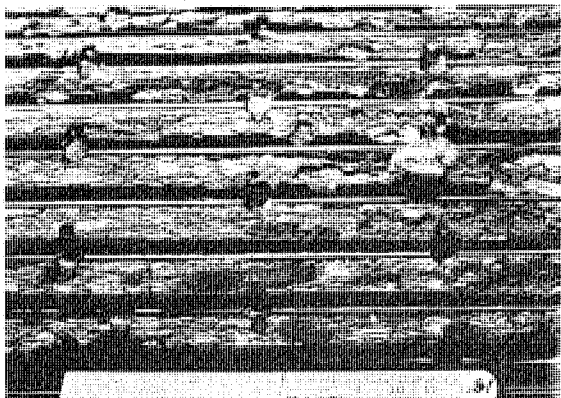


#632 第24図 表面に表はれた偏析層 #633

軸材を購入する場合に軸の融通性を大きくするため、軸受部や段落部に厚い削代を付けたり、段落の寸法の變化を少なくしておく事はよいが、削代を削り去つた時折角内部に包み込んでゐた偏析層が削り出されて有害な結果を呼び起す事があるから、かゝる大物軸では多少面倒でも出来るだけ削代を少なくする様に打止ぐべきである。

イ. 白 点

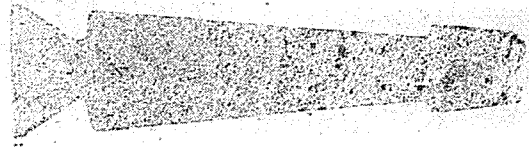
質量効果を少くし、湯の流れをよくし、偏析を少くするためには Ni の添加は必須の事とされてゐる。併し他方 Ni を増せば白点の生ずる恐れがある。白点の生じに就いては水素説其他の學説があるが未だその正体は明かにされてゐない。學術振興會に於ても研究中であるが未だ確實な解決法は與へられてゐない。一般に軸に表はれる場合には灰色白点、銀色白点等がある。この白点も割れを伴はない場合には強さには大差ないが靱性がない。軸体内でも割れを伴つたものは危険である。第25圖は齒の根元に表はれた白点で第26圖はその一つを擴大したものである。之はこの部分に灰色、銀色等の白点が集つた場合で、その偏析状態は第27圖の様で、白点の顯微鏡寫眞は第28圖の様である。この白点のためこの部分より分離を起したものであるが、かゝる惡質のものでも分離點から種々の深さの試験片を取つて試験したものは第12表



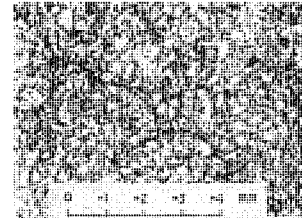
第25圖 齒の根元の白点



第26圖 齒の根元の白点



第27圖 齒の断面の偏析



第28圖 白点部の組織

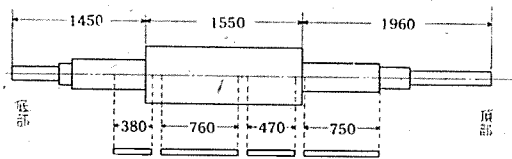
の様に相當の成績を示してゐる。この結果より見ても引張試験の結果よりも不均一が如何に危険なものであるかを示してゐる。

第12表 深部管錐試験

深サ mm	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %
100	R 8	52.9	32.7	36.0	58.0
140	R 4	54.4	34.0	34.0	58.5
140	R 10	53.0	32.7	32.0	54.1
180	R 6	52.8	31.4	26.0	38.0
220	R 12	50.0	30.7	16.0	37.1

ウ. 中心孔に表はれる疵

引張試験や表面の検査に合格すれば次に中心孔を穿けて内部検査をする。この種の軸は鍛造に際して鋼塊の中心に孔を穿けて盲鍛造をする場合と、中心孔を明けずに打つ場合とがある。前者に於ては偏析層を中心に追ひ込み孔を潰した後更に仕上孔を穿けて或程度まで偏析層を取去ることが出来る。後者の場合ではこの種の軸に許される程度の鍛造比では偏析層を中心の検査孔で取去られる程迄中心に追込んでしまふことは困難である。併し何れの方法にしても従來の方法では偏析層を全く取去ることは出来ない。それで之等の様子を調べるために應力の倍加を犠牲にしても中心孔を穿けねばならぬ。この孔は一般には光學的検査が行はれるが、時には磁氣探傷が行はれる。之はこの孔から試験片が取りにくい事と、孔に沿つて軸方向の試験片を取つても、孔周辺にかゝるのは切線方向の應力であるため、強さとしては重要視されず砂疵、ガス孔、割れ等を調べるのが主である。この孔周には大きな切線方向應力がかゝるため、少しの缺陷があつても次第に成長して軸を破壊するに至るが、完全でさへあれば塑性變形を起して應力を移行し降伏點を超へても破壊には至らない。併し中心孔から試験片を取つた場合の例を示せば第29圖の様である。之は中心孔の全長を管錐で穿けて中から圖の様な試験片を取出したものである。この軸は表面の切放試験の結果第13表の様な強さを



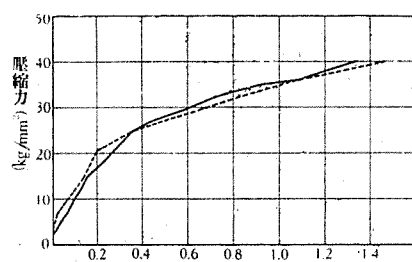
第 29 圖 中心孔の試験片 A 1927

第 13 表 切 放 試 験

番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	位 置
R 1	50.6	30.4	33.6	49.0	鐵心端 半徑方向
R 2	50.7	30.1	25.6	33.7	" "
T	50.4	29.2	36.0	44.8	" 切線方向
A	45.0	24.0	18.8	62.3	中心孔 長サ方向

持つ炭素鋼軸であるが、中心孔から取った試験片では抗張力 45 kg/mm²、降伏點 24 kg/mm²、伸 18.8%、絞 62.3% となり、壓縮試験の結果第 30 圖のようになった。

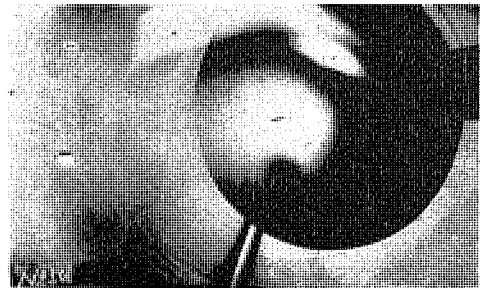
J. A. K. uyser⁽¹⁶⁾ は抗張力 56 kg/mm² の軸材から中



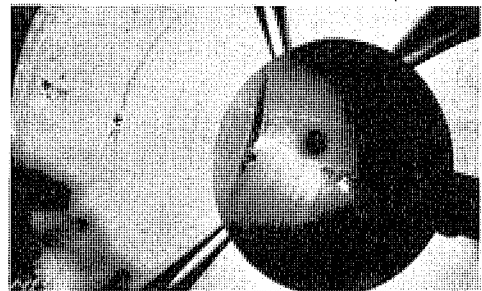
第 30 圖 壓 縮 試 験 A 1924

心孔の試験片を取った所、抗張力 55 kg/mm²、伸 29%、絞 42% と言ふ様な靱性を示すものであるが、中には抗張力は 75 kg/mm² も出るが伸 6.5%、絞 10% と言ふ様なものがあり、全く鑄鐵の様な破面を示すものもある事を述べてゐる。そして又設計者にとつて重要なのは中心部の強さであつて外部の強さなどどうでもよいのに、製鋼者からは外部の強さしか保証してもらへないのは不幸な事であると歎いてゐる。この様に中心孔から試験片を取ることは手数がかゝるので、一般には検孔鏡でのぞき之を擴大して内表面の状態を調べるに止めてゐる。第 31 圖は仕上り 30 廻級の軸を検孔鏡でのぞいたまゝの寫眞で、之を擴大したものが第 32 圖である。之は明かに疵を判断出来る場合であるが、偏析の程度に依つては砂疵かガス孔か割れか判断のつかぬ場合が多い。例へば第 33 圖は仕上り 18 廻級の軸の中心孔で小さい砂疵らしいものが一面に分布してゐてその採否決定を迷はしめるものである。そのため 75 耗であるべき孔径を 110 耗、125 耗、135 耗と次第に削り擴げて疵の變化の様子を調べたものである。

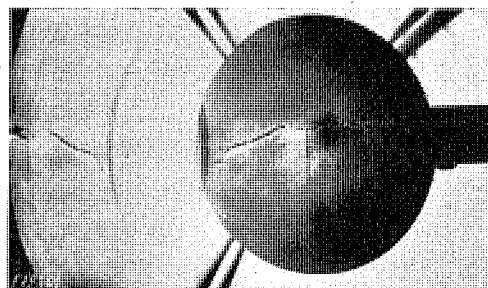
大形軸になれば中心孔が全く無疵である様にする事は實に困難な事である。さりとて之を直ちに廢却する必要



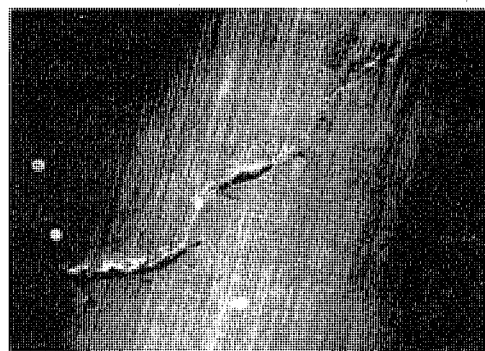
第 31 圖 (イ) 中心孔の疵 # 501



第 31 圖 (ロ) 中心孔の疵 # 501

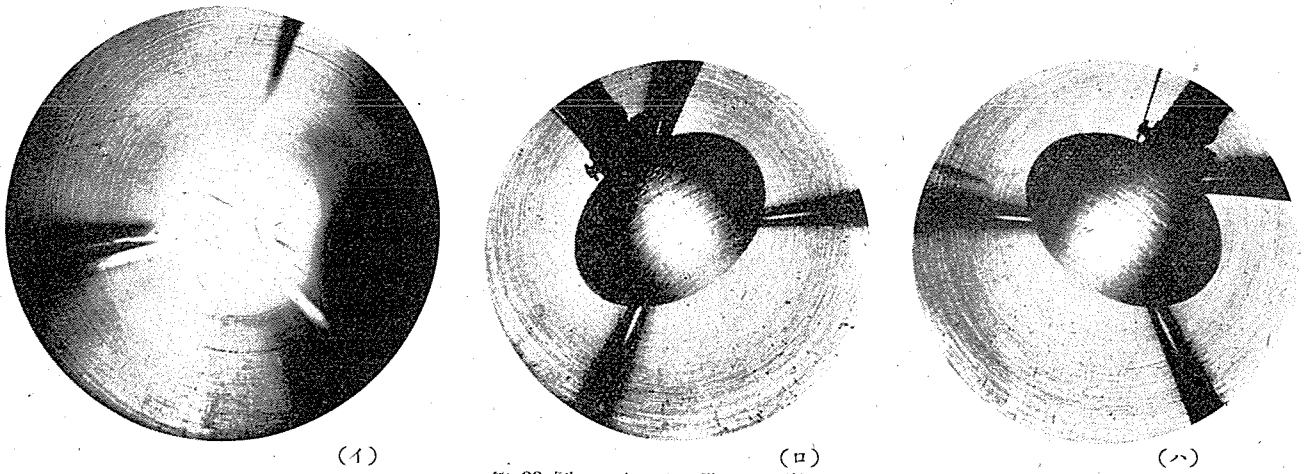


第 31 圖 (ハ) 中心孔の疵 # 501



第 32 圖 中心孔の疵 # 502

はなく、努めて之を取去る様にすればよい。そして之が取去られるならば多少部分的には孔の徑を大きくしても使用上は差支へない。この様に孔の内表面だけ無疵にしてもすぐ次の層には同じ様な偏析層がありはせぬか、若しさうならば表面だけ無疵にしても無意味ではないかと言ふ事も考へられるが、内表面が無疵であれば少くとも塑性變形だけは起すであらうから、孔径を強いて小さく止めて疵を残すよりは、大きくしても疵を取去つた方がよい。併しこの削り擴げにも限度がある事は明かである。故に實際には一部分のみ削り擴げて袋孔として使ふ場合が



(イ)

(ロ)

(ハ)

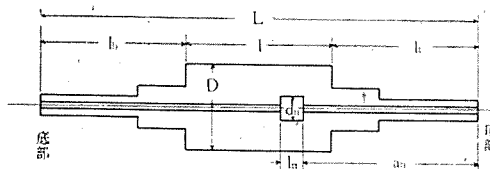
第 33 図 中心孔の疵

非常に多い。見た目には大きくても鋭い割れでなければ少しく剝離ぐれば取り去られるものもあるが、如何に細く見えてもそれが悪性であるか否かを判別する事が重要であつて、鋭い割れを伴つたものは絶対に使用してはならぬ。普通の引張試験は良かったにも拘らず破損した様な場合の多くは、之等悪性の疵の見落しに依る場合が多い。第 14 表は袋孔加工を施したものゝ例であつて、その

寸法の例は第 34 図の様である。この中には一つの袋孔が多数の段付孔になつてゐるものもあるが詳細は省略した。この例より判る様に一般に袋孔は鋼塊の頂部側に多いが、時には底部側に多く出る例もある。

エ. 質 量 効 果

偏析に次いで厄介なものは鍛錬や熱処理に依る質量効果である。炭素鋼を用ひて来た程度の大きさの軸に於ても、合金鋼を用ひねばならぬ程度の大きさのものに於ても、應力の数値に於ては、著しい差は無いにも拘らず含 Ni 鋼を使ふのは、之として質量効果を改善せんが爲である。炭素鋼は合金鋼に比して製作は容易であるが、大形のものとなれば質量効果が含 Ni 鋼に比して甚だ大となる。

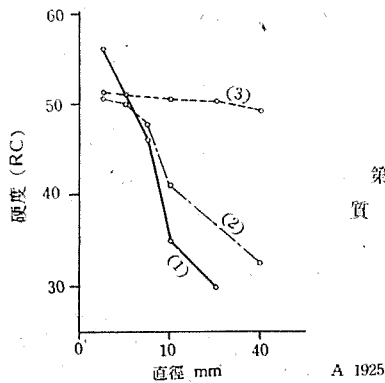


第 34 図 袋 孔 A 1923

第 14 表 袋 孔 の 例

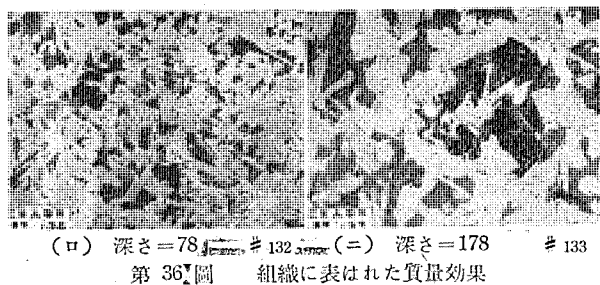
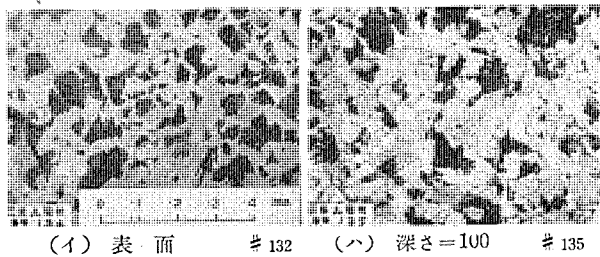
製作所	日 本	"	"	"	"	英 國	"	"	"	"	"	"	"	"
荒削重量	12,400	8,200	3,900	8,700	8,700	17,500	15,500	28,500	17,480	13,300	31,000	15,500	15,500	15,500
L	5,914	6,110	4,960	5,730	5,726	7,400	7,610	8,800	7,900	6,800	8,600	7,400	7,400	7,400
l_b	2,220	2,220	1,450	1,851	1,851	2,170	1,950	2,130	2,010	1,965	2,015	1,965	1,965	1,965
l	2,936	1,740	1,550	1,832	1,832	3,035	3,450	4,535	3,620	2,835	4,535	3,440	3,440	3,440
l_t	758	2,150	1,960	2,047	2,043	2,195	2,210	2,135	2,270	2,000	2,050	1,995	1,995	1,995
D	768	766	570	760	760	851	762	956	798	762	956	763	763	763
d_0	80 86	75 86	53	75 86	75 86	75 86	75 86	100 125	100	75 86	100 125	75 86	75 86	75 86
a_1	993	1,850	1,780	2,580	1,590	2,679	1,630	2,310	2,830	2,060	2,180	2,350	1,730	3,040
$d_1 \times l_1$	85 × 50	82 × 1490	57 × 50	110 × 250	95 × 1630	143 × 181	103 × 330	104 × 178	103 × 75	94 × 394	187 × 330	94 × 127	99 × 171	114 × 3000
a_2	1,268		1,980				2,520		2,980	2,710	2,510	4,100	2,280	6,040
$d_2 \times l_2$	91 × 60		57 × 75				104 × 502		122 × 75	97 × 330	137 × 535	94 × 102	122 × 141	102 × 555
a_3	1,528		2,990				4,265		4,200	3,040	3,045		4,800	
$d_3 \times l_3$	96 × 124		5 × 550				101 × 725		189 × 64	94 × 178	159 × 330		127 × 178	
a_4										3,880	4,270			
$d_4 \times l_4$										134 × 920	147 × 127			
a_5											5,360			
$d_5 \times l_5$											147 × 203			

(重量ハ kg, 寸法ハ mm, * 印ハ段付袋孔)

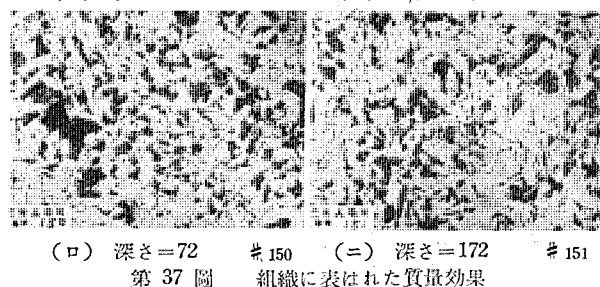
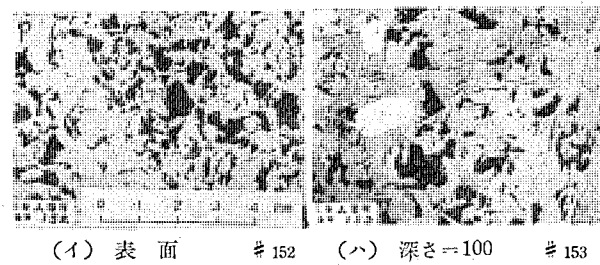


第 35 圖
質量効果

例へば第 35 圖は (19) (20) の比較をするため炭素鋼及び含 Ni 鋼に就き種々の直径の棒の中心の硬度を測つた結果である。かゝる小さいものに於ても炭素鋼に於ては径が大きくなれば急に性質が悪くなるが、Ni が増して来れば殆ど質の低下がなくなる。併し含 Ni と雖も外周と中心とが同じ強さを持つのは精々数耗から数 10 耗程度である。それ以上にあれば大なり小なり質量効果が表はれて来る。併し Ni を含ませて Cr や Mo 等で補ふ時は炭素鋼に比し大に質量効果が改善される。併し今日含 Ni 鋼



第 36 圖 組織に表はれた質量効果

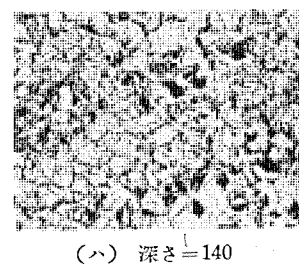
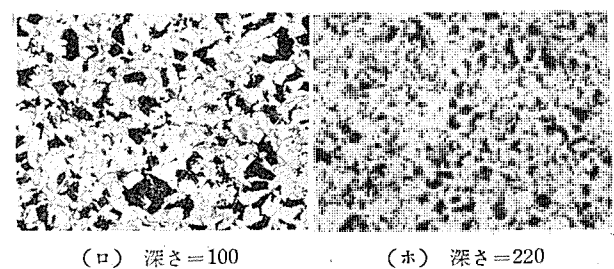
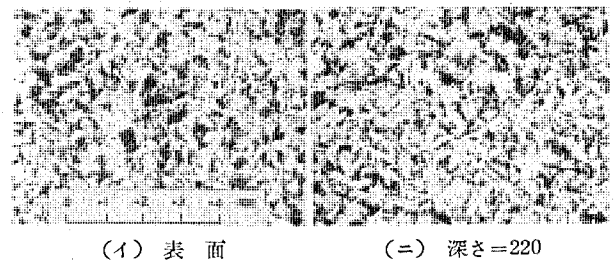


第 37 圖 組織に表はれた質量効果

を用ふる軸は直径が 700 耗から 1000 耗程度であつて、重量も 10 数吨から数 10 吨に及ぶから Ni を含ませて特殊な粗留波組織を出す様な熱処理を講じて、尚内部の組織と外部の組織とを同じ様にする事は困難である。之が対策として内部からも熱処理が利く様に中心に孔を穿けて焼入をする場合もあるが、この孔の大きさも軸頭や中心孔応力の関係上制限がある。この制限内の孔を穿けたのでは油焼入をしても油が焰となり、水焼入をしても水蒸氣が出来て熱傳導を防げるため急冷効果は僅かなものとなり、結局中心部は依然として焼戻の組織の儘残つてゐる。

之に對する他の方法としては表面に數個の溝を切つて熱処理することもある。併し之は材質にむらがあつたり、熱処理装置に非對稱があると溝にくせりを生じて仕上加工が困難になるから、造塊や熱処理装置に充分の注意を要する。又この粗溝は最後の溝寸法に熱処理中のくせりを見込んだ仕上代をつけて置かねばならぬので、粗溝は幅が狭くて深いものとなるから、之で質量効果を取去るためには熱処理に充分の吟味を加へねばならぬ。第 36 圖及び第 37 圖は炭素鋼の打上げ 4 匙級の軸に表はれる組織であつて表面より各深さに於ける組織の變化を示すものである、之が含 Ni 鋼となれば第 38 圖或は第 39 圖の様に殆ど見分けがつかぬ程度となる。

併し之を避けるため若し焼入に重きを置いて中心迄充分焼入を利かせ様とすれば、それだけ焼戻にも充分の注意をしなければ熱歪が残る。之も壓延機の様内部に應力が残つても軸体内で平衡して使用されるものはよい



第 38 圖
組織に表はれた
質量効果

第15表 溝寸法変化表

順序	1	2	3	4	5	6	19												
イ	.25	.24	.22	.21	.20	.17	.20												
ロ	.27	.26	.25	.23	.23	.23	.25												
ハ	.24	.23	.20	.19	.18	.17	.19												
順序	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
ニ	.25	.24	.23	.21	.20	.20	.19	.20	.19	.19	.19	.18							
ホ	.27	.26	.27	.26	.27	.28	.28	.29	.29	.295	.295	.30							
ヘ	.23	.22	.21	.19	.17	.16	.15	.15	.14	.12	.12	.11							

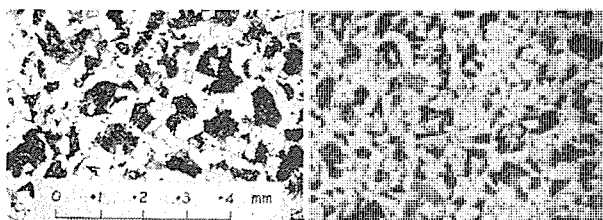
(符號ハ總ベテ+)

第16表 深部管錐試験

位 置	番 號	抗 張 力 kg/mm ²	降 伏 點 kg/mm ²	伸 %	絞 %
B 100	R 92	70.0	42.8	24.0	26.8
C 100	R 93	70.2	42.9	16.8	16.3
T 100	R 98	71.4	40.3	22.8	35.5
B 140	R 91	68.5	41.8	21.6	37.8
C 140	R 96	68.6	40.6	16.0	16.8
T 140	R 97	70.6	40.0	14.8	24.7
B 180	R 90	69.2	40.3	14.4	18.2
C 180	R 95	70.6	40.8	16.0	24.3
B 220	R 89	72.2	39.9	14.8	26.1
C 220	R 94	70.6	38.6	18.0	35.5
T 220	R 99	70.5	40.3	14.0	16.3

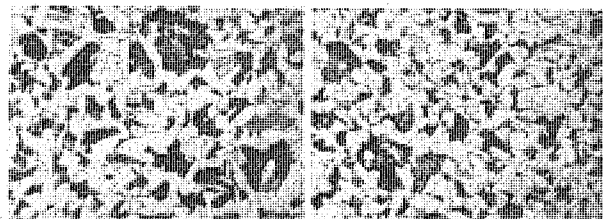
化學成分	C	P	S	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
	0.32	0.014	0.006	0.49	0.23	2.44	0.85	0.36

が、発電機軸の様に外周に溝を切るものでは、溝加工のため応力の平衡が崩れると溝寸法が加工後自然に變化して行く事がある。例へば第15表は仕上り11廻級で、成分及び管錐試験の結果第16表の様な性質を有し、第39圖の様な組織を有する軸に溝切作業を施した時の、作業中に於ける溝の頭部の寸法の変化を示したものである。數値は25耗の規定幅に對して廣くなつた分を耗で表した値である。表に於てイ、ロ、ハ、ニあるは第40圖の様に軸



(イ) 表面

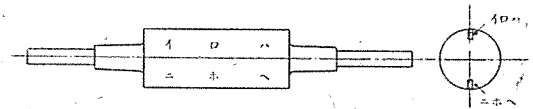
(ハ) 深さ=120



(ロ) 深さ=100

(ニ) 深さ=220

第39圖 組織に表はれた質量効果



第40圖

溝寸法測定位置 A 1926

第17表 溝寸法の変化

順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	19
イ	0.40	0.40	0.42	0.39	0.47	0.40	0.47	0.40	0.49	0.48
ロ	0.41	0.41	0.44	0.41	0.48	0.41	0.49	0.41	0.52	0.51
ハ	0.40	0.41	0.42	0.43	0.46	0.44	0.47	0.43	0.49	0.48
順序	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
ニ	0.40	0.41	0.42	0.40	0.44	0.40	0.46	0.41	0.49	
ホ	0.41	0.41	0.46	0.40	0.48	0.42	0.49	0.42	0.55	
ヘ	0.42	0.42	0.43	0.42	0.45	0.43	0.47	0.44	0.50	

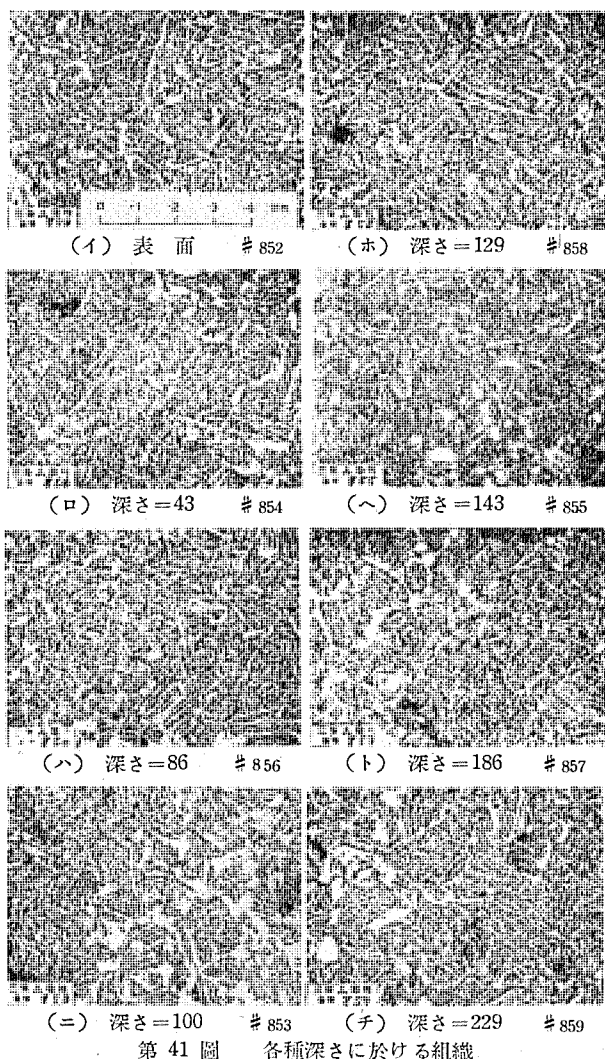
(符號ハ總ベテ+)

第18表 溝寸法の変化

順 序	1	2	3	7	8			
イ	0.18	0.18	0.25	0.26	0.18			
ロ	0.18	0.20	0.30	0.26	0.18			
ハ	0.18	0.18	0.25	0.22	0.18			
順 序	4	5	6					
ニ	0.11	0.19	0.25					
ホ	0.12	0.22	0.26					
ヘ	0.11	0.19	0.28					
化學成分	C	P	S	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
	.3	.03	.025	.59	.22	3.13	.11	.21

(符號ハ總ベテ+)

方向で3點對稱の位置にある溝を測つたものである。順序とあるは測定順序で溝を10耗づつ深める毎に溝の頭部の幅を測つたもので、溝が掘り下げられるに従つて幅が狭くなつてゐる。第17表は第37圖の様な組織を有する炭素鋼軸に於ける例で數値は27耗の規定幅より狭くなつた分を表はしてゐる。第18表は第41圖に類似の組織を有する軸で、第19表は第32圖に類似の組織を有する軸の例であつて、之では溝加工のために溝幅が廣くなつた傾向がある。一般に狭くなる場合が多いがこの様に廣くなる事もある。而もその變化も一方的でなく加工が進むに従つて狭くなつたり廣くなつたりする。之は内部應力の残り方に依つて異なるものである。残留應力が大きくなると加工中に割れた迄發展して軸を無駄にする事がある。次に示すのは50,000kW、3,000 r.p.m. 機の軸材に於ける特別な例である。その組織は第41圖の様に各深さに就て殆ど變化を認めず、その強さも第20表及び第21表に示す様に表面管錐でも深部管錐でも殆ど差異を表はさぬ優秀な軸であつた。中心孔検査も無事に合格したので、次の溝切作業に移つたが殆ど導体溝の底に近づいた頃溝底の一部に軸方向に疵らしいものが表はれた。最初



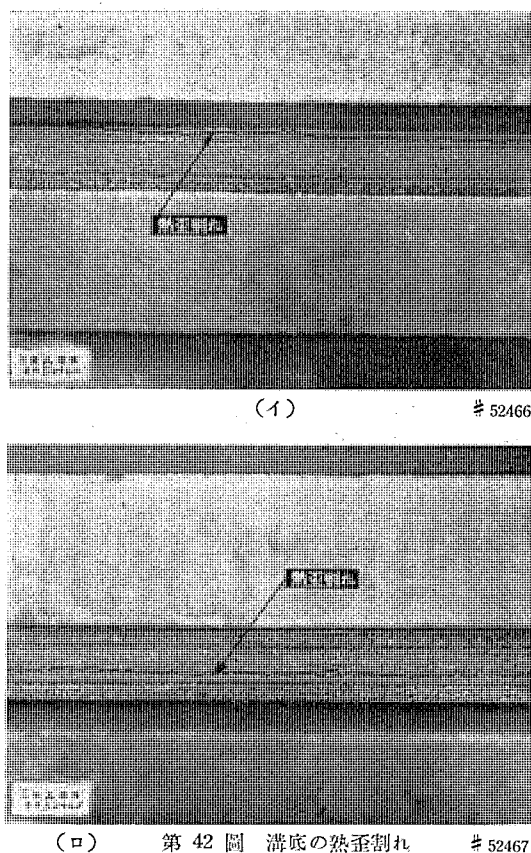
第 41 圖 各種深さに於ける組織

第 19 表 溝寸法の變化

順 序	1	2	3	4	5	6	13
イ	.26	.22	.25	.27	.20	.19	.30
ロ	.24	.27	.24	.27	.20	.18	.33
ハ	.25	.24	.24	.23	.20	.19	.35
順 序	7	8	9	10	11	12	
ニ	.36	.35	.30	.32	.33	.35	
ホ	.38	.37	.33	.34	.38	.40	
ヘ	.37	.37	.35	.34	.35	.38	

(符號ハ總ベテ+)

は局部的の疵と思ひ尚寸法に餘裕があつたので、削進んで見た所削るに従つて疵は次第に長くなつて來た。溝幅を測つた所兩端では殆ど指定寸法に合ふが、疵の表はれた部分では 1.55 耗も廣くなつてゐた。疵も日が経つにつれて割れ目がはつきりして來た。依つてその深さを知るため導体溝を終つて通風溝に削り進んだ。併し規定寸法内では遂に削り取る事が出來ず、割れ目の開口も次第に増大し長さも殆ど溝の全長に及ぶに至つた。割れ目は第 42 圖の様に肉眼で判然と見える様になつた。之は次の理由に依るものと考へられる。之が鋼塊は少くとも 80 吨乃至 100 吨であるため内外部の冷却速度が異り、外部は早



第 42 圖 溝底の熱歪割れ

く冷えて壓縮層帯を作り、内部は外部の硬化に引きづられて引張層帯を作る。故に外部の壓縮層帯に溝を切り進んで行けば、この層帯は無應力となり溝帯は次第に狭くなるが、更に深めて引張層帯に削り込めば溝の幅が廣くなつて來る。この軸に於ては各部分の組織も物理的性質も殆ど異つてゐないので分子構造は大體同じ様なものと考へられ、只各分子の應力の受け方が異つてゐるものと思はれる。故にかゝる歪は引張試験をするため試験片を取り出したのでは、前述の様にその試験片が受ける應力状態と軸自身が受ける應力状態とが異なるためその検査は出來ない。應力状態のみ異なる場合には X 線検査に依らなければならぬが、直径が 900 耗以上に及ぶ本軸の如きに於てはそれも不可能である。故に使用者側としてはかゝる大形鍛鋼になれば、何時もかゝる應力が残つてゐるものとして考へて、溝切作業の工程を充分吟味すべきである。例へば溝を切る場合第一の溝を 1 回で深く切つてしまへば、その溝だけで全軸体の熱歪を負ふこととなり割れを生ずる様なことになるから、各溝平均に削り進んで行くのも一方法である。

又焼入歪が起す缺陷の他の例として仕上り 18 吨級の軸材が製鋼會社を出て筆者の工場に受入れられた時迄は完全に中心の通つた軸材であつたにも拘らず、1,2 ヶ月後愈々機械加工を始める時に至つて曲りを生じてゐることを發見した。この例では部分冷熱法に依つて曲りは矯正されたが、この歪がひどくなり軸頭部の削代が少ない場合には廢却の已むなきに至る事もある。

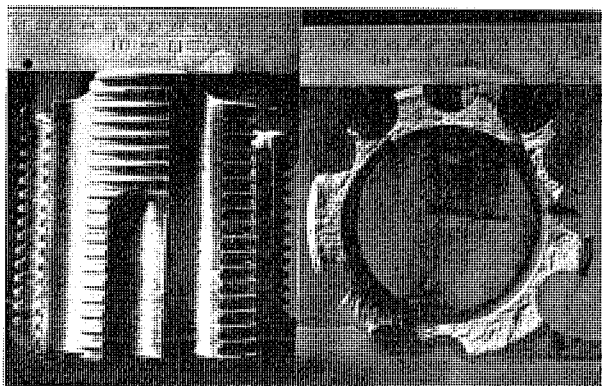
之は内外部に於ける熱歪の例であるが、J. A. Kuysev

(16) は長さ方向に於ける熱歪のため、溝切作業に依つて齒の中の放射通風孔を境として、溝幅が約 2.5 耗も波形に變形を生じた例を示してゐる。

従来タービン発電機軸を論ずる場合一般に強度や砂疵、割れ等に就いては關心を持たれてゐるが、その強度を生む所の組織に就いては等閑に附されてゐる感がある。前述の様に大形軸ともなれば二次的に熱処理や鍛錬に依つて内部迄その性質を變更することは困難であるからその持つて生れた組織が重要な資料となる。組織を見れば矯正出来るものか否かを知る事が出来、或場合にはそれ以後の諸試験はしなくとも判断をつけることが出来る。故に深部管錐試験を取つたら先づその両端面の顕微鏡寫眞を取つてその組織や質量効果の状態を吟味することが必要である。

6. 均一性の要求

如何なる鍛鋼品に於ても不均一であつてよいものは無いにしても、タービン発電機軸の様に特殊な應力状態にある大形のものでは均一性の問題が特に重大となる。均一性さへあれば強度規格は今少し切下げてもよい場合がある。歐洲の文献に依れば所謂材料試験には無事合格しながら頻々として軸の破壊が起つたと言ふ事が報告されてゐる。之は見落されて内部に残つた不均一が長時日の運轉中惡性の進行を示して遂に破壊に至つたものである。例へば前記白點の項で述べた様に分離を起した點から試験片を取つても尙満足な成績を表はしてゐる。又大容量 4 極機の組立式回轉子を組立中 Ni Cr Mo 鋼の約 130 耗徑の締付ボルトが切れた事があつた。この原因はネジの加工にも依つたが断面も相當に粗い結晶が見え組織もあまり良いものとは思はれなかつたので、切片を更に試験するため引張つてみたが切れない。更にボルトのネジ部分や内部を錐で採み取り肉を減じて次第に抗張面積を減じ第 43 圖の様にしてみたが遂に先きに切れた荷重では引切ることが出来なかつた。又 Rickli (13) は疵があるため廢却となつた軸材から圓板を切り出し、之に溝を切つて回轉子の状態となして過速度試験をした所、齒の根元や中心の應力が當然材料の抗張力を超えてゐるにも拘らず、仲々破壊が起らぬので、遂に切缺を入れて破壊させ

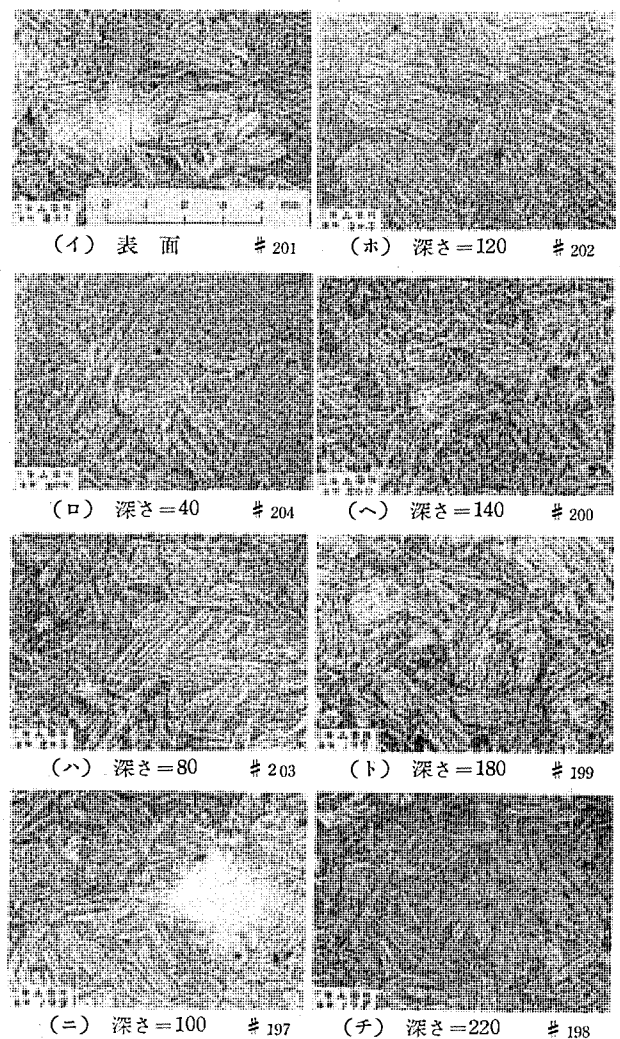


第 43 圖 切損ボルトの断面

たと報告してゐる。瑞西 (18) でも類似の事が報告されてゐる。之等の例は明かに何れも材料の均一性の重要な事を教へるものであつて、均一にさへ出来てゐれば抗張力を超したと思はれる程の應力に對しても耐え得る事もある

併し現在この不均一性を直ちに検出する方法がないので、工程の段階としては従来の引張試験を行ひ、而も深部管錐法がよく、且つその組織を検べなければならぬ。併し之とても局部的結果の集りに過ぎぬので、全般的には溝切後の内面検査を光學的磁氣的等入念に行ひ、更に進んで豫備過速度應力試験を行はなければならぬ。組立完了後規定の過速度試験を行ふ迄にこの試験に對する安全性を確認して置くべきである。

以上は検査法に依つて不均一の缺陷を補はんとするものであるが、又根本的に材料の改良をも與へねばならぬ。之がため採用されたのが Ni 添加による改良である。之に依つて一時は軸の缺陷も補はれた感があつて、タービン発電機も長足の進歩をしたが、之が更に大きくなるにつれて、Ni 添加に依る白點の生成や大物の質量効果に到達した。於茲 Ni 鋼や Ni Cr 鋼よりも熱処理の感受性の少ない自硬性の強いものが要求される様になつた。之が進歩して Mo の添加に依るベーナイト組織となつた。



第 44 圖 針地鐵組織

Mo を入れると空冷しただけでも針状地鉄を生ずる性質を持ち、相當内部迄この組織が滲透する。第 41 圖は米國製の仕上り 20 匙級の軸の組織であつてその強さは第 20 表や第 21 表の様である、第 44 圖は米國製の仕上り 20 匙級の軸の組織で、製鋼會社に於ける表面管錐試験は第 22 表、筆者の工場に於ける深部管錐試験は第 23 表の様な値を持つ材質であつて、前者とは多少異つた針状地鉄を示してゐる。

この様に針状地鉄は空氣冷却の儘でも質量効果少く強靱な性質を有する組織であるから、大形打物に對しても一つの進歩として採用されてゐるが、之でも總べての解決が與へられた譯でなく、偏析も出れば第 42 圖の様な割れも出るので、タービン發電機軸材としては尙進んで研究を要するものである。

結 言

高速度回轉機であるタービン發電機を製作するに當り完全な回轉子材を得ることは最も重要なことである。而して現在の我國の製鋼技術の水準では、この種の軸に關する限り充分なものとは言へず幾多研究の餘地が残され

てゐる。その中でも最も重要なことは均一性の問題である。従つて使用者側に於ても之が検査は最も慎重に行ふべきである。完全な検査は困難であるにしても、實際應力のかかる深部の材質を吟味することは是非必要である。結局は過速度試験で最後の審判は下されると言へ、事此處に至つては線輪を入れてゐなくても入れてゐても、萬一の場合の犠牲は莫大なものである。

本文に於て述べたのは過去の資料であつて専ら含 Ni 鋼に就いて吟味したのであるが、我國の現状では Ni の使用を許さぬ状態にあるので、どうしても非 Ni 鋼に依らねばならぬ。加之事情は Mo や W の使用にすら考慮を拂はねばならぬ。非 Ni 鋼で Mo や W を十分に含みぬ大形の軸材を打つ事は、均一性の點に於て遙かに含 Ni 鋼より困難であつて、10 耗や 100 耗の試材で云々する事は甚だ危険な事であるから、どうしても實物大の試作品を作つて研究しなければならぬ。さればとて不均一性は非 Ni 鋼には當然のものとして、戦時中だから不完全なもので我慢すべきだとなすが如きは、一應時代認識的ではあるが、それでは我國の製鋼術の發達は望めない。戦争はあらゆる不可能を可能にして行く。他方使用者側も徒らに過去の平和時代をのみ夢みることなく、製鋼者の困難を如何にして補ふか、仕様や構造に就いても

第 20 表 表面管錐試験

位 置	番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %			
鐵 心 端	A 1	74.1	65.0	24.0	50.0			
	A 2	74.1	63.7	22.0	50.0			
	A 3	72.8	58.6	24.0	50.0			
	A 4	72.8	59.8	24.0	50.0			
鐵 軸	A 5	73.0	60.8	23.5	52.5			
	A 6	73.8	64.2	23.0	50.0			
	A 7	74.0	63.8	22.5	48.5			
	A 8	73.2	63.8	23.0	50.0			
端 心	R 1	72.8	63.7	20.0	39.5			
	R 2	72.8	58.6	19.0	36.5			
	R 3	72.8	65.0	20.0	39.5			
	R 4	74.1	62.4	20.0	33.0			
軸 端	衝 擊 值 シタルピー kgm/cm ²	I ₁	4.0	12.8				
		I ₂	4.3					
		I ₃	3.7					
		I ₄	4.0					
化學成分	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
	0.31	0.22	0.57	0.024	0.026	3.26	0.14	0.19

第 21 表 深部管錐試験

位 置	番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %
B 100	R 101	71.5	49.2	18.0	33.5
C 143	R 102	70.2	47.5	22.0	37.4
C 186	R 103	70.0	45.1	18.0	37.4
T 229	R 104	71.4	47.7	20.0	37.8

第 22 表 表面管錐試験

位 置	番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %
鐵 心	R ₁	86.0	59.0	18.0	42.1
	R ₂	84.5	55.5	18.0	39.5
	R ₃	84.5	61.2	17.0	37.7
	R ₄	81.5	57.7	22.0	49.1
心	A ₁	79.2	59.8	23.0	58.5
	A ₂	79.5	57.0	23.5	58.3
	A ₃	78.0	58.4	24.0	58.5
	A ₄	81.5	60.5	22.0	55.2

第 23 表 深部管錐試験

位 置	番 號	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	
B 100	R 214	86.0	65.9	16.4	28.2	
C 100	R 215	83.4	64.5	20.0	38.2	
T 100	R 220	78.6	56.8	22.0	40.8	
B 140	R 213	81.2	62.4	22.4	49.0	
C 140	R 218	86.8	67.7	18.4	40.0	
T 140	R 219	84.0	62.1	18.8	40.0	
B 180	R 212	77.4	57.5	21.2	39.7	
C 180	R 217	81.7	61.4	18.4	40.0	
T 180	R 222	85.8	65.2	14.0	26.6	
B 220	R 211	81.3	62.6	17.2	26.1	
C 220	R 216	80.2	54.6	18.0	40.4	
T 220	R 221	81.9	62.7	16.8	38.2	
化學成分	C	Ni	Cr	Mn	Mo	Si
	.35	2.68	.43	.77	.44	.20

更に一段の研究をすべきである。而も之は早急に解決して置かねばならぬ問題であつて、やがて来るべきを恐れられてゐる電力飢饉に處して、生産の戦時状態を満足に切り抜けて行く事は出来ない。斯くの如きは一製鋼や一電機製造者の研究として薬籠中に納むべきでなく、之等が打つて一丸となり相提携して研究に當り、一時も早くこの難關を打開すべき方法を講ずべきものと信ずる次第である。

文 献

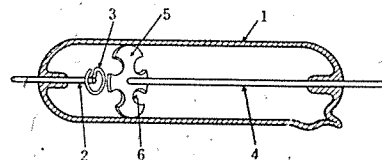
- (1) S. F. Barclay: The Mechanical Design and Specification of Turbo-Alternator, J.I.E.E. 56 472 (1918)
- (2) 納富盛一： 発電機とニッケル合金日 本ニッケル時報 (昭12-13)
- (3) 土師寅造： 關西共同火力発電株式会社 62500 kVA タービン発電機 芝浦レビュー 11 553 (昭8-11)
- (4) 土師寅造： 27,500 kVA 3600 RPM タービン発電機 芝浦レビュー 4 137 (昭11-4)
- (5) S. P. Smith: Report on Three-Phase Turbo-Alternator, The Engineer. 3769 1 (1928)
- (6) Works Test on A 43,750 kVA Turbo-Alternator, Engineering. 130 1 (1930)
- (7) L. Kropff: Eine Spitzenleistung im Elektrogrossmaschinenbau 80,000 kVA Turbo-Generator mit 3000 U/min, Siemens Zeit. L. 13 85 (1933)
- (8) Kropff: Die grössten Turbogeneratoren für 3000 Umd/min, Siemens Zeit. 9 426 (1926)
- (9) 土師寅造： 93750 kVA タービン発電機 芝浦レビュー 3 89 (昭14-310)
- (10) 木塚半三： 31250 kVA タービン発電機に就いて 芝浦レビュー 9 353 (昭14-9)
- (11) 石黒九一： 31250 kVA タービン発電機に就いて 三菱電機 3 14 (昭10-3)
- (12) M. L. Britsyn: A Two-Pole Turbo-Alternator of 100,000 kW Built by The Factory "Electrolisia" Leningrad, The Engineers Digest 1 7 (1940)
- (13) H. Rickli: Mechanical of Safety in Large Turbo-Generator, W.P.C. No. 121 (1929)
- (14) Precaution to Assure Safety of High Speed Rotors, Electrical World 96 117 (1930)
- (15) E. Wilzeck: Entwicklung der Wechselstrom-Dampfturbogeneratoren, E u M 51 685 (1933)
- (16) J. A. Kuyser: Recent Developments in Turbogenerators, J.I.E.E. 67 1081 (1929)
- (17) Ventilated Rotors for Turbo-Alternator, Engineering 137 536 (1934)
- (18) Bull. de l'Assoc. Suisse des Elect. (1930)
- (19) 清水、竹本： 炭素鋼の質量効果に就いて、電氣製鋼 18 260 (昭17-7)
- (20) 清水、竹本、杉： 特殊鋼の質量効果に就いて、電氣製鋼 19 17 (昭18-1)

長陰極型放電管

(三菱實用新案登録 第 321030 號)

航空機等の方向探知器に於ける指向性直視装置に使用される耐震型長陰極放電管の改良に關するもので、兩端を密閉した硝子管(1)の一端から、陽極(2)を突出させ、他端から封入突出させた細長き陰極棒(4)と對峙せしめ、更に陰極棒(4)の先端には、陰極端体(5)を附し、その中心は陰極棒に接合し、外縁は硝子管(1)の内壁に軽く接し、常に硝子管の略々中心線上に保持される様にしてある。尙圖中(3)は陽極端体、(6)は陰極端体の剝拔部を示す。

放電時には或印加電壓に於て、陰光芒が発生し、



一時は陰極端体(5)により限定せらるゝも、印加電壓が増大するに従ひ、陰光芒は、剝拔部(6)より導体(4)に沿つて除々に成長する。従て光芒の長さにより印加電壓を知る事が出来、又硝子管(1)を導体(2)(4)を含む平面で回轉させると陰光芒の圖形が畫けるのである。

本案は陰極導体の中途に支柱其の他の障害物がなから、印加電壓の變化に伴ふ陰光芒の伸縮が圓滑となり、指示又は圖形が明瞭で、而も耐震的である。

(中野)

周波數辨別回路に就て

研究部 杉 多 重 雄

内 容 梗 概

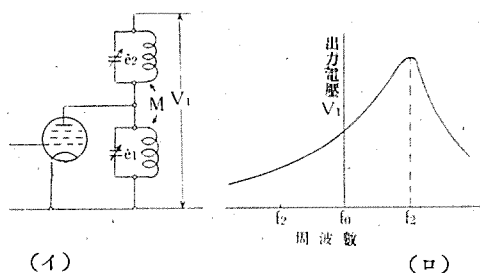
周波數變調或は自動周波數制御等に多く使用される周波數辨別回路に就て、Foster, Seeley 等の解析より更に實際に適した一般的な場合に就て解析並びに實驗を行ひ、諸種の周波數特性を求め、感度動作範圍等に就て最適使用條件を決定し、又此種回路により周波數變調波が復調される様子を簡単な計算により目安を付けてみた。

1. 緒 言

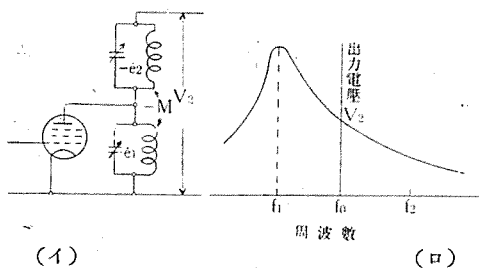
周波數變調による通信方式に於ては、周波數變調波を復調する爲に、受信機内に周波數辨別回路を備へてゐる。一般に周波數變調波を復調するには、周波數に直線的に比例した出力特性を有する回路網が必要で、此が所謂周波數辨別回路と云はれるものである。此種のものとしては、Foster, Seeley 等の考案になる回路が多く用ひられて居り、回路の解析も上記の人々⁽¹⁾及び Roder 等⁽²⁾により行はれてゐるが、何れも一次二次回路の Q を等しいと假定してゐる。然るに實際の回路では檢波管の整流作用の爲に一次二次の Q は等しく無い。本文は斯くの如き場合に就いて、種々の解析並びに實驗を行ひ、一次二次の結合度も臨界結合の場合が好都合である事を示してゐる。之に就いては過日電氣學界誌⁽³⁾に報告した處である。猶又簡単な計算により振幅變調を伴つた周波數變調波の檢波出力を求めて、本回路のみによつても振幅變調或は妨害雜音が著しく減少する様子を示してゐる。

2. 動作原理

同じ周波數に同調した二つの回路を誘導的に結合して其の一方にのみ入力電壓を加へると、二つの回路の兩端に發生する電壓の間には或る位相差 θ を生ずる。此の

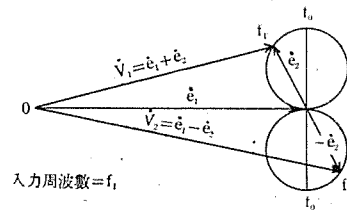


第1圖

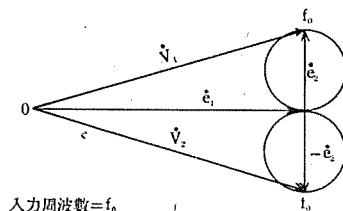


第2圖

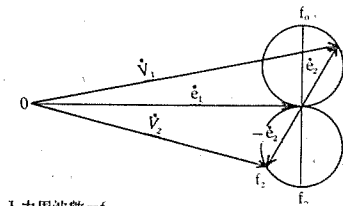
θ は入力周波數によつて變化し、同調周波數の場合には $\pi/2$ となる。従つて兩回路の電壓のベクトル和、或は差を取ると、其の絶對値の大きさは周波數によつて變化する即ち第1圖(イ)の如く周波數 f_0 に同調した一次二次回路を誘導的に結合し、入力電壓を一次回路の兩端に加へて、出力を一次二次直列にした所より取出せば、同圖(ロ)の如く最大出力が f_0 よりやや離れた所に生ずる。又第2圖の如く二次の極性を反對にすれば前者と逆になる。此等の關係は第3圖のベクトル圖より容易に想像出来る。



入力周波數 = f_0



入力周波數 = f_1



入力周波數 = f_2

第3圖

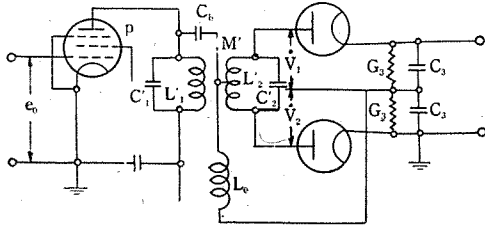
ベクトルの説明圖
(e_1 は周波數により殆んど變らぬものと考へてゐる)

従つて第4圖の如く二次回路の中性點に一次回路を接続して、其の兩端より夫々電壓を取出せば V_1 及び V_2 が得られる。之を各々二極管等により整流した後、其の差を取出せば周波數に直線的に比例した所謂周波數辨別器特性即ち第6圖、第7圖の如きものを得る。

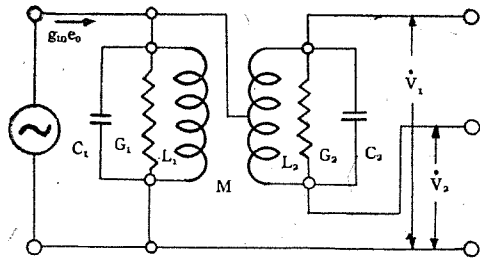
3. 回路の解析

第4圖は周波數辨別回路として實際によく用ひられる

回路で、 C_0 は直流阻止蓄電器で其のリアクタンスは無視出来る。 L_0 は整流電流を通ずる爲の塞流線輪である。整流管としては 6H6 の如き二極管を用ふ。 G_0 は其の負荷コンダクタンス、 C_0 は側路蓄電器である。一次回路には真空管内部抵抗 ρ 、塞流線輪 L_0 の損失、及び 2 個の整流回路が並列に存在し、二次回路には 2 個直列になつた整流回路が並列に存在してゐる。此等全損失を含めた一次二次回路の等価損失コンダクタンスを夫々、 G_1 、 G_2 とし、下の如く記號を定めると第 5 圖の如き等価回路を得る。



第 4 圖 周波数辨别回路



第 5 圖 等価回路

ω_0 , f_0 = 中心角周波数及び中心周波数
 ω , f = 任意角周波数及び任意周波数
 L' , C' = 線輪インダクタンス、及び分布容量
 L_0 , C_0 = 塞流線輪インダクタンス、及び分布容量
 L , C = 全等価インダクタンス、及び全等価容量
 M' , $M = L_1'$ と L_2' 間、及び、 L_1 と L_2 間相互インダクタンス

$$L_1 = L_1' (1 - L_1'/L_0), \quad L \gg L_1'$$

$$C_1 = C_1' + C_0, \quad M = M' (1 - L_1'/L_0)^{1/2}$$

$$m = L_2/L_1, \quad n = Q_2/G_1, \quad Q = \omega_0 C/G$$

$$x = 2Q_1 \Delta f / f_0, \quad \Delta f = f - f_0, \quad \Delta f / f_0 \ll 1$$

とすると、一次二次回路の並列アドミタンスは

$$\dot{Y}_1 = G_1 + j(\omega C_1 - 1/\omega L_1) = G_1(1 + j2Q_1 \Delta f / f_0) = G_1(1 + jx),$$

$$\dot{Y}_2 = G_2 + j(\omega C_2 - 1/\omega L_2) = G_2(1 + j2Q_2 \Delta f / f_0) = G_2(1 + jnx)/mn.$$

一次二次回路の両端に生ずる電圧 e_1 及び e_2 を求めると

$$\begin{aligned} \dot{e}_1 &= \frac{-j\omega_0^2 M^2 C_1 C_2^2 + \dot{Y}_2}{\omega_0^2 M^2 C_1^2 C_2^2 + \dot{Y}_1 \dot{Y}_2} g_m e_0 \\ &= \frac{1 + jnx}{(1 + jx)(1 + jnx) + \eta^2} \cdot \frac{g_m e_0}{G_1}, \end{aligned}$$

$$\dot{e}_2 = \frac{j\omega_0 M \omega_0^2 C_1 C_2}{\omega_0^2 M^2 C_1^2 C_2^2 + \dot{Y}_1 \dot{Y}_2} g_m e_0$$

$$= \frac{j\sqrt{mn} \eta}{(1 + jx)(1 + jnx) + \eta^2} \cdot \frac{g_m e_0}{G_1},$$

但し e_0 = 格子入力電圧、 g_m = 真空管相互コンダクタンス

$$\eta = \omega_0 M \frac{\omega_0^2 C_1 C_2}{\sqrt{G_1 G_2}}$$

實際の結合と臨界結合との比

各々の整流管に加はる入力電圧を \dot{V}_1 , \dot{V}_2 とすると

$$\dot{V}_1 = \dot{e}_1 + \frac{1}{2} \dot{e}_2,$$

$$\dot{V}_2 = \dot{e}_2 - \frac{1}{2} \dot{e}_2.$$

絶対値を取ると

$$|V_1| = \frac{g_m e_0}{G_1} \sqrt{\frac{1 + (nx + \frac{1}{2}\sqrt{mn} \eta)^2}{(1 + \eta^2 - nx^2)^2 + (1 + n)^2 x^2}},$$

$$|V_2| = \frac{g_m e_0}{G_1} \sqrt{\frac{1 + (nx - \frac{1}{2}\sqrt{mn} \eta)^2}{(1 + \eta^2 - nx^2)^2 + (1 + n)^2 x^2}}.$$

此の電圧は $x=0$ なる同調周波数 f_0 にては最大とならず、 x の或る値にて最大となる。即ち第 1 圖或は第 2 圖の如き曲線となる。整流管が直線特性を有する場合には検波管出力電圧 V_{D1} は

$$V_{D1} = |V_1| - |V_2| = g_m e_0 \gamma_1 f(x_1) / G_1,$$

但し

$$\begin{aligned} f(x_1) &= \sqrt{\frac{1 + (nx + \frac{1}{2}\sqrt{mn} \eta)^2}{(1 + \eta^2 - nx^2)^2 + (1 + n)^2 x^2}} \\ &\quad - \sqrt{\frac{1 + (nx - \frac{1}{2}\sqrt{mn} \eta)^2}{(1 + \eta^2 - nx^2)^2 + (1 + n)^2 x^2}} \end{aligned}$$

整流管が自乗特性を有する場合には

$$V_{D2} = (g_m e_0 / G_1)^2 \gamma_2 f(x_2),$$

但し

$$f(x_2) = \frac{2\sqrt{mn} \eta x}{(1 + \eta^2 - nx^2)^2 + (1 + n)^2 x^2},$$

γ_1 , γ_2 = 夫々の場合の検波能率

此等 $f(x_1)$, $f(x_2)$ は周波数辨别回路の周波数に對する特性曲線の形狀を與へるもので、二三の数値を用ひて計算した結果は第 6 圖或は第 7 圖の如くである。

單位周波数の變化に對する出力變化即ち感度を求むるには dV_D/df を求むればよい。此の結果は一般に複雑な式になるが、最も必要な中心周波数 f_0 に於ける傾度 S_0 を求めると、直線検波の場合には、

$$S_{01} = 2 \frac{Q_1}{f_0} \frac{g_m e_0}{G_1} \gamma_1 \frac{\sqrt{mn} \eta}{(1 + \eta^2) \sqrt{1 + \frac{1}{4} mn \eta^2}}$$

自乗検波の場合には

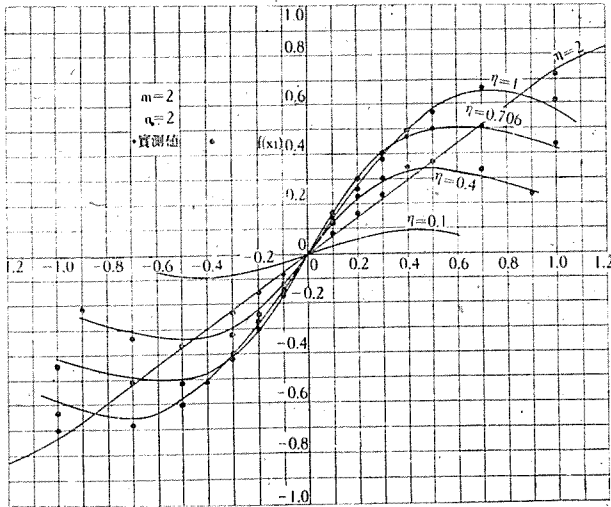
$$S_{02} = 4 \frac{Q_1}{f_0} \left(\frac{g_m e_0}{G_1} \right)^2 \gamma_2 \frac{\sqrt{mn} \eta}{(\eta^2 + 1)^2}$$

傾度を最大ならしめる結合度或は η を求める爲に、上式を η 夫々に就いて微分した結果より、此の値を求めると、直線検波の場合には

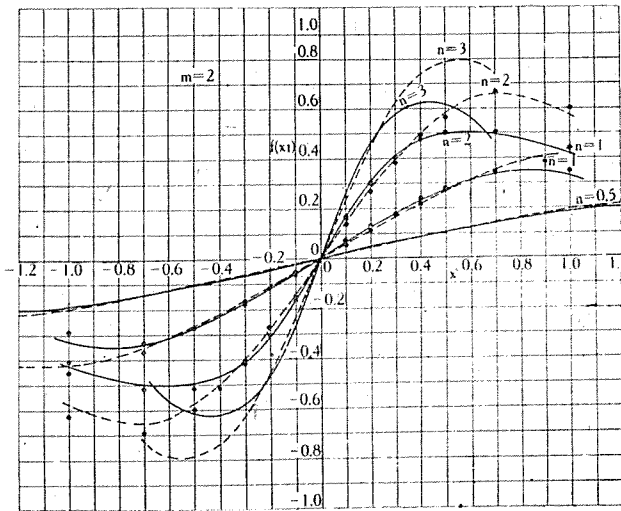
$$\eta_{\text{最良値}} = \sqrt{\frac{\sqrt{1 + 2mn} - 1}{mn}}$$

自乗検波の場合には

$$\eta_{\text{最良値}} = 0.574$$



第6圖 周波数辨别回路特性 (η を變化した場合)



第7圖 周波数辨别回路特性: 實線: η=最良値、點線: η=1 (n を變化した場合)

第6圖は $m=2$, $n=2$ 一定とした場合に、結合度の η を變化した時の $f(x_1)$ の形状を計算により求めたものである。此の時には上式より計算した η 最良値は約0.7となり、 $x=0$ に於ける傾度は最大である。他方 $\eta=1$ 即ち臨界結合の場合に於ても、傾度に著しい低下なく、特性曲線全体の形状としては、直線範囲も前者より大で寧ろ此の方がよい様である。第7圖は $m=2$ 一定として回路の Q の比 n を變化した場合で、實線は η 最良値の場合であり、點線は $\eta=1$ の場合を示してゐる。猶・印點は實點により測定した結果である。此等の関係より周波数辨别回路の静特性の傾度及び直線範囲には、回路の Q 及び結合度に大なる関係がある事が判る。

辨别回路の静特性としては、傾度が大きく且つ動作範囲に於ては直線的である事が必要であると共に、更に周波数變調受信機に於ては妨害信號或は雑音の減少と云ふ點より、特性が中心に關して對稱である必要がある。此の爲には第4圖に於て、各々の整流管入力電壓 \dot{V}_1, \dot{V}_2 は中心周波数に對して平衡を保たねばならない。然るに

實際には整流管陰極の一方が接地される様な場合が多く此等の爲兩回路の對地靜電容量の相違により、不平衡を生じ易い。又總べての入力の大きさに對して兩回路が完全に平衡を保つ事も容易ではない。従つて多少の振幅變調の影響は實際には出力側に残留して出て来る。然し若し前段の増幅器を含めた綜合辨别器特性が、理想的に完全に對稱であれば、前に振幅制限器が全く無くとも、振幅變調の影響は辨别器出力には全く出て來ない。即ち入力周波数が中心位置に固定してゐて、其の振幅のみ變化したのでは出力は零なる事は、上記諸圖の特性曲線より明らかである。従つて希望周波数變調信號波が妨害信號或は雑音等により有害な振幅變調を受けてゐても、其の妨害は著しく軽減せられる。

4. 振幅變調を伴つた周波数變調波の檢波

振幅變調を伴つた周波数變調波が上述の如く辨别回路により其の振幅變調分を除去され、周波数變調分のみ檢波されて出て来る様子を計算により確めてみる。次式の如き電壓が辨别回路入力に印加されるものとする。

$$e_0 = A(1 + k \cos pt) \cdot \sin \omega t + m \sin qt,$$

但し

ω = 搬送角周波数

p, q = 振幅及び周波数變調角周波数

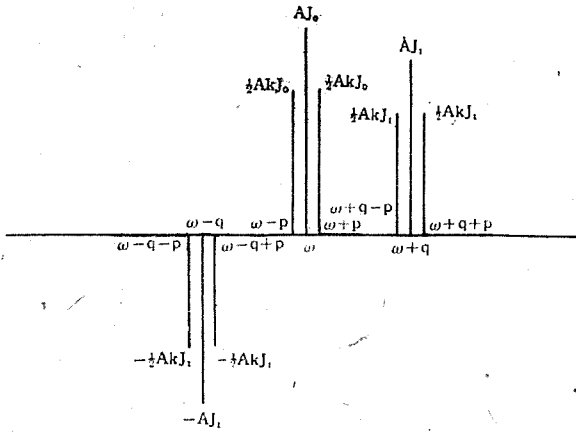
k, m = 振幅及び周波数變調の變調係数

計算は上式を多數の側帯波に展開した後、各側帯波に就いて行へばよいのであるが、側帯波の数を少くして計算を簡單にする爲に、 $m < 1$ なる場合に就いて考へてみる。然し此の考へ方により得られた結論を、 $m > 1$ なる場合に適用しても差支ない事は明らかである。 $m < 1$ とすると前式は

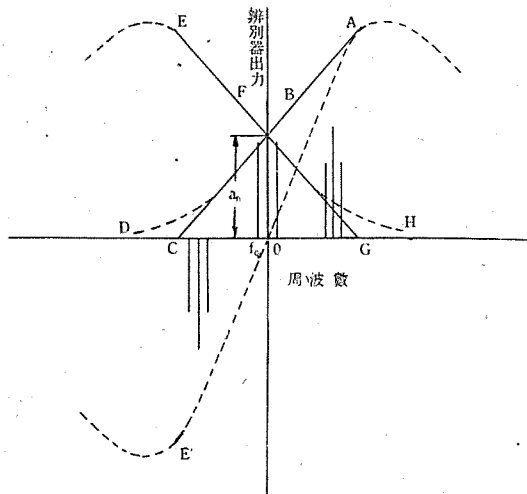
$$\begin{aligned} e_0 &= A(1 + k \cos pt) [J_0 \sin \omega t + J_1 \sin(\omega + q)t \\ &\quad - J_1(m) \sin(\omega - q)t] \\ &= AJ_0 \sin \omega t + AJ_1 [\sin(\omega + q)t - \sin(\omega - q)t] \\ &\quad + \frac{1}{2} Ak J_0 [\sin(\omega + p)t + \sin(\omega - p)t] \\ &\quad + \frac{1}{2} Ak J_1 [\sin(\omega + q + p)t + \sin(\omega + q - p)t] \\ &\quad - \frac{1}{2} Ak J_1 [\sin(\omega - q + p)t + \sin(\omega - q - p)t] \end{aligned}$$

(但し $J_n = J_n(m)$)

此の式の側帯波 スペクトラム を圖示すると第8圖の如くなる。斯くの如き側帯波を有する電壓が第4圖の回路に於つた時を考へてみるに、回路の特性により各側帯波の振幅は各々異つた變化を受ける。格子入力 e_0 なる場合に、各整流管に加はる電壓 V_1 及び V_2 の特性は、夫々第1圖 (d) 及び第2圖 (d) の如くであるが、動作範囲内に於ては簡單の爲に直線と考へて、第9圖の直線 \overline{ABC} 及び \overline{EFG} を以て其の特性を示すものとする。今中心よりの周波数のずれを Δf とすると、直線 \overline{ABC} 及び \overline{EFG} は次の如く示される。



第 8 圖 帯波数 スペクトラム



第 9 圖 周波数辨別器特性と側帯波スペクトラムとの関係

$$\overline{ABC} = a_0 + a_1 \Delta f,$$

$$\overline{EFG} = a_0 + a_1 \Delta f,$$

$$a_0, a_1 = \text{常数}$$

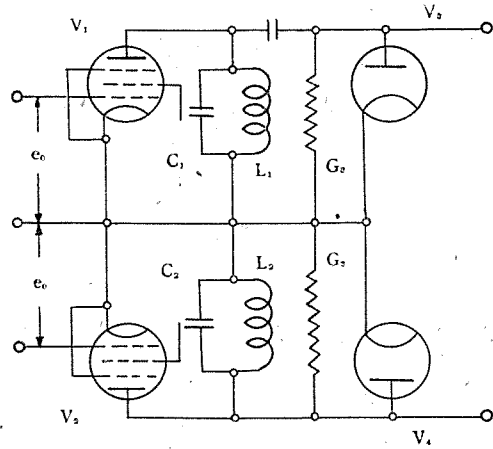
然る時は V_1 及び V_2 は

$$\begin{aligned} V_1 \text{ 或は } V_2 = & AJ_0 a_0 \sin \omega t \\ & + AJ_1 (a_0 \pm a_1 q) \sin(\omega + q)t \\ & - AJ_1 (a_0 \mp a_1 q) \sin(\omega - q)t \\ & + \frac{1}{2} Ak J_0 (a_0 \pm a_1 p) \sin(\omega + p)t \\ & + \frac{1}{2} Ak J_0 (a_0 \mp a_1 p) \sin(\omega - p)t \\ & + \frac{1}{2} Ak J_1 (a_0 \pm a_1 q \pm a_1 p) \sin(\omega + q + p)t \\ & + \frac{1}{2} Ak J_1 (a_0 \pm a_1 q \mp a_1 p) \sin(\omega + q - p)t \\ & - \frac{1}{2} Ak J_1 (a_0 \mp a_1 q \pm a_1 p) \sin(\omega - q + p)t \\ & - \frac{1}{2} Ak J_1 (a_0 \mp a_1 q \mp a_1 p) \sin(\omega - q - p)t, \end{aligned}$$

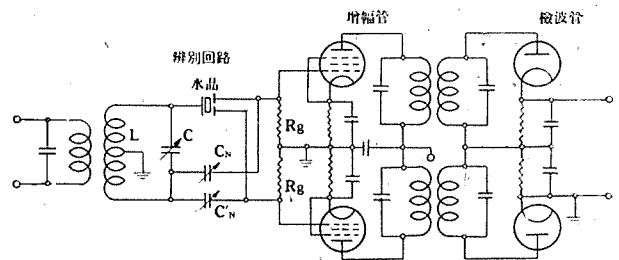
但し複號の上側は V_1 , 下側は V_2 の場合

此の式の電圧が検波管に加へられると、各側帯波は互ひに干渉して喰りを生ずる。此の中より振幅變調分即ち p 成分を生ずる喰り出力のみ集めて合計すると次の如くなる。即ち入力 V_1, V_2 に應じた検波出力を V_{p1}, V_{p2} とすると

$$V_{p1} = \left[\frac{1}{2} A^2 k J_0^2 (a_0 a_0 + a_1 p) + \frac{1}{2} A^2 k J_0^2 a_0 (a_0 - a_1 p) \right]$$



第 10 圖 二同調回路周波数辨別器



第 11 圖 水晶を用いた周波数辨別器の一例

$$\begin{aligned} & + \frac{1}{2} A^2 k J_1^2 (a_0 + a_1 q) (a_0 + a_1 q + a_1 p) \\ & + \frac{1}{2} A^2 k J_1^2 (a_0 - a_1 q) (a_0 - a_1 q + a_1 p) \\ & + \frac{1}{2} A^2 k J_1^2 (a_0 + a_1 q) (a_0 + a_1 q - a_1 p) \\ & + \frac{1}{2} A^2 k J_1^2 (a_0 - a_1 q) (a_0 - a_1 q - a_1 p) \cdot \cos pt \\ & = \left[2a_1^2 q_1^2 A^2 k J_1^2 + \frac{2}{3} a_0^2 A^2 k J_0^2 \right] \cdot \cos pt \end{aligned}$$

同様にして

$$V_{p2} = \left[2a_1^2 q_1^2 A^2 k J_1^2 + \frac{2}{3} a_0^2 A^2 k J_0^2 \right] \cdot \cos pt.$$

周波数辨別回路の出力は $V_{p1} - V_{p2}$ であるから、 p 成分即ち振幅變調成分は結局零となり、振幅變調による出力は全く出て来ない。即ち辨別特性が對稱であれば振幅變調による妨害は極めて少く雑音も著しく軽減せられる次に周波数變調分即ち q 成分の出力を求めてみる。

$$\begin{aligned} V_{q1} = & \left[A^2 J_0 J_1 a_0 (a_0 + a_1 q) - A^2 J_0 J_1 a_0 (a_0 - a_1 q) \right. \\ & + \frac{1}{2} A^2 k^2 J_0 J_1 (a_0 + a_1 p) (a_0 + a_1 q + a_1 p) \\ & - \frac{1}{2} A^2 k^2 J_0 J_1 (a_0 + a_1 p) (a_0 - a_1 q + a_1 p) \\ & + \frac{1}{2} A^2 k^2 J_0 J_1 (a_0 - a_1 p) (a_0 + a_1 q - a_1 p) \\ & \left. - \frac{1}{2} A^2 k^2 J_0 J_1 (a_0 - a_1 p) (a_0 - a_1 q - a_1 p) \right] \\ & \times \cos qt \\ & = \left[2A^2 J_0 J_1 a_0 a_1 q + A^2 k^2 J_0 J_1 a_0 a_1 q \right] \cdot \cos qt \end{aligned}$$

同様にして

$$V_{q2} = - \left[2A^2 J_0 J_1 a_0 a_1 q + A^2 k^2 J_0 J_1 a_0 a_1 q \right] \cdot \cos qt$$

従つて周波数變調分の検波出力は

$$V_{q1} - V_{q2} = 2A^2 J_0 J_1 a_0 a_1 q (2 + k^2) \cdot \cos qt$$

$k=0$ 即ち入力が純周波数變調であると出力は

$$4A^2 J_0 J_1 a_0 a_1 q \cdot \cos qt$$

となる。 $m > 1$ なる一般によく用ひられる周波数變調波

の検波出力も同様の方法により計算出来るが、側帯波の数が多くなるため可成り勞力を要する。

5. 種々なる周波數辨別回路

参考までに上記回路以外の周波數辨別回路を擧げてみると、第10圖の如く少しく同調周波數の異つた回路二個を使用したもの、及び第11圖の如き水晶⁽⁴⁾を使用したもの等がある。水晶を用ふると狭い範圍で特に感度を増す事が出来て、自動周波數制御等に用ひて都合よい事がある。

る。何れの回路にしても、真空管を含めた回路全体としてよく平衡を取る様にする必要がある。

6. 結 言

一般によく使用される周波數辨別回路に就いて考察並びに實驗を行ひ、周波數特性曲線或は最適使用條件等を求めて、此種回路に就ての目安をつけてみた。擧筆に際し堀部長並びに御教示を賜つた薄井、山下兩課長並びに計算に努力された山本二三十君に深謝する。

参 考 文 献

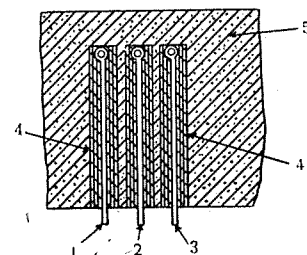
- (1) Foster, Seeley: Automatic Tuning Simplifier Circuits and Design Practice, I.R.E. 25, 289 (1937)
- (2) H. Roder: Theory of Discriminator for A.F.C. I.R.E. 26, 590 (1938)
- (3) 杉田重雄: 周波數辨別回路に就て、電氣學界誌、昭和17年12月
- (4) M.G. Crosby: Communication for Phase Modulation, J.R.E. 27, 126 (1939)
- (5) 杉多重雄: 周波數變調受信機、三菱電機、昭和17年5月

端子金物を埋込みたる 絶縁用硬質 ゴム 製品の製造法

(三菱特許 第 152469 號)

「マグネー」の配電器具の如き、端子金物を埋込んだ硬質 ゴム 製品を製作する場合、ゴムが型造する時の温度壓力により流動して、埋込んだ金物を移動させ、金物相互間の所要間隙を、充分保ち得ない事が多い。本發明は此の點を改良する爲に、ゴム混合物を以つて、間隙を充填した硝子纖維、織布或はテープ、又は糸束等にて、豫め所要の厚さに金物を絶縁し、其儘或は加硫固化せしめたものを所定の位置に埋込み、加硫型造する事を特徴とするものである。

圖はその一例を示すもので、端子金物(1)(2)(3)等の周圍に、硝子纖維の布テープ(4)を所要の厚さに捲纏したものを、適宜の間隔に並置し、先端の端子引出部のみを残して、硬質 ゴム(5)内に埋込んだものである。此の方法によれば硬質 ゴムの加熱加壓に



よる硬化作業時にも、各端子金物相互間は、少くとも捲纏せる硝子纖維により、絶縁間隙を保有するから、互に接觸する様な心配がない。

端子金物の密着を特に良好ならしむる爲には、ゴム混合物を併用するのがよい。又絶縁した端子金物を先づ加熱加壓して硫化し、硬質 ゴム中に埋込んだ後、ゴム混合物を詰め、全体を更に加硫硬化してもよい。

要するに、硝子纖維による絶縁層を介して、ゴム層内に埋込むから、相隣る端子金物が變形して相互接觸する様な事はない。

(中野)

ゴム製品の促進老化試験に関する考察

世田谷工場 石 黒 克 己
伊 藤 公 男

内 容 梗 概

現在 ゴムの促進老化試験法として一般に用ひられて居る ビーラーデビス 法の改案を目的として基礎的條件を變更して實驗を行つたが、理論的に豫期した通りには出來ず 80°C に於ける老化が劇しかった。

その結果を批判し、新しい老化試験方法確立の可能性を指摘した。

1. 緒 言

ゴム製品の老化現象を實驗的に試験することはゴムの實用上極めて緊要なことである。それにはゴム製品が使用せらるゝ状態に於て試験することが最も望ましいのであるが、それでは非常に時間を要し非實用的なるため、色々な促進老化試験方法が提案せられて居る。ゴムの老化現象は非常に複雑であつて、軟化し粘着性を帯びるのみでなく特殊な臭氣を發する場合も、反對に硬化し龜裂を生じる場合もあり、その原因も一、二に止まらないのである。後加硫の進行によるもの、熱分解作用によるもの、酸化作用によるもの、日光の化學線によるものなどを考へることが出來、それ等はお互に相關聯してゴム老化の素因をなして居て何れが主因であるかの判斷は容易に下し得ないことが多い。

而して模型的に老化試験を實施するためには熱、酸素、光線、濕度等を適當に鹽梅した耐候試験機と稱するものもあるが、又熱若しくは酸素或は熱及酸素によつて主として老化作用を行はせる方式の老化試験方法が多く考案實施せられて居り、從來から多數の研究者によつて色々批判がなされて居る。著者も亦製品の改善と保證上に最も適した老化試験法を確立する目的を以つて從來の老化試験法の再検討を行ひつゝあり、此處にその一部を報告せんとするものである。

2. 促進老化試験法並にその検討

種々の促進老化試験方法中代表的なものを歴史的に示すと次の如くである。

- (イ) Thomson⁽¹⁾ 孵卵器を用ひ 60~66°C で促進老化を行はせた。(1890)
- (ロ) Vladimiroff⁽²⁾ 125°C の熱空氣中に5時間置いた。(1892)
- (ハ) Hobry de Brnyn⁽³⁾ 熱空氣の溫度を 135°C とし 2時間放置することにした。(1894)
- (ニ) Ditmar⁽⁴⁾ 100°C の酸素中に5~20時間置いて重量増加を測つた。(1906)
- (ホ) Geer 及 Fvan⁽⁵⁾ 70°C に保つた恒溫槽中に試料を吊り新鮮な熱空氣を絶えず供給して試料の老化

を促進せしめ一定時間毎に取り出して、その老化程度を檢する方法を發表した。ギヤエバン法若しくは Air Oven 法と稱し今日も尙用ひられて居る。(1916)

- (ヘ) Bierer 及 Davis⁽⁶⁾ ビーラーデビス 法又は Oxygen Bomb 法と稱せられ、60° 若しくは 70°C に保つた高壓容器に試料を入れ毎平方吋 300 封度の高壓酸素を壓入して老化せしめる方法を發表した。(1924)

- (ト) Boolh⁽⁷⁾ ビーラーデビス 法の酸素の代りに 100 封度の壓縮空氣を用ひ、50% の伸長を與へた ゴムを 121°C に於て促進老化を行ふ方法で ラース 法若しくは高壓空氣法と呼ばれて居る。(1932)

上記の方法は何れも熱及酸素の作用を主眼として居るが、光線の作用を加重して老化を促進せしめる方法は山崎氏⁽⁸⁾等によつて研究せられた。

又 Haushalter⁽⁹⁾、Kerale⁽¹⁰⁾ 及 Boggish and mead⁽¹¹⁾ は少量のオゾンを含む空氣を流通せしめた容器内に僅かに伸長せしめた試料を保持する老化試験法を提案した。

屋外曝露による自然老化試験法は簡易なものと或る製品にとつては最も使用状態に近いために Makee and Depew⁽¹²⁾ を始め多數の人が試みて報告を出して居る。

そもそもゴムの老化の機構は非常に複雑で Standinger⁽¹³⁾ の唱へる酸化分裂説とか、Dufraise⁽¹⁴⁾ の樹脂化重合説或は Pummerer 及 Kehlen⁽¹⁵⁾ の説くところの酸化重合、解重合並進説等あるも、何れも老化現象の全貌を説明することは困難で未だにその正体を判然と把握するには至つて居ない。併し老化せるゴムは酸化と、解重合若しくは解聚合を受けて居ることは間違ひが無いので、これ等の關係が最も妥當な割合で再現出来る簡易な試験方法が最も望まれて居る譯である。

ギヤエバン法及 ビーラーデビス 法は比較的簡単にこれ等の要望を満すものとして、廣く試験規格に採用せられて居るのであるが、前述の如き理由でこれ等の試験を以つてしても確實にゴムの壽命を豫知することは不可能で、耐老化性の良否及使用目的に對する適否を比較的に決定し

得るに止まる。

ギーヤパン法に於ては1晝夜の試験が暗所に於ける自然老化の6ヶ月に相當すると云はれて居るが、若し化學反應速度が 10°C 上昇する毎に2倍になるものと假定し、試験温度と常溫(20°C)との差は 50° とすればその補正率は27倍となり、自然老化の6ヶ月に相當すべき試験日数は1週間を要する筈である。又ビーラーデビス法について同様の計算を行ふと補正率は2890倍となり、その3時間は自然老化の約1ケ年に相當する筈であるが、實驗的には6ヶ月間にしか相當しない。

かくの如くゴムを劣化せしめる因子の重點を熱作用に置くか、酸化作用に置くかによつて大分老化の経過が異なるのであるが、これは酸化作用は表面若しくは比較的浅い部分にのみしか働かないに反し、熱による解重合、若

しくは解聚合作用は温度の上昇に伴つて全体的に劇しく進むところに大きな原因が存するのであらふと思はれる。従つて酸素の作用率を適當に擇んだならばもう少し實際に近い老化試験を行ひ得られはしないかと考へられる。即ち酸化の進行と同程度に解重合若しくは解聚合を行はせて天然の老化現象を一層忠實に且つ短時間に模倣し得たならば非常に好都合と考へる。

3. 實驗經過

筆者は前述の如き意圖の下に先ずビーラーデビス法の再検討を試みた。

即ち 70°C 以上の温度を用ひ、酸素壓は300封度以下の低壓を用ひた場合に於けるゴムの變化並びに、標準の老化試験法との相違を比較して知る目的で行つた。

(イ) 配合

試料のゴム配合は實際作業用に近いのを擇んだが、別に老化防止剤を全く配合しないものを比較のため作つた

(ロ) 加硫

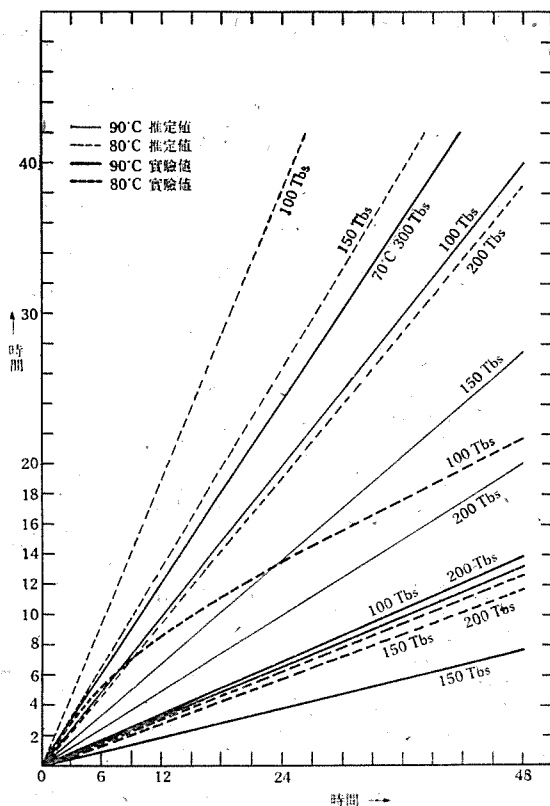
豫備試験に於て第1圖は 138°C にて20分間、第2圖は40分間加硫せるものの抗張力が最高値を示したので、實驗試料はこの條件にて加硫して多數の標準型環狀試片を作つた。それ等の性質は第2表の通である。

第1表 配合表

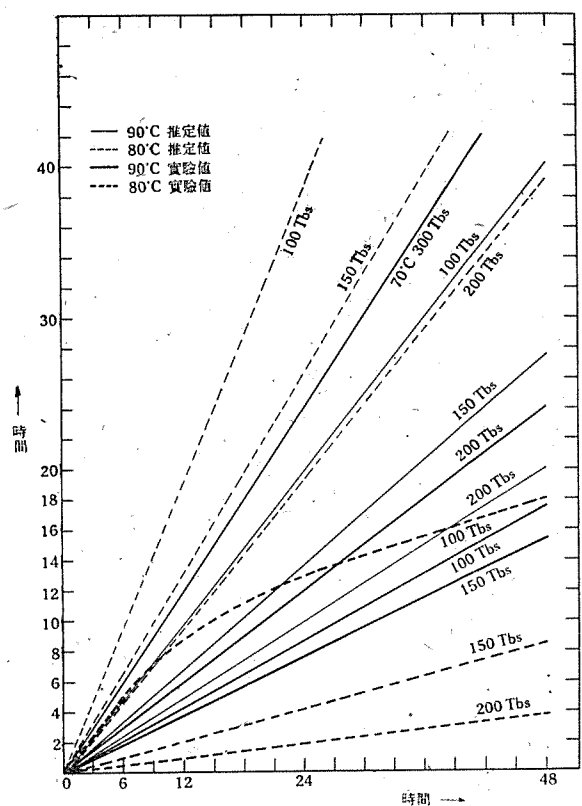
	No. 1	No. 2
生 ゴ ム	55.0	55.0
亜 鉛 華	20.0	20.0
カーボン ブラック	5.0	5.0
硫 黄	2.0	2.0
ステアリン 酸	0.5	0.5
促進劑 D. M.	0.4	0.4
龜 裝 防 止 劑	0.5	—
老 化 防 止 劑	0.5	—
タ ル ク	—	1.0
其 他	16.1	16.1
合 計	100.0	100.0

第2表

	抗張力 kg/cm^2	伸 %
No. 1	158.7	631.1
No. 2	164.2	624.5



第1圖 抗張力と時間との關係



第2圖 抗張力と時間との關係

(ハ) 促進老化試験

比較のためギ-ヤパン法とビーラーデビス法の2法にて行つた。

ギ-ヤ法は試料各12ヶ宛老化せしめ、8日、16日、32日間後に各4ヶ宛取出して、室温に1晝夜放冷後抗張力を測定しその平均値を算出した。

ビーラー法は基準条件の外に、温度を80°及90°Cとし、酸素圧と亦100、150及200封度に變更して6組の組合せとなし、時間は6、12、24及48時間毎に各4ヶ宛試験した。

4. 實驗結果及考察

ギ-ヤ法はビーラー法の對照試験として試験したものであるがその結果は第3表に示す通である。

第3表 ギ-ヤ法老化試験結果

種 別	老化日数	抗張力 kg/cmm ²	伸 %
No. 1	0	158.7	631
	8	183.1	613
	16	172.1	580
	32	160.3	558
No. 2	0	164.2	624.5
	8	129.2	553
	16	91.5	520
	32	42.6	251.7

第4表 ビーラー法老化試験結果

老 化 條 件			No. 1		No. 2	
壓 力	温 度	時 間	抗張力	伸 %	抗張力	伸 %
封 度	°C	時 時	kg/cm ²		kg/cm ²	
300	70	0	158.7	631	164.2	624.5
		6	159.5	656	144.0	630
		12	153.2	650	124.0	612
		24	138.7	642	90.7	582
		48	119.7	614	72.4	562
200	90	6	148.6	612	121.1	560
		12	142.5	562	71.2	512
		24	123.2	550	12.0	272
		48	67.7	515	melt	melt
150	90	6	148.4	627	83.7	573
		12	127.2	598	53.1	545
		24	92.8	583	49.5	282
		48	56.1	498	melt	melt
100	90	6	147.7	612	96.7	567
		12	128.6	580	76.4	518
		24	124.2	577	53.9	510
		48	31.3	458	melt	melt
200	80	6	134.4	602	91.0	558
		12	143.2	587	75.8	510
		24	142.7	622	61.0	473
		48	112.7	577	melt	melt
150	80	6	109.1	567	86.7	560
		12	108.6	553	80.6	580
		24	101.5	548	44.8	520
		48	65.1	567	melt	melt
100	80	6	188.2	642	150.1	593
		12	174.0	627	107.5	552
		24	100.7	537	34.5	492
		48	72.7	565	melt	melt

ビーラー法の結果は第4表の通である。

この結果は老化条件によつて老化の度合が異り、理論的に豫想したものと大分距りのあるものとなつた。反應速度の點から考へれば酸素壓を低下せしめても温度を上昇せしむれば、基準として取つた70°C、300封度の場合の反應速度と同一の點を見出すことが出来る筈である。従つて老化条件を異にした場合もその老化が基準の場合と同様に進むものとすれば、基準条件に於ける6時間、12時間、24時間、48時間の老化度に相當するそれ等の時間的割合を容易に圖上に求めることが出来る譯である。

叙上の理由によつて計算した補正率を第5表に示す。

第5表の結果から基準老化時間に相當する理論的の老化時間を求めると第6表の如くなる。

しかるに實驗上から求めた同一強度を示す時間の割合は第7表の如くなる。

第5表 補 正 率 表

狀 態		補 正 率	
温 度	壓 力	(常温ヲ 20°C トス)	
70	300	2896	1.000
90	200	6912	2.386
80	200	3565	1.230
90	150	5197	1.740
80	150	2688	0.928
90	100	3456	1.193
80	100	1847	0.637

第6表 理 論 的 老 化 時 間

狀 態		時 間			
温 度	壓 力				
70	300	6.0	12.0	24.0	48.0
90	200	2.5	5.0	10.0	20.0
90	150	3.5	7.0	13.8	27.6
80	200	5.0	9.8	19.5	39.0
90	100	5.0	10.0	20.0	40.2
80	150	6.5	13.0	26.0	51.7
80	100	9.4	18.8	37.6	75.3

第7表 實 驗 的 老 化 時 間

狀 態		時 間							
壓 力	温 度	No. 1				No. 2			
300	70	6.0	12.0	24.0	48.0	6.0	12.0	24.0	48.0
200	90	—	6.1	13.0	23.7	1.0	3.2	8.2	12.2
150	90	—	3.1	9.0	15.0	0.5	1.8	5.0	8.0
200	80	—	1.0	2.0	3.5	1.0	3.1	6.2	13.0
100	90	—	3.2	10.5	18.2	1.0	3.3	7.9	13.6
150	80	—	1.2	3.8	9.5	1.0	3.0	6.8	11.0
100	80	8.5	10.5	12.4	17.8	5.8	9.0	15.0	18.1

以上の圖表により、ゴムが直線的に進行することは明かになつたが、老化條件を異にした場合の劣化率と時間との関係は理論的に求めたものに比較して著しい差異がある。熱によるゴムの劣化に関しては既に多數の研究が行はれ、温度の上昇と共に劣化の度が大になることが明かにせられて居るが、R. F. Tener⁽¹⁶⁾は酸素の存在の下に加熱した場合は温度が80以下ならば解聚作用が起り、80°以上の場合には解重合作用を呈するため速に劣化が起ると云ひ、Kohman⁽¹⁷⁾は80°に於ける酸素と加硫ゴムとの間の反應は自觸媒的に進行し、酸素の吸収率は初期に於て急速に行はれると述べて居るが、これはEaton and Day⁽¹⁸⁾が會つて天然老化に於て酸素の吸収率を測定した結果とよく符節を合せた如く一致し、80°Cの酸素中に於ける反應は天然老化の場合に相似して居ることを示すものである。又 Davey⁽¹⁹⁾は熱による作用をアセトン可溶物及クロロフォルム可溶物の研究結果から

加硫ゴムを解重合（クロロフォルムに可溶）と樹脂質

（アセトン可溶）と酸化生成物（アセトン不溶）

と云ふ様な變化を生ずると述べたが、かくの如き變化は漸次表面から酸素の吸収率を減ぜしめ比較的高温に於ける劣化を見掛上遅延せしめる様に思はれる。これが80°に於ける劣化が90°に於ける劣化より劇しい原因であると斷定するには尙多數の實驗結果をまたねばならない。更にもう一つ考慮すべきは化學反應の結果が機械的強度に正しく現はれて居るかどうかと云ふことである。これ等の疑問に對しては分析試験の結果が何等かの解答を與へるものと思ふ。

5. 總括

ビーラーデビス法は温度70°C、酸素壓300封度が標準になつて居るが、更に迅速にして比較的危険の少ない低壓

を以つて試験することの可能性について考究した。

實驗温度は80°及90°Cとし、壓力は100、150及200封度として、これを標準の方法に於ける各時間毎の劣化度と比較した。

その結果は1、2の例外を除き殆ど直線的關係があることが判つたが、理論的に算出した時間とは非常に差があつた。

ゴムの老化による劣化の本態について今後究明すべき幾多の條件はあるが、現在採用せられて居る條件より危険性の少ない條件で、而も迅速に老化試験を行ふことの可能性を確め得られた。

文 献

- (1) Thomson, Chem. News, **62**, L192, (1890)
- (2) Vlodimiroff, J.S.C.I. **11**, 929, (1892)
- (3) Bruyn, Chem. Ztg., **18** 329, (1894)
- (4) Ditmar, Gummi Ztg., **20**, 628, (1906)
- (5) Geer and Evan, Ind. Rub. W., **55**, 127, (1916)
- (6) Bierer, and Davis, Ind. Eng. C., **16**, 711, (1924)
- (7) Booth, Rub. Age. (N Y), **34**, 268, (1934)
- (8) 山崎武二; 日本ゴム協會誌, **5**, 191, (昭7)
- (9) Haushalter, Ind. Eng. C. **20**, 300, (1928)
- (10) Keraley, Rub. Age, (NY) **27**, 12, (1930)
- (11) Beggish, and Meade, Elect. W., **10**, 214, (1034)
- (12) Makee and Depew, Ind. Eng. Chem., **20**, 484, (1928)
Rub. Chem. Thech., **1**, 218, (1928)
- (13) Staudinger, Ber., **59**, 3079, (1926)
- (14) Dufraise, Rev. Gen. de Caout., **9**, 4, (1933)
Rub. Chem. Thech., **6**, 157, (1933)
- (15) Pnmmerer, and Kehl, Ber., **66**, 1107, (1933)
- (16) Tener, Bureau of Standard Thech. Paper, No. 342.)
- (17) Kohman, J. Phy. Chem., **33**, 226, (1929)
- (18) Eaton and Day, J.S.C.I. **39**, 251 (T) (1919)
- (19) Davey, Trans. Ind. Rub. Inst., **4**, 493, (1929)

交流電磁接觸器用電磁石

名古屋製作所 服 部 謙

内 容 梗 概

交流の電磁接觸器用電磁石に関する種々の問題に就て経験した事柄を説明し、その内重要な特性の一つである牽引力と空隙の關係に就て、簡単に測定出来る線輪電流の變化より求め得ることを示した。

1. 緒 言

電磁接觸器の用途は誠に廣くその種類も多種多様であり今後益々其の需要も増加するものと思はれるので、之が重要な一翼をなす電磁石に關して経験した事柄を報告するのも無意味ではないと考へ茲に記す次第である。但し本文に述べる電磁接觸器は誘導電動機を對象とする交流のものゝみで直流用は含まれてゐない事を豫めお断り致してをく。

電磁接觸器用の電磁石はその構造上可動鐵心が線輪の中を上下する唧子型と、可動鐵心が軸の廻りを廻轉して固定鐵心に吸引される肘型とに大別され各々その特徴を持つて居る。以下之等電磁石に關する問題に就て逐次説明する。

2. 電壓及周波數の變動の影響

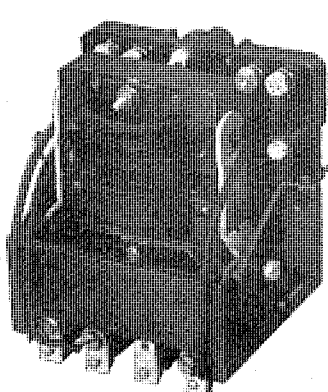
電磁接觸器を使用するに當り先づ問題となるのは電壓又は周波數の變動である。之等電壓又は周波數の變化により牽引力が不足して動作不能になつたり又は溫度上昇が高くなつたりする事は容易に想像される處である。

然らば實際之等電壓、周波數の變動に對しどの程度の影響があるものか、之を各種の試料に就て調べて見た處次に示す様な結果が得られた。

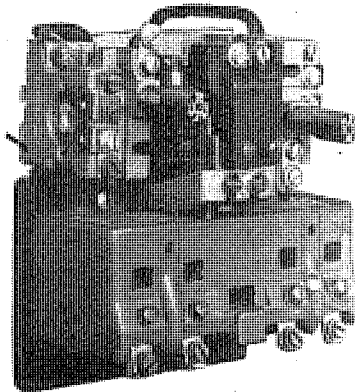
$$\left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{n_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{n_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{n_3} = \frac{P_1}{P_2}$$

$$\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{n_4} = \frac{I_1}{I_2} \quad \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{n_5} = \frac{W_1}{W_2} \quad \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{n_6} = \frac{P_1}{P_2}$$

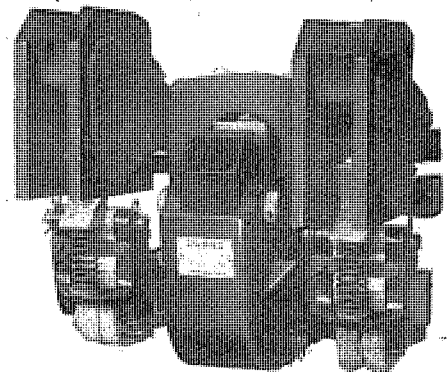
E_1, E_2, \dots 端子電壓 f_1, f_2, \dots 周波數 I_1, I_2, \dots 電流
 W_1, W_2, \dots 消費電力 P_1, P_2, \dots 牽引力



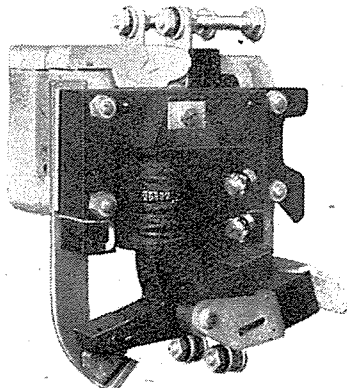
第 1 圖 FI-10型 電磁接觸器
最大容量 600V 10A #42745



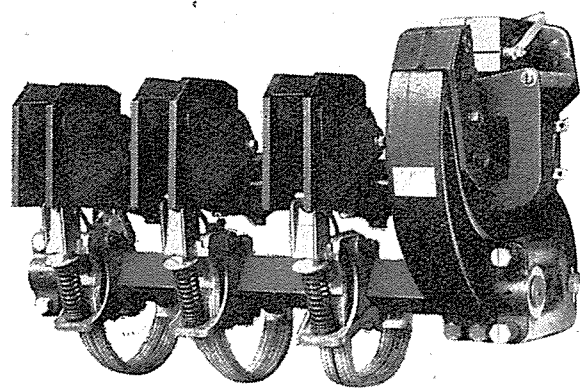
第 2 圖 FN-25型 電磁接觸器
最大容量 600V 25A #42744



第 4 圖 FL-502型 電磁接觸器(浮遊動鐵心型)
最大容量 600V 300A #42740



第 3 圖 FN-102型 電磁接觸器
最大容量 600V 100A



第 5 圖 FF-605型 電磁接觸器(固定鐵心型)
最大容量 600V 600A #42742

電磁石の形状、構造を始め磁束密度、隈取線輪等によつて指数 n の値は變化するが定格附近に於ては大凡次の様な値を採る

$$n_1 = 1.3 \sim 1.7 \quad n_2 = 2.1 \sim 2.5 \quad n_3 = 1.5 \sim 2.3$$

$$n_4 = 1.0 \sim 1.5 \quad n_5 = 0.8 \sim 1.5 \quad n_6 = 1.5 \sim 2.3$$

電壓又は周波数が變動すれば之に伴つて上に示した如く電流、電力、牽引力等は變化するが、電磁接觸器は何れも電壓及び周波数の何れか一方が次の範囲内に變化しても實用上差支へない様に設計されて居る。

電壓の變化の許し得る範囲、定格電壓の 85~110% 周波数の變化の許し得る範囲、定格周波数の 95~105%

茲に於て注意すべきは箱型誘導電動機の起動電流に依る電壓降下である。もし起動電流により端子電壓が 85% 以下に降下する様な場合には牽引力の不足が原因して接觸子の熔着や線輪の焼損等の事故を生ずる虞れがある故直入起動器として電磁接觸器を使用するに當つては此の點充分の注意が肝要である。

3. 磁 束 分 布

線輪の發生する磁束は線輪の抵抗がリアクタンスに較べて遙に少いので抵抗による電壓降下を無視すれば

$$\phi_m' = \frac{E}{4.44 f N} \times 10^8 \dots\dots\dots (1)'$$

但し

ϕ_m' = 線輪の發生する全磁束(最大値)

E = 端子電壓

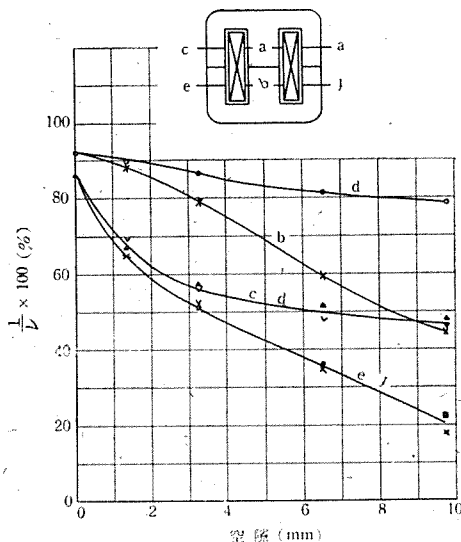
f = 周波數

N = 線輪の捲數

此の内磁束の大部分は鐵心中を通るが一部は空間に漏洩する。依つて漏洩係數を ν とすれば有効磁束 ϕ_m は次式に依つて示される。

$$\phi_m = \frac{E}{4.44 f N \nu} \times 10^8 \dots\dots\dots (1)$$

ϕ_m は鐵心に數回乃至數拾回の搜索線輪を捲付け之に

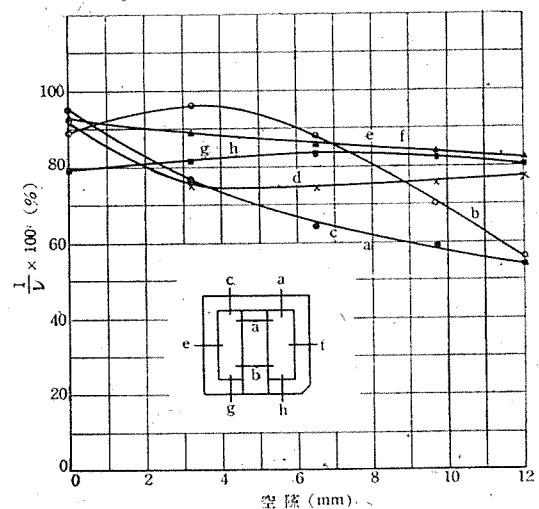


第 6 圖 FI-10型 電磁石の漏洩磁束(νは漏洩係數)

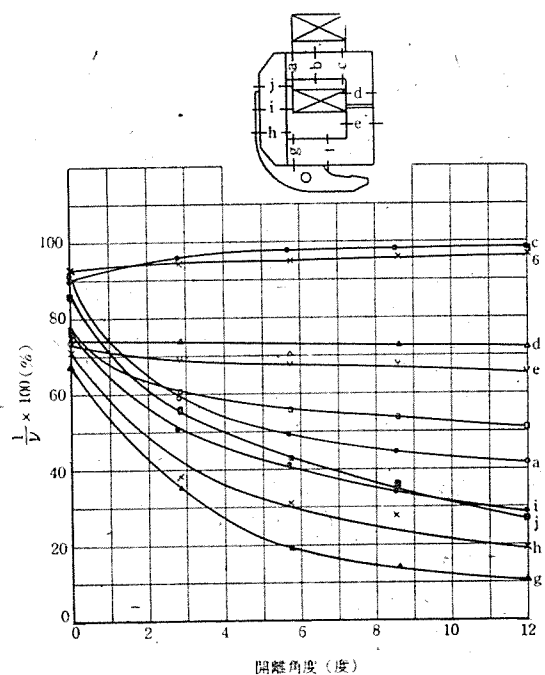
發生する電壓を測定すれば求められるので之と線輪の發生する全磁束の比より漏洩係數を知る事が出来る。

この様にして各種の電磁石の漏洩係數を鐵心各部に就て種々な空隙の下に調べて見た結果の一例は第 6, 7, 8 圖に示す如くで此の内空隙零即ち可動鐵心が吸引されて居る場合の漏洩係數は何れの電磁石に於ても線輪側鐵心で平均 1.1、線輪の挿入されて居ない側で平均 1.3 であつた。尤も此の値は電磁石の形や残留磁氣を減少せしむるため磁路中に設けられた空隙の大きさ、磁化程度等により異なるが大した違ひはない。

可動鐵心が離れて居る場合の漏洩係數は電磁石の形によつて大いに異なるが、略相似形のものでは大きさの如何に係らず漏洩係數は略等しい値である。猶磁束密度は各



第 7 圖 FN-25型 電磁石の漏洩磁束(νは漏洩係數)



第 8 圖 FL-125型 電磁石の漏洩磁束(νは漏洩係數)

電磁石に依つて異なるが、6500~8000 ガウス 位に設計されるのが普通である。

4. 牽 引 力

鐵心中を通る有効磁束は外部に牽引力となつて仕事をする。そして此の牽引力 P と磁束 ϕ との関係は *Maxwell* に依つて與へられて居る様に、次式より求められる。即ち A を磁極面積とすれば、

$$P = \frac{\phi^2}{8\pi A} \text{ ダイン} \dots\dots (2)$$

而して電磁石を交流で勵磁する場合磁束は電源周波数に従つて變化するので牽引力も又變化し、爲に外部に現はれる牽引力はこの平均となり次式で示される。

$$P = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{\phi_m^2 \sin^2 \theta}{8\pi \times A \times 0.981 \times 10^9} d\theta$$

$$= \frac{\beta_m^2 A}{16\pi \times 0.981 \times 10^9} = \frac{2.03 \times \phi_m^2}{A \times 10^9} \text{ 珎} \dots\dots (3)$$

(3) 式より求めた値と實際 スプリング 秤に依つて測定した値を比較して見ると一般に實測値の方が多少小さいが大約一致した結果が得られた。可動鐵心が固定鐵心に吸引されて居る場合の牽引力は、有効磁束より求められるが、可動鐵心が離れて居る場合の牽引力は如何にして求めるか以下之に就て考察して見よう。

可動鐵心が離れて居る場合の牽引力即ち空隙と牽引力との関係は電磁石を使用する上に於て最も重要なもので之が測定は次の様な方法に依ることとした。即ち始め ストッパー の位置を加減して磁極間の空隙を定め、可動鐵心に重錘を掛けて線輪に電流を通し可動鐵心が吸引される迄漸次重錘を減少せしめ、吸着された時の重錘と可動子の重量の和を以てこの空隙に於ける牽引力とした此の様な方法で測定された値も、實際には始め定めた空隙より小さい距離で可動鐵心が振動して居るのでそれだけ大きな牽引力が得られる譯であるから、此の誤差を無くする爲豫め電流と空隙の関係を求めて置き可動鐵心が吸引される時の電流から空隙を求める事とした。

牽引力の測定法として以上の外に可動鐵心と固定鐵心の間に木片等の間隔片を入れて測定する方法がある。而し此の様な方法に依る時は可動鐵心は間隔片の厚より大きな處で平衡を保ちつゝ振動し、エネルギー が振動の爲に費されるので牽引力として求められる値は小さなものとなつて仕舞ふから注意を要する。

次に此の牽引力を計算に依つて求めて見よう。今電磁石に蓄積される エネルギー を W とすれば

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \text{ ジュール}$$

$$L = N\phi / I \times 10^{-8} \text{ ヘンリー}$$

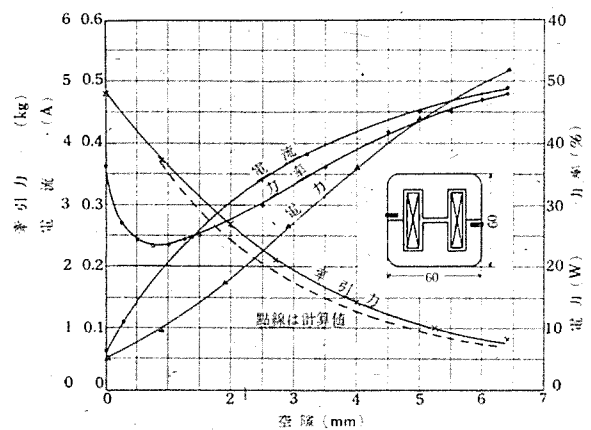
$$\therefore W = \frac{1}{2} N\phi I \times 10^{-8} = \frac{IE}{12.56f} \text{ ジュール}$$

但し L = 自己 インダクタンス (ヘンリー)

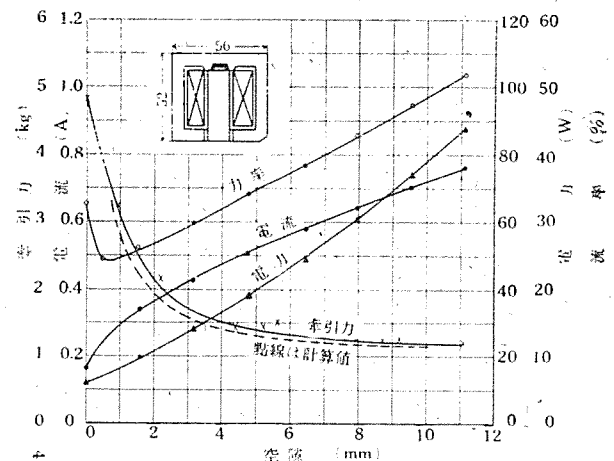
I = 電流 (アンペア)

今 W_1 なる エネルギー を有する電磁石に於ても可動子が動いた爲に蓄積 エネルギー が W_2 になつたとすれば、 $(W_2 - W_1)$ なる エネルギー は可動子を動かすに費された事になる。依て可動鐵心が微小距離 dl (cm) だけ動いた爲に蓄積 エネルギー が dw (ジュール) だけ變化したとすれば 牽引力 P は

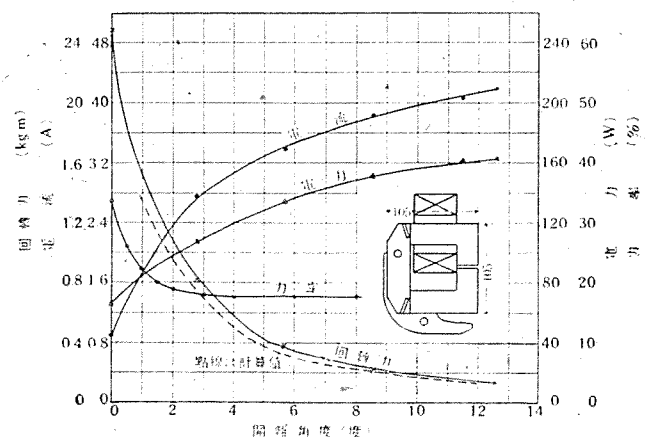
$$P = \frac{dw}{dl} \times 10^7 \text{ ダイン}$$



第9圖 FI-10嚮子型(三脚)電磁石の特性 220V 60~



第10圖 FN-25嚮子型 電磁石の特性 220V 60~



第11圖 FL-125射電磁石の特性 220V 60~

$$= \frac{E}{1.23f} \cdot \frac{dI}{dt} \text{ 旺} \dots\dots\dots (4)$$

即ち牽引力は空隙の變化に對する電流の變化より求めることが出来る。(4) 式より求めた値と實測値とを曲線に表して見ると第 9, 10, 11 圖の如くである。

(4) 式に於ては限取線輪や銅損、鐵損等の影響は考慮してないが、可動鐵心が固定鐵心に接近して居る處以外では大した誤差は無く、此の程度で充分實用出来るものである。空隙と牽引力との關係は(4) 式より求められるが、第11圖の如き構造の肘型電磁石に於ては此の關係は略双曲線に近く、開離角度にして10度附近迄は大さの如何に係らず次の様な實驗式によつて表はすことも出来る。

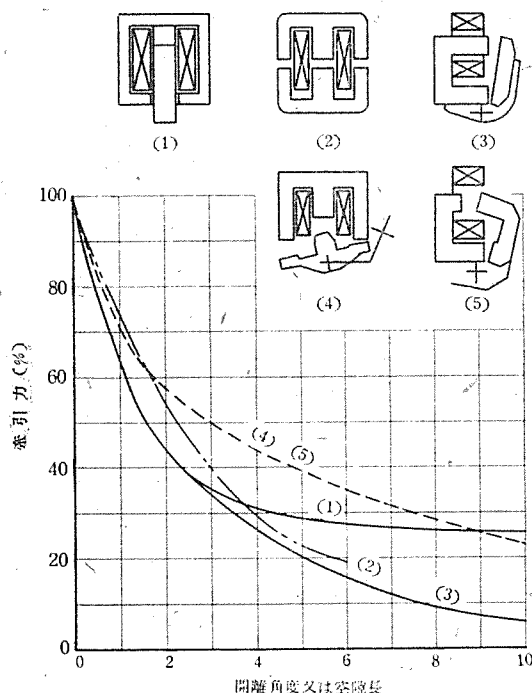
$$P = 300 \left(\frac{1}{2.5 + \alpha} \right) - 20$$

但し $P = (3)$ 式より求めた牽引力を 100% とした場合の牽引力を % で表はしたもの

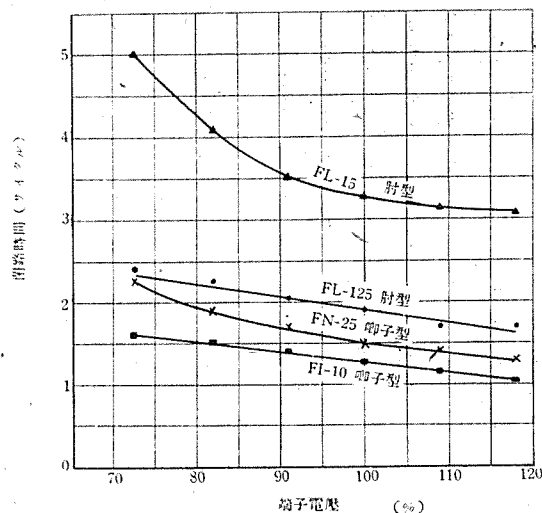
$\alpha =$ 開離角度 (度)

電磁石の構造に依つて牽引力と空隙との關係が異なる事は第12圖に示す如くで、此の内啣子型の電磁石の起動牽引力は大きく (3) の様な構造の肘型のものに於ては小さな起動牽引力しか得られない。しかし (4) (5) 等の如くツレノイドを加味した構造とすれば大きな起動牽引力が得られるので大きな開離角を必要とするものや可動部の重量の大きな電磁接觸器用の電磁石として屢用ひられる。

電磁石が附勢された瞬間より接觸子が接觸する迄には數 サイクル 時間を要し、此の時間は電磁石の構造、可動部の重量、空隙の長さ、牽引力等に依つて變化する事は容易に想像される處であるが實際如何なる値を採るか



第12圖 各種電磁石の牽引力特性

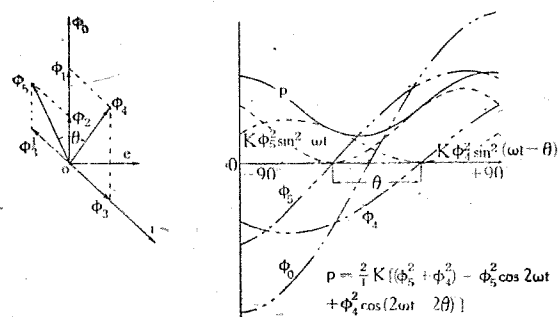


第13圖 電磁接觸器の開路時間

を調べて見た結果は第13圖に示す如くである。

5. 限取線輪

交流の電磁石に於ては前にも述べた如く磁束が電源の周波数に従つて變化するので、牽引力は電源周波数の2倍の周波数で變化しこの爲猛烈な振動と噪音を發生する然し磁極を分割して此の一部に短絡環即ち限取線輪を設ける時は振動は減少し靜肅な動作が得られる。斯の如く簡明に單相交流電磁石の牽引力の脈動を減少せしむる限取線輪も、その理論的計算に關しては未だ確定されたものがなく、結局經驗に基いて設計されて居る様な状態である。限取線輪に就ての説明は既に發表⁽¹⁾されたものもあるが茲に簡単に説明しておく。(第14圖参照)。



第14圖

主線輪の發生する磁束 ϕ_0 は限取線輪の中を通る磁束 ϕ_1 と限取線輪外を通る磁束 ϕ_2 とに分けられる。 ϕ_1 なる磁束により限取線輪中には ϕ_1 より 90 度遅れて e となる電壓が發生し限取線輪には e より若干遅れて i となる電流が流れる故に、 i と同相に ϕ_0 なる磁束が出來爲に限取線輪中に存在する磁束は ϕ_1 と ϕ_0 の合成された ϕ_1' となる。又 ϕ_2 の大部分の ϕ_2' は限取線輪以外の部分を通るので、結局この部分の磁束は ϕ_2 と ϕ_0' の合成された ϕ_0 となる。此の様に磁極面には ϕ_1 と ϕ_0 の位相の異つた磁束が存在し、之に依る牽引力の合成は脈動しても零になることはなく、脈動する牽引力の最小値以下

の負荷に使用するならば可動子は振動しないことになる

此の牽引力の最小値を高める爲めには ϕ_1 と ϕ_2 の位相差を 90 度に近づけることと、 ϕ_1 と ϕ_2 の値を等しくすることが必要である。 ϕ_1 と ϕ_2 を等しくする爲めには限取線輪に包まれた磁極の面積を限取線輪に包まれて居ない部分の面積より大きくする必要がある。之は限取線輪の反作用によりこの部分の磁氣抵抗が大きくなるからで面積の比は一般に 2:1 位に設計されてゐる。

適當に設計された限取線輪をもつ電磁石も磁極面が平行平面でない場合には噪音を發生する。殊に大型のものになる程この問題に對して頭を悩まされる。之は磁極面の磁氣抵抗が變り ϕ_1 と ϕ_2 の値が設計値と異つて來るからで、この爲磁極面は精密な研磨が必要とされるのである。

この點浮游鐵心をもつ電磁石は固定鐵心型に比べて遙かにその調整は容易である。

6. 殘留磁氣⁽²⁾

電磁接觸器用電磁石に於ては殘留磁氣による開路不能を防止するため總て磁路の一部に非磁性体又は空隙を設けて磁路抵抗の増加を計る。之は磁路の一部に空隙を設ける時は磁化力は増加するがヒステリシス損は變化しないのでヒステリシスループは横に細長い形となり殘留磁氣は減少するからである。そして殘留磁氣による牽引力は略空隙の自乗に逆比例して減少する。此の様に空隙を大きくすれば殘留磁氣は減少するが一方磁化電流は増加するので空隙の長さはこの方から制限を受け一般には磁路の長さの 1/200~1/500 位に設計されて居る。

猶殘留磁力は鐵心の構成材料に依つても異なる。普通交流電磁石に使用される珪素鋼板は珪素の含有量により B, D, T 等の種類に分けられ珪素の含有量の増加につれて殘留磁氣は減少する。今同一形狀の電磁石に於て B 級に依り構成された鐵心の殘留磁力を 100 とすれば D 級のものは約 84、T 級のものは約 63 と減少する。

以上の外殘留磁力は最大磁束密度や衝撃による磁氣的性質の變化等に影響される。此の内衝撃による磁氣的性質の劣化は使用中に變化するもの故此の狀況を知る必要がある。之を B 級鐵心で構成された肘型電磁石に就て調べて見た處第 15 圖の如き結果を得た。

最初殘留磁力の大きいのは磁極面が研磨仕上げされて居る爲で可動鐵心と固定鐵心はよく密着するが衝撃により漸次變形しその割合が打撃による磁氣的性質の劣化よりも大きい影響を有するので殘留磁力は減少するが打撃回数の増加につれて變形量は減少し打撃による劣化の方が大となり爲に殘留磁力は増加するのである。

開路不能は上記殘留磁氣によるものゝ外磁極面に防錆の目的で塗布したワニス又はグリス等の粘着によつても發生する故に使用するに先立つて之を取り除く必要がある。

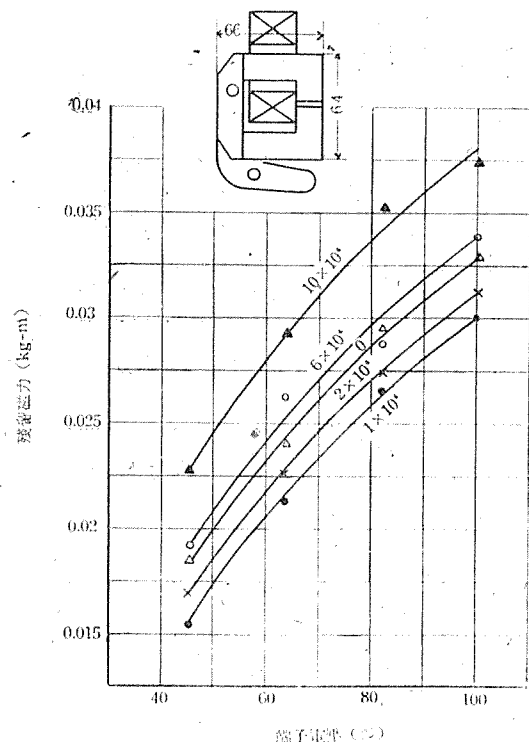
7. 溫度上昇

電磁石の溫度上昇は線輪の銅損、限取線輪の損失及び鐵損等により發生し、之等の損失による溫度上昇は普通限取線輪が最高で次は鐵心、線輪の順である。

限取線輪の溫度上昇は之が鐵心と良く接觸して居るものでは、相當此の間に熱の授受が行はれ熱容量の小さい割に溫度上昇は急激でない。併し良く接觸して居ないものは非常に急激に溫度上昇する。鐵心の溫度上昇は鐵心自身のヒステリシス損及び渦流損に依る外限取線輪の熱の影響があり、又鐵心を締め付ける鉚やボルトの損失も之に加はる。大型の電磁石に於ては鉚やボルトは絶縁し之によつて二次短絡を生ぜぬ様にする。線輪の溫度上昇は線輪の抵抗による損失のみではなく鐵心から移動する熱の影響を激しく受ける。即ち線輪の銅損は全損失の數%乃至十數%程度であつて、線輪に同一の銅損を與へる直流を流した場合の溫度上昇は交流の場合の數分の一程度に過ぎないのである。結局線輪の銅損は溫度上昇には大した影響はない。

一般の線輪は A 種絶縁でその溫度上昇は JEM-41「制御器具の溫度上昇限度」に依て抵抗法に依る時は 90°C、溫度計法に依る時は 70°C 以下に定められて居る線輪は捲き終つた後ワニス又はコンパウンドを含浸せしめて絶縁を良好ならしめるが、之によつてその溫度上昇も 10~20% 低下せしめることが出来る。

電磁石は均質發熱体ではないが消費電力と溫度上昇は略直線的關係を示すので電壓又は周波數の變化による溫度上昇の變化は次の如く表はしても大した誤りはない。



第 15 圖 FL-25 肘型電磁石の殘留磁力

$$\left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{n_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{n_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

次に問題となるのは起動電流である。電磁石の起動電流は数倍にも達するので此の爲に働く衝撃及此の電流による温度上昇が心配される。然し此の大きな電流も数サイクルと云ふ短時間故毎分十數回程度の開閉頻度迄ならば、此の影響は殆んど認められずその温度上昇は次の如く示されることが試験の結果確められた。

$$\theta_{\infty} = \theta_m \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

但し θ_{∞} = 間歇使用の場合の最終温度上昇

θ_m = 連続使用の場合の最終温度上昇

t_1 = 通電時間

t_2 = 休止時間

8. 電磁線輪

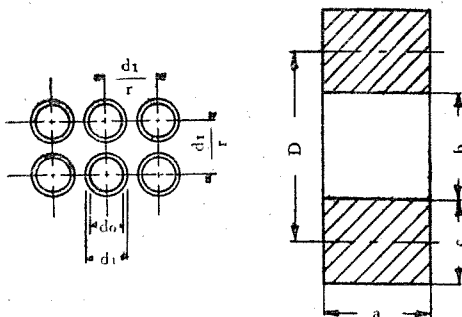
電磁線輪も變壓器と同様電壓と捲数は互に比例する。今一定周波数、一定電壓を N_1 なる捲数の線輪に加へた時の電流が I_1 、消費電力が W_1 で次に線輪の捲数を N_2 に變化せしめた時電流、電力がそれぞれ I_2 、 W_2 になつたとすれば電流或は電力と捲数との間には次の様な關係が成立する。

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^{n_1+1} = \frac{I_2}{I_1} \quad \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^{n_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

線輪抵抗及び導体重量等を計算するに當つて線輪の空間率 γ は一般に 90% 位に採る。今導線の心線徑を d_0 、導線の絶縁を含む仕上げ外徑を d_1 とすれば、 a なる長さの枠の 1 層に捲くことの出来る捲数 n_1 は

$$n_1 = \frac{a\gamma}{d_1}$$

N 捲の線輪を捲く時その層の厚さ C は



第16圖

$$C = \frac{Nd_1^2}{ar^2}$$

故に線輪の平均直徑 D は $b+c$ となり(第16圖参照)之より線全長は

$$L = \pi DN$$

故に固有抵抗 ρ なる導線を捲いた線輪の抵抗は

$$R = 4\rho DN d_0^{-2}$$

導線の重量は導体の比重を σ とすれば

$$W = 0.25 \pi^2 d_0^2 DN \sigma$$

交流電磁石に於ては導線の抵抗は インダクタンス に比べて非常に少いので抵抗の大小は大した問題ではない。故に起動電流と保持電流との比の少ないものや開閉回数の少ない小型のものに於ては抵抗の大きな値に設計した方が経済的である。

電流密度は電磁石の大きさ、形、線輪の表面積等に依つて異なるが、連続使用のものは軟銅線に於ては大體 $1.0 \sim 2.5 \text{ A/mm}^2$ に採るものが普通で此の値は直流の場合の半分位の値である。

9. 結 言

終りに之等電磁石の状況竝に今後の見通しに就て私見を述べて見る。現在一般に小型の電磁接觸器に使用される電磁石は、大きな開閉回数にも耐へ得る様軸受等の磨耗部分を含め啣子型が用ひられ、大型のものになると接觸子や消弧の關係上肘型の電磁石が用ひられて居る。それは大型のものになれば軸受の構造も頭丈に出来又軸受部分の磨耗は他の部分に比べて左程重要ではなくなるからである。然し肘型の電磁石に於ても牽引力特性を改善せしめる爲 ツレノイド を加味したものが用ひられ、又損失も減少せしめて能率良い電磁石を得る様三脚鐵心を使用したものが多くなつて居る。

之等の情勢から推して今後電磁接觸器用電磁石としては、小型のものは軸受等の磨耗部分のない啣子型へ、中型から大型に至るものは ツレノイド を加味した肘型の電磁石で之には三脚鐵心が使用せられるものと考へられ、可動鐵心の運動方向は振動や衝撃に對して安全な垂直方向に動作する様な構造に設計されるものが増えると思へる。

参 考 文 献

- (1) 佐野： 限取線輪の理論と計算法 電氣日本 29 535 (昭 17)
- (2) 實藤： 17 聯大 No. 109 (昭 15-10)

論文と講演

薄井 廉介	並行線型發振器負荷結合法の解析	電氣學會誌	未定
木村 久男	内鐵型變壓器に於ける異常渦流損	電氣學會誌	"
北垣 成一	多層線輪の インダクタンス	日本ラヂオ協會、電波日本	7月號
荒井 潔	交流式輕合金抵抗熔接機の取扱に就て	電氣公論	7月號

第19卷 第7號 内容豫定

礦山増強特輯號

- | | |
|----------------|---------------|
| I 概説 | V 選炭及積込用設備 |
| II 採炭機械 | VI 附帶動力設備 |
| III 切羽及片盤運搬 | VII 防爆規定と其の應用 |
| IV 主坑道斜坑道及堅運搬機 | |

編輯室

今年は梅雨が少し早く來過ぎた様だ。早くから降り出して、暦の上の入梅からは一向に降らない。と思つて居ると梅雨期の後半は相當の雨量だ。

當節はお百姓でない都會人迄が農産物の心配をする。梅雨が早く來たから麥の出來が悪く無かつたらうか。未だ水が足るまいが、田植に困つた地方はあるまいか。田植が済んだ頃にこんなに降つては、折角の苗が流れてしまはないだらうか 等々。

食糧増産の秋、全國民が憂國の情ほとばしつて、百姓に先んじて農作物に思ひを致す。國策も此處迄徹底したいものである。

假に米麥の不出來で配給が少くなりはずまいか等とさもしい情が一片たりとも混じつて居たとしたら如何、同じ事を憂ふるのにその心情に於て雲泥の差が其處に生ずる。憂國の情と英米的營利主義思想との差である。

ガダルカナル島の血戦を想ひ、アッツ島の玉碎に悲憤する時、我等技術者は先づ何を考ふべきか。

熱帯のジャングル、アリューシャンの悪天候にその責を歸してどうして安閑として居られ様か。

一機、一艦、一弾たりとも多く、而も日々新しく優れたものを第一線に送るべき重任を擔ふ我等、敵英米の技術に劣れる點なきか。

三省四憂、深く思ひを致して、自ら發憤勉勵すること護國の英靈に應へ奉る所以ではあるまいか。

舊習に戀々として生産を阻害する愚は、配給を憂へて雨雪を望むと選ぶ處無く、我等の念願する技術報國の糖神に反する事甚しい。「三菱電機」もその意味に於て、常に新なる企劃を以て、邁進せんことを誓ふ次第である。

次號は、鑛山特輯號として異色あるものを提供すべく編輯部一同大車輪の最中。乞ふ御期待を。

(Y)

三菱電機株式會社

東京市麴町區丸ノ内二丁目四

神戸製作所
名古屋製作所
長崎製作所
大阪製作所
大船工場
世田ヶ谷工場

神戸市兵庫區和田崎町三丁目
名古屋市東區矢田町
長崎市平戸小屋町
兵庫縣川邊郡立花村塚口
神奈川縣鎌倉郡大船町
東京市世田ヶ谷區池尻町四三七

東京工場
直方出張所
札幌出張所
奉天駐在員
新京駐在員
京城駐在員

東京市芝區海岸通二丁目七
直方市大字下新入
札幌市北二條東一二丁目九八
奉天大和區浪速通二八
新京大同大街(康徳會館内)
京城府黃金町一丁目一八〇

三菱電機株式會社 神戸製作所内
編輯兼發行者 中 台 一 男
發行所 神戸市兵庫區和田崎町三丁目
三菱電機株式會社 神戸製作所内
「三菱電機」編輯部
印刷者 大阪市東區北久太郎町一丁目一六
久 保 專 治
印刷所 大阪市東區北久太郎町一丁目一六
株式會社 日本寫真工藝社

〔無斷轉載を禁ず〕

東京市神田區淡路町二丁目九
配給元 日本出版配給株式會社
昭和18年7月11日 印刷納本
昭和18年7月14日 發行
〔本誌代價〕 壹部二付 金貳拾錢
(郵税不要)

日本出版文化協會 會員番號 第132506號