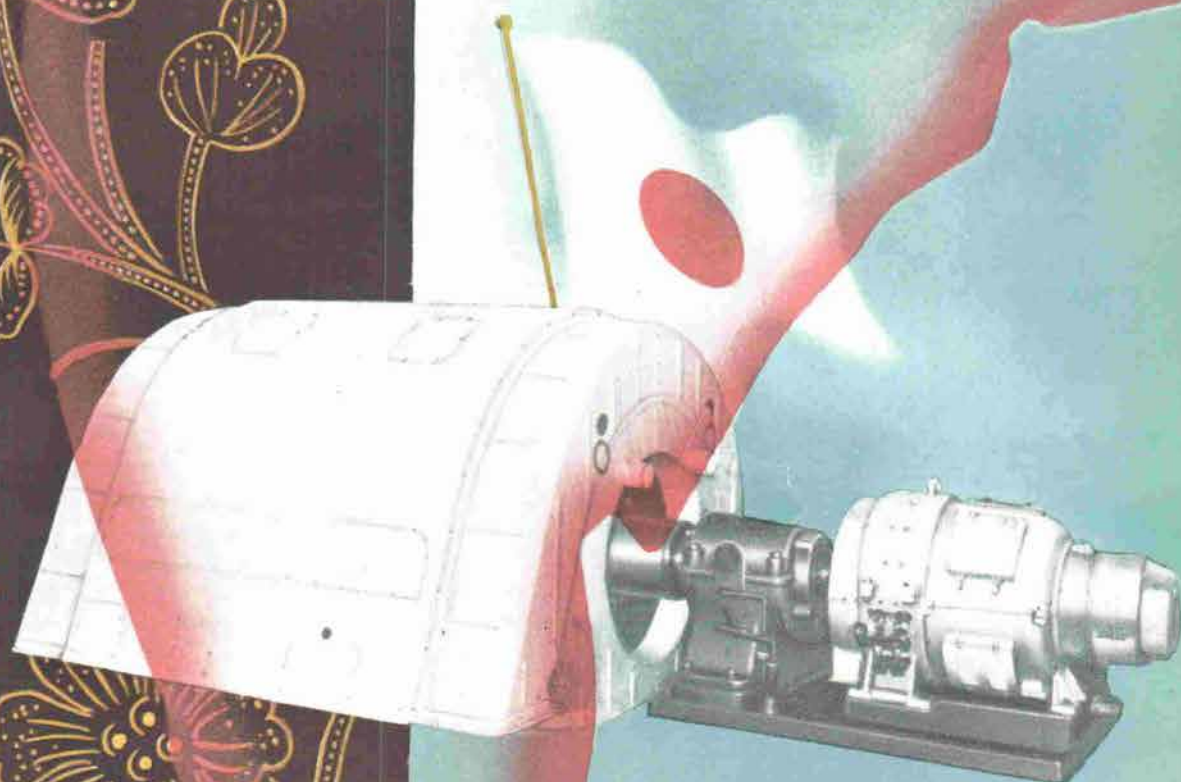


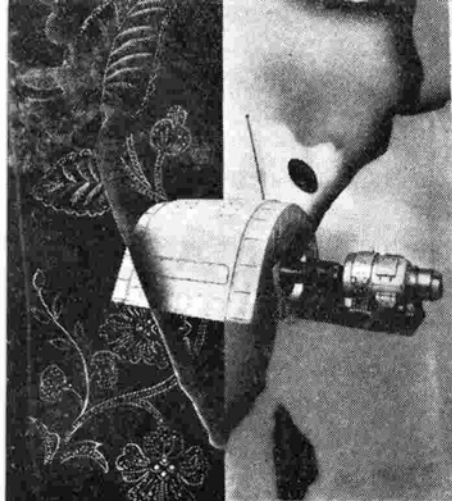
MITSUBISHI DENKI

三菱電機



VOL.26 1952

7



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

印度 East Punjab 政府注文により鋭意製作中でありました Nangal Power Project Delli Grid Substation 納入の 20,000 kVA 同期調相機 2 基は去る 6 月 15 日わが国最初の輸出として神戸港より船積されました。表紙は印度地図、更紗紋様をデザインしたものです。

三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表 1631・2331

研究所 兵庫県尼崎市南清水

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市東区矢田町

伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市字境橋町

福山工場 福山市沖野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県恵那郡中津町

福岡工場 福岡市今宿青木

札幌修理工場 札幌市北二条東 12

大阪営業所 大阪市北区堂島北町 8 番地 1

(電) 福島 (45) 5251-9

名古屋営業所 名古屋市中区広小路通

(電) 本局 (23) 6231-5

福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)

(電) 西 (2) 5821-5825

札幌営業所 札幌市南一条西 5 の 14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁 63

(電) 仙台 2573・8057

富山事務所 富山市安住町 23 の 2

(電) 富山 4692・5273

広島事務所 広島市袋町 1 (明治生命ビル)

(電) 中 1069・4824

昭和 27 年 第 26 卷 第 7 号

目次

印度デリー変電所納入

20,000 kVA 同期調相機と配電盤……………井関・松尾… 2

船用ウインチのウォームギヤー……………高田…11

ハズミ車付織機用電動機……………白田…17

液体窒化炭法の研究……………大森・大河内…24

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸本久雄				
委員	浅井徳次郎	荒井潔	安藤三二	石橋英樹	
	市吉惟浩	岡屋精二	川田勝利	小林治一郎	
	進藤貞和	澁谷進一	田宮利彦	松田新市	
	毎熊秀雄	前田幸夫	松尾米太郎	松岡治	
幹事	宗村平二	森村久男	薄井廉介		
	吾郷侃二		(以上 50 音順)		

昭和 27 年 8 月 15 日 印刷

昭和 27 年 8 月 20 日 発行

『禁無断転載』

定價 1 部 金 60 円

編集兼発行人

印刷所

印刷者

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地

東京都港区麻布竹谷町 1 番地

東京都港区麻布竹谷町 1 番地

三菱電機株式会社内

電話 和田倉 (20) 1631

吾郷侃二

博文堂印刷所

大橋佑吉

「三菱電機」編集部

日本出版協会会員番號 213013

印 度 デ ー リ ー 変 電 所 納 入 20,000kVA 同 期 調 相 機 と 配 電 盤

神 戸 製 作 所

井 関 巖
松 尾 潔

20,000 kVA Synchronous Condensers and Controlling Equipment for Delhi Grid Substation in India

By Iwao IZEKI, Kiyoshi MATSUO

Kobe Works

As an aid to reascent India realizing a plan of great power development, two 20,000 kVA synchronous condensers have been supplied to Delhi substation, Nangal power section in East Punjab. they are, to our great joy, the first units of the kind built and exported by us after the war, affording an opportunity to enhance our reputation abroad. these units and their controlling devices are built in accordance with the standards of AIEE, ASA and NEMA except the materials, which, under the unavoidable circumstances, are made conforming to JES instead of ASTM. the differences between them of the components and the physical characteristics of the material are explained to the customer for their approval together with an unconditional guarantee on the products by our company. A few novel designs are also adopted on the controlling system. As the factory test was very satisfactory, and they are ready for the installation and actual operation at the site, brief descriptions are made on the synchronous condensers and the switchboards in this opportunity.

1. ま え が き

新生印度の大電力開発拡充計画の一環として、東パンジャブ・ナンガル電力区のデリー変電所に 20,000 kVA 同期調相機 2 基が納入された。同期調相機の製作はわが社として戦後初の製品であるばかりでなく、同期調相機の初の輸出品として三菱同期調相機の真価を海外に問う機会を得たことは喜びにたえない次第である。

本機ならびにその制御装置には AIEE, ASA, NEMA 等の規格が採用された。ただし使用材料については入手困難のため JES による材料を使用し、JES と ASTM

との成分表および物理的諸特性の比較表を作成して承認を求め、製品に関してはわが社において無条件保証をしている。またその制御方式に二三の新しい試みもなされているが、このたび好成績を納めて工場試験を完了し現地における据付・運転を待つのみとなつたのでこの機会に納入された同期調相機および配電盤の概要を述べることにする。

2. 系 統 の 概 要

このたび納入された同期調相機の設置されるデリー・グリッド変電所 (DELHI GRID SUBSTATION) は

ナンガル (NANGAL) を送電端とする 220 kV 送電幹線 (二回線平行送電線) の受電端にあたり、その送電距離は約 200 マイルである。送電端はナンガル第一発電所および 6 マイル距るナンガル第二発電所で構成されており、両発電所とも 24,000 kVA 2 基の発電機を有しているが、4 年ないし 5 年後にバアカラー・ダム (BHA KRA DAM) が完成した暁には両発電所に同一容量の 3 号機を据付ける計画が立てられている。さらに前記バアカラーに発電所を建設し送電幹線もナンガルからバアカラーまで延長する予定で、その発電容量は負荷の需要度にもよるが約 200 MVA にまで拡張されることは必至と見られている。

送電幹線はここ当分の間は 132 kV で送電され、幹線がバアカラーまで拡張される際に系統の絶縁強化を行い、さらにナンガル第一発電所に 132/220 kV の単巻変圧器を設置して 220 kV に昇圧する計画である。

同期調相機はナンガルーデーリー送電幹線の受電端に接続され、この系統の電圧の確立にまた安定度の向上に資するのであるが、系統負荷のいかんによつてはデーリー変電所にさらに 3 号機をまた系統の他の変電所へも同期調相機を増設することを考慮しているようである。

1 図は東パンジャブ電力区の系統概要図、2 図はデーリー・グリッド変電所の電線接続略図である。

3. 設備の概要

デーリー・グリッド変電所に設置される変電・配電設備はドイツ・シーメンス社が納入し当社はその同期調相機関係一式を納入した。同期調相機系の主機および補助機の設備の概要は下記のようなものである。

○同期調相機 横軸、凸極、回転界磁、閉鎖風道循環型、
空気冷却器付
20,000 kVA (進相)
10,000 kVA (遅相)
11 kV 50 〃 750 rpm 連続

○直結主励磁機 閉鎖、防塵、防滴型、他励差動分巻付
95 kW 220 V 750 rpm

○直結副励磁機 閉鎖、防塵、防滴型、複巻
3 kW 110 V 750 rpm

○起動用誘導同期電動機 閉鎖風道循環型
1,500 HP
3,300 V 50 〃 750 rpm 30 分

○起動用変圧器 2,000 kVA 11kV/3,300 V

○起動電動機用励磁機

駆動電動機 20 kW 400 V 50 〃 1,500 rpm 30 分

主励磁機 閉鎖型、他励
16 kW 50 V 1,500 rpm 30 分

副励磁機 閉鎖型、複巻
0.5 kW 110 V 1,500 rpm 30 分

○潤滑油ポンプ (軸受潤滑用)
2HP 1,500rpm 60l/min 8kg/cm²
(電動機 2HP 400V)

○圧油ポンプ (軸浮揚用)
2HP 1,500rpm 100kg/cm²
(電動機 2HP 400V)

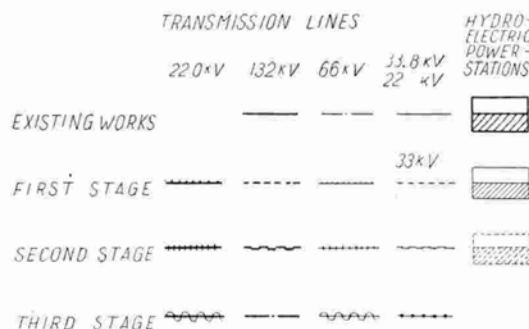
○冷却水ポンプ (空気冷却器と潤滑油冷却器用)
25HP 300m³/h
(電動機 25HP 400V)

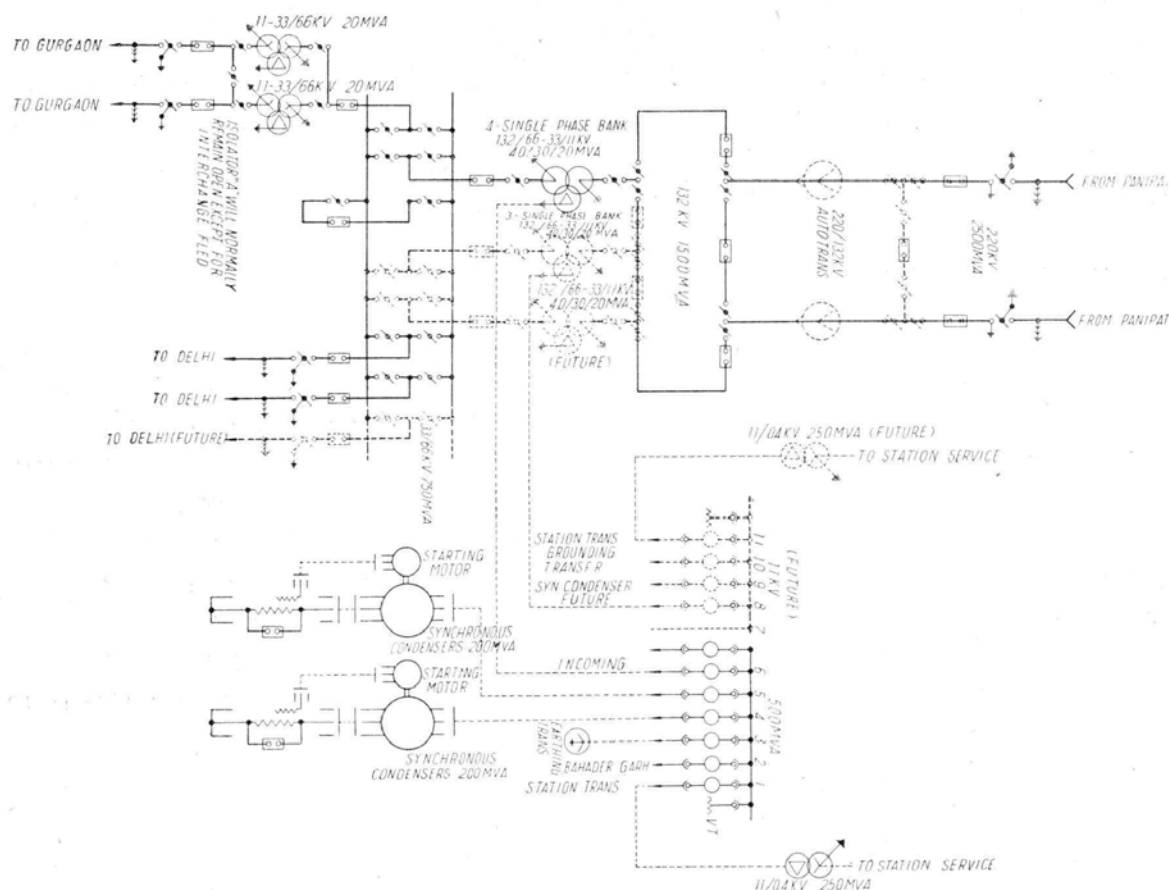
これらはすべて自動制御されるが後述することとする。



1 図 東パンジャブ州電力区系統概要図

Fig. 1. Transmission system of East Punjab P.W.D





2 図 デーリーグリッド変電所単線接続図
Fig. 2. Schematic Diagram of Delhigrd substation.

4. 同期調相機の概要

ア. 構造

3 図は同期調相機、励磁機および起動電動機の配置を示し、4 図および5 図はそれぞれ同期調相機および励磁機の外観を示す。固定子は鋼材溶接式でことに強固な構造とし陸上輸送の便を考慮して2分割とした。

端囲いは二重エンドベルとし、エンドベルは従来の溶接リブを廃して型押しを採用し、美麗軽量しかも強固な構造としている。回転子は主軸と輻鉄を一体として八角形の鍛造鋼材を使用しダブテールによつて成層界磁鉄心を取付けている。6 図は切削中の主軸を示す。磁極頭には黄銅製のダンパ棒を取付けマンガン黄銅製ダンパ片によつて強力な制動巻線を構成している。軸受は正確な工作とスーパ、フィニッシュの採用によつてきわめて堅牢で損失が少く、冷却には水冷管は使用せず電動機直結のギヤーポンプ油冷却器油汙過器等による強制循環通油方式としている。なお全停電の場合を考慮して油環を併用するとともに起動の際にはオイルリフトを備えている。

通風方式には特殊の考慮を払い全密閉構造として空気冷却器を備えて循環通風方式を採用した。印度は高温多湿に加えて特有の砂塵が甚しく、機内の空気は外気と遮断してUフィン管によつて冷却することとした。

塗装に関しては従来ややもすれば気温湿潤の相違から現場到着後発錆をみるものがあつたため、塗料の選択に関してはとくに注意を払うと同時に露出部は全面グラインド仕上を施したうえ錆止で塗料を施した。

イ. 工場試験

工場試験は前述のとおり AIEE の規定にしたがつて実施した。すなわち抵抗測定・無負荷飽和特性・三相短絡特性・絶縁抵抗測定・波形オシログラフ・突発線間短絡・等価温度上昇・起動特性等の測定を行つた結果きわめて良好な成績をおさめた。ことに起動に関しては電動機は従来のように誘導同期電動機を使用した但其の結合は直接線路に結合せず同期調相機と起動変圧器を通して直列に接続し、起動に際して調相機と電動機の両者が回転力を発生することによつて衝撃なく同期にひき入れることができた。

なお損失は工作の改良によつて機械損がきわめて少なくなり非常に小さかつた。おもな実測値は下記のとおりである。

諸 損 失

出力 (kVA)	20,000	15,000	10,000	0	10,000
力 率	進相 0	左同	左同		遅相 0
全損失(実測)	330	267	220	172	185kW
全損失(保証)	400	350	300	250	290kW

温度上昇

	測定法	温度上昇 (実側)	温度上昇 (保証)
固定子コイル	サーモカップル	42.5 °C	80 °C
〃	寒 暖 計	26.0 °C	80 °C
回転子コイル	抵 抗 法	73.2 °C	80 °C

そ の 他

短 絡 比=0.988

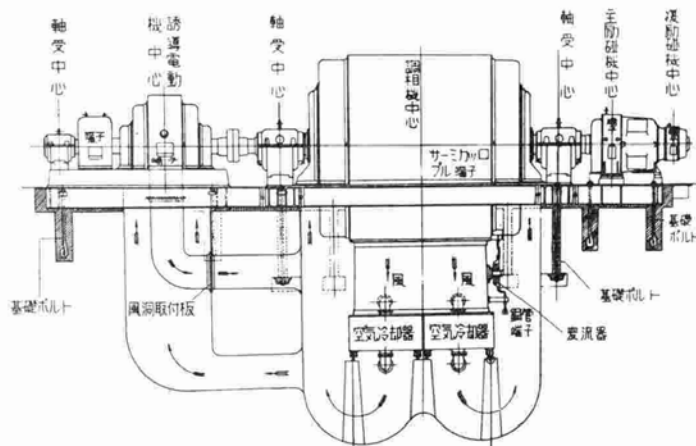
直軸同期リアクタンス $X_d = 133 \%$

直軸過渡リアクタンス $X'_d = 28.9 \%$

直軸次過渡リアクタンス $X''_d = 18.5 \%$

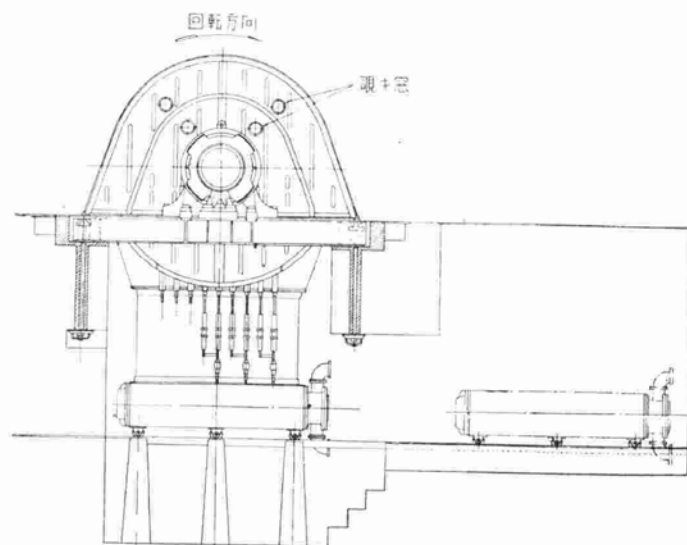
5. 配電盤設備

配電盤は配電盤室に設置される主配電盤と機械室に設置される補助配電盤からなり、前者はさらに同期調相機



3 図 (1) 同期調相機側面図

Fig. 3 (1) Side view of 20,000kVA Condenser.

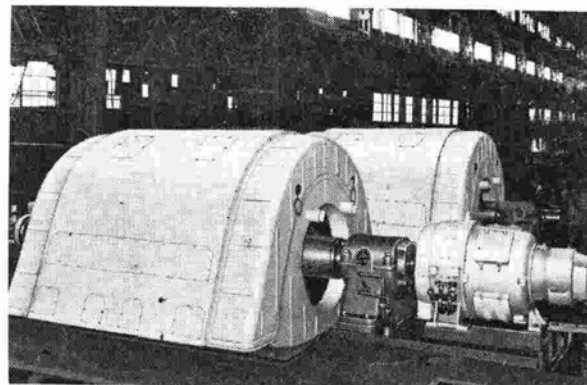


3 図 (2) 同期調相機正面図

Fig. 3 (2) Front view of the Condenser.

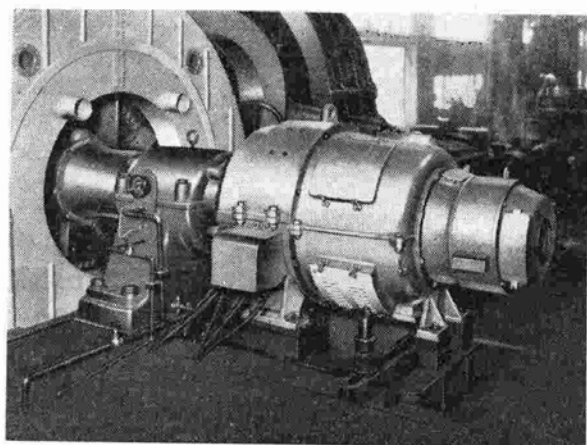
印度デリー変電所納入 20,000kVA 同期調相機と配電盤・井関・松尾

盤と起動電動機盤に、後者は運転用遮断器盤、11kV 変成器盤、起動電動機一次遮断器盤、同二次遮断器盤、同々期遮断器盤、制動用遮断器盤、同期調相機界磁遮断器盤および主励磁機界磁抵抗器盤に別れている。主配電盤は LD 型垂直両盤で同期調相機盤はさらに D₁ 型机型制御盤を付属している。また補助配電盤はすべてキュービクル型である。



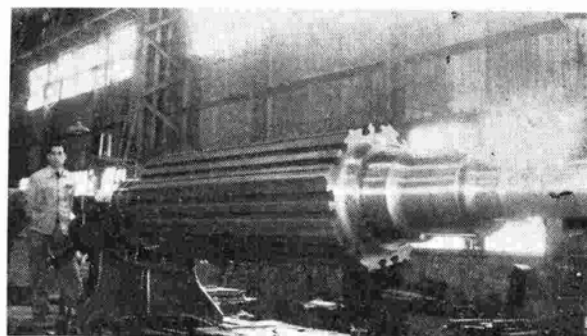
4 図 20,000kVA 調相機

Fig. 4. General view of the Condensers, under test at works.



5 図 90kW 主励磁機と 3kW 副励磁機

Fig. 5. 90kW main Exciter and 3kW sub Exciter.



6 図 同期調相機の主軸

Fig. 6. Main shaft of Condenser.

盤はすべて 3.2 mm 高級仕上鋼板を使用し、表面は明快なアドミラル・グレー色、裏面は白色で塗装され美麗堅固にできている。さらに盤はすべて密閉型で扉には鍵付把手をつけ保守の安全および誤操作の防止とともに小動物の侵入加害に対する考慮が払われた。また高温（夏季最高温度 50 °C）多湿の気象条件に加うるに前記のように密閉型であるため、盤内部には電熱器をつけるなどして通風防湿にとくに留意された。個々の計器々具等も上記気象条件に適応させたばかりでなく、その特性は A IEE, ASA, MEMA 等の規格に準拠し印度政府から委嘱された試験官の厳重な立会試験に合格した優秀な製品である。

同期調相機の制御は後述のとおり一人制御方式が採用せられているが、主配電盤の前面盤には計器および監視器具を背面盤には保護・制御継電器および自動電圧調整器を取付け、さらに分離机型制御盤には各種制御・切換開閉器をつけ機器および所内各部の状況を配電盤室で集中監視制御するに便利な構造となつている。これら監視制御装置の完備は自動制御の円滑なる運営に資するのみでなく、保守員に対し安定感を与え機器の完全なる運営を行わしめる点その使命はきわめて重要である。監視制御装置の内おもなものを列記してみる。

ア. 主幹順序制御開閉器

主幹順序制御開閉器は停止・準備・起動・運転・断の 5 位置を有し、同期調相機の運転、停止はもつぱらこの制御開閉器により段階的にまたは連続的に行われる。

またこの制御開閉器は自動段階の終了状態を表示する順序動作表示灯を付している。

イ. 制御電源開閉器

制御電源開閉器には NF 型デアイオン気中遮断器を使用した。この種開閉器が従来の双形開閉器と可溶器の組合せに対して勝れている点は周知のことであるからここでは省略する。

ウ. 各種表示器

機器の量的計測装置の完備と相まち下記のような集合表示器をそなえ集中監視の実を挙げている。

a. 補助機用集合運転表示器

潤滑油ポンプ、冷却水ポンプ、圧油ポンプおよび起動電動機用励磁機の運転状況を表示せしめている。

b. 補助設備用集合状態表示器

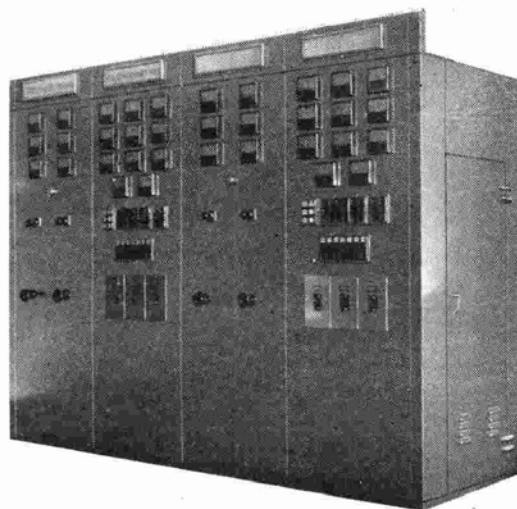
潤滑油、冷却水、圧油および起動抵抗器位置の状態を表示せしめている。なお主副励磁機用界磁抵抗器位置、自動電圧調整器使用除外等は各制御・切換開閉器に付属した表示灯により表示させる。

c. 遮断器用集合状態表示器

各種遮断器の開閉状態を制御順序に配列し、開状態を緑色、閉状態を赤色にて色別した集合表示器に表示させる。

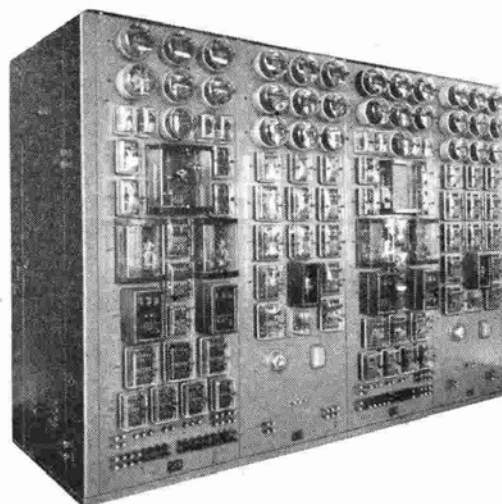
d. 集合故障表示器

保護継電器の動作状態は故障の種類を自動器具番



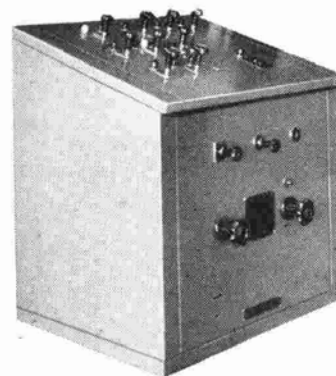
7 図 (1) 前 面 盤

Fig. 7 (1) Front view (Meter boards)



7 図 (2) 後 面 盤

Fig. 7 (2) Rear view (relay boards)



7 図 (3) 制 御 盤

Fig. 7 (3) Separated control desk board.

7 図 主 配 電 盤

Fig. 7. Main switchboards.

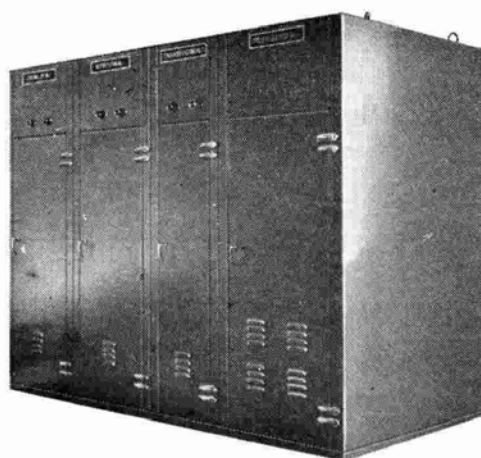
号にて識別した表示灯式集合表示器に表示させる。

なお自動電圧調整装置および保護装置については後述することとする。

キュービクル型補助配電盤は前記のように各種遮断器、変成器、抵抗器等を内蔵しているが、裸銅帯を使用した部分はその電圧段階に応じた絶縁を施し、またビールテープで相別に色別し保守点検に安全かつ便ならしめている。

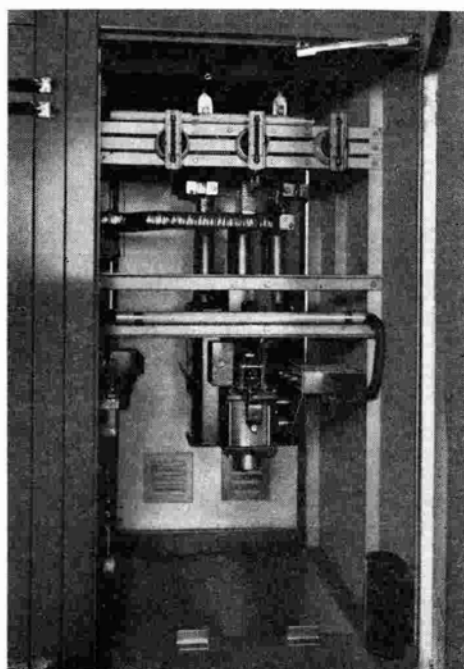
起動電動機用起動抵抗器は電動操作式カム型制御器により制御せられるが、この制御器には操作電動機制御継電器盤を付属せしめている。

7 図は主要配電盤を 8 図は補助配電盤の外観の一部および内部の一例を示す。



8 図 (1)
外観の一部

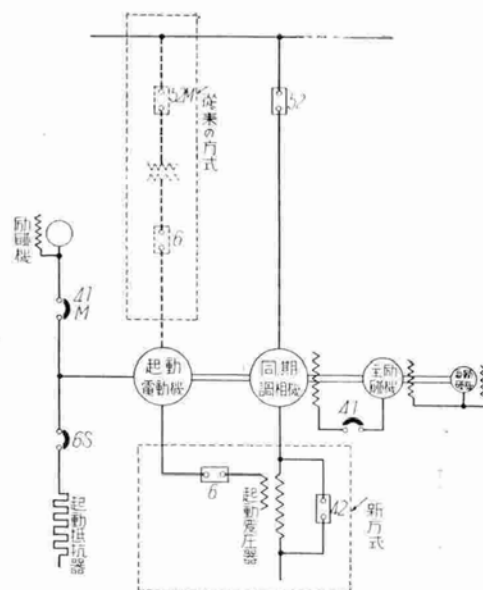
Fig. 8. (1) front view



8 図 (2)
内部の一部

Fig. 8. (2) Inner view

8 図 補助配電盤
Fig. 8. Auxiliary switchboards.



9 図 単線接続図

Fig. 9. Skeleton diagram.

6. 自動制御

本機の制御は前述のとおり配電盤室から集中監視制御する一人制御方式であるが、制御方式の適用にあたっては円滑安全な運行と遅滞なき制御とに意が払われた。ここに特筆すべきはその起動方式に新しい試みがなされたことである。以下自動制御の概要を述べる。

ア. 起動方式の概要とその特長

このたび採られた調相機の起動方式は起動電動機（誘導同期電動機）による方式であるが、従来のこの種方式では 9 図の点線部で示すように起動電動機の電源は同期調相機の接続される主回路から遮降変圧器（省略される場合もある）を通じて供給していたのであるが、このたびは 9 図の実線部で示すように同期調相機の中性点に挿入された起動用変圧器を電源とする新しい試みがなされた。その順序制御はつぎの項で述べるが、起動にあたってはまず主遮断器 #52 を投入すると起動電動機は起動用変圧器の誘起電圧で誘導起動し、同期調相機の起動最終段階で運転用遮断器 #42 を投入して運転状態に入るのである。

この新方式が従来の起動方式に勝る点は、

- 従来の方式では 9 図の遮断器 #52 M もまた主遮断器 #52 と同一の遮断容量を必要とするが、新方式では調相機系の高圧主回路はすべて #52 に集約される。
- 起動にあたって同期調相機は主回路に接続されるから同期調相機自身も起動回転力を発生し、ために起動電動機の容量は従来の方式のものよりは少なくてすむ。
- また起動電動機との結合位相さえ完全であれば最終段階においては完全に同期化されているので同期検定の必要がない。

- d. 運転用遮断器 #42 の遮断容量は少なくすむから従来の方式の 9 図の遮断器 #52 M に比較して設備費は安価にすむ。

等である。ただし同期調相機が線路充電を行う必要のある系統ではこの方式を採用することはできない。

1. 自動運転制御

自動運転制御は前項起動方式を採用した一人制御方式であるが、その制御はもつぱら前記の主幹順序開閉器によつて行われる。

a. 準備

- 主幹順序開閉器を断または停止位置から準備位置に回す。
- 補助機用主幹継電器が動作し、潤滑油ポンプ、冷却水ポンプおよび起動電動機用励磁機は起動する。
- 潤滑油および冷却水を通じ励磁機が電圧を発生し起動条件が満足されると自動制御用主幹継電器が動作し制御母線が生き自動起動が可能となり準備動作は完了する。

b. 起動

- 主幹順序開閉器を準備位置より起動位置に回す。
- 主遮断器が投入される。
- ついで起動電動機二次遮断器が投入される。
- また圧油ポンプが起動し主軸に圧油を供給し軸を浮揚する。
- 一定時間後起動電動機一次遮断器を投入すれば電動機は誘導起動する。
- 加速電流継電器により速度の上昇を確認しつつカム型制御器の電動機を制御し順次起動抵抗器を短絡する。電動機は次第に速度を上昇する。
- 誘導起動の最終段階にて極性継電器により電動機回転子電流が正方向の際二次遮断器を開き起動抵抗器を開放するとともに、電動機同期化用遮断器を投入し電動機二次に直流加励し起動電動機を同期速度に牽入し起動を終る。
- 圧油ポンプは停止する。

c. 運転

- 主幹順序開閉器を起動位置から運転位置に回す
- 前記電動機同期化用遮断器投入一定時間後同期調相機界磁遮断器を投入し直流加励する。
- 界磁電流が無負荷規定値に達すると界磁電流継電器動作し、起動電動機一次遮断器を開き、ついで運転用遮断器を投入し運転に入る。
- 起動電動機同期化用遮断器が開き、続いて励磁機は停止する。また自動制御用主幹継電器が不動作となり制御母線は死ぬ

d. 停止・制動

- 主幹順序開閉器を運転位置から停止位置に回す。

す。

○停止継電器が動作し主遮断器を開放する。

○潤滑油ポンプ、冷却水ポンプが停止する。

○制動用遮断器が投入され、続いて起動電動機同期化用遮断器を投入ついで同励磁機が起動し起動電動機に直流加励する。起動電動機の発生電力を制動抵抗器に吸収せしめ発電制動を行わせ同期調相機を停止させる。

10 図はこの同期調相機の自動制御装置接続略図である。

7. 電圧調整

受電端の電圧確立および系統安定度を確保すべき同期調相機の使命と、加うるに同期調相機の負荷量はその誘起電圧により一義的に決定する点から電圧調整はきわめて重要なものである。したがつてその自動電圧調整器は負荷の変動に追従する広範囲のものでありまた急速々応励磁型のものが要求される。一方同期調相機の本来の使命のみを考慮すればその電圧調整方式は定電圧調整方式を採用すべきであるが、系統異常時に同期調相機は過電流運転となり巻線を焼損することが考えられる。したがつて系統正常時には定電圧調整を行い系統の電圧確立に寄与せしめ、系統異常時に同期調相機が過電流状態になつた際には過電流を抑制するように保護特性を賦与する電圧調整が望まれる。

以上の見地からこの同期調相機には広範囲型急速々応励磁界磁抵抗型である BJ 型自動電圧調整器を使用し、さらにこれに過電流保護特性を賦与した電流限定電圧規正式自動電圧調整方式を採用した。

電流限定電圧規正式自動電圧調整方式とは、上記 BJ 型自動電圧調整器の外に VJ 型調整電圧規正調整器と IJ 型過電流調整器を備えさらに自動電圧調整器の調整電圧移行抵抗器は電動操作とし、これらの組合せで行うものである。すなわち同期調相機負荷電流が制限値（たとえば定格電流）以内であれば調整電圧規正調整器の指定する電圧となるように調整電圧移行抵抗器を移行して定電圧調整を行い、同期調相機負荷電流が制限値を超過すると、前記調整電圧規正調整器はその機能を停止するとともに過電流調整器が動作し調整電圧移行抵抗器を制御して同期調相機電流が制限値内となるように調整電圧を移行させるものである。

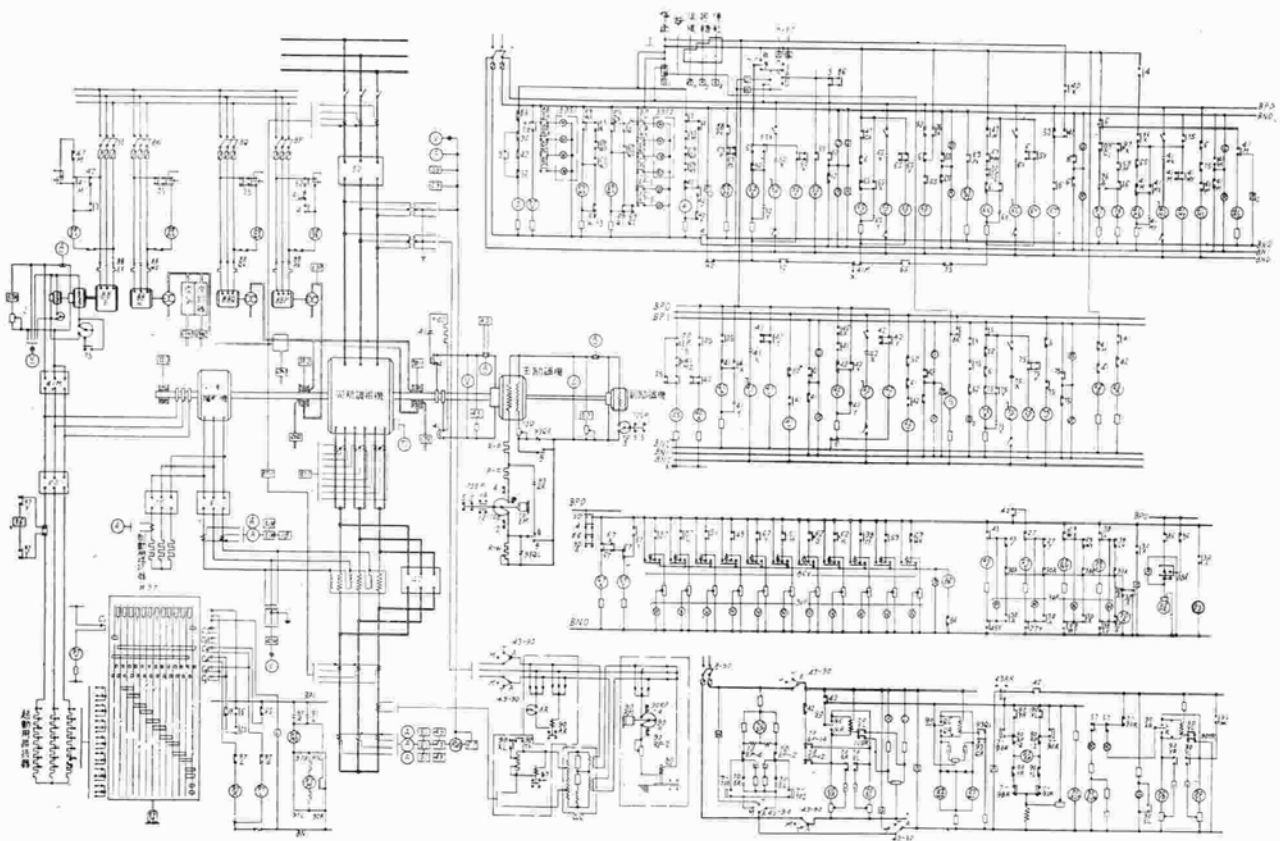
10 図の自動制御装置接続略図はこの電流限定電圧規正式自動電圧調整方式を加味したものである。

8. 保護装置

保護装置は自動制御の一環とし主機の性能の良否をも左右するものできわめて重要で、保護装置の完備のみでなくその事後対策も宜しきを得なければならない。

この同期調相機には故障の性質によつて

a. 運転停止



10図 自動制御装置接続略図

Fig. 10. Sequence diagram of automatic control.

b. 軽故障警報

の2種とし、a たちちに運転を停止し故障の除去を確認しなければ再起動できないよう鎖錠するもので、b はただ警報のみを発し事故を確認し適宜の処置をとらしめ運転を停止するまでに至らしめないものである。またいずれの故障が発生しても集合故障表示器に故障の種類を表示灯をもつて表示させるとともに運転停止故障の場合は電鈴で軽故障の場合はブザーで警報を発するようになっている。

つぎに運転停止故障、軽故障の種類を列記すれば下記のとおりである。

ア. 運転停止

- 同期調相機相間短絡と内部接地
- 同期調相機層間短絡
- 同期調相機過電流
- 同期調相機過電圧
- 同期調相機過負荷継続
- 同期調相機脱調
- 起動電動機過電流

h. 軸受過熱（第二段）

i. 軸受潤滑油断油

j. 起動渋滞

k. 運転渋滞

イ. 軽故障警報

- 励磁機過電圧
- 同期調相機低電圧
- 軸受過熱（第一段）
- 冷却水断水

9. むすび

以上印度・デリー・グリッド変電所の系統・設備の概要と同変電所に納入された同期調相機および自動制御の概要を述べた次第である。

最後に一日も早く本機の据付を完了しインド電力界に貢献する日の早からんことを祈念するとともに、今後の友邦インドの電力界の発展を祈念して止まないものである。

器 具 番 号 說 明

番 号	型 名	名 称	番 号	型 名	名 称	番 号	型 名	名 称
1	S-W	主幹操作開閉器	41MX,Y		同上用制御接線器	70ELR	MC	同上用制御繼電器
3	MC	補助機主幹制御繼電器	41MZ	JD	起動電動機同期檢出繼電器	70EP		同上用極限開閉器
3-52	W	油入遮断器操作開閉器	42		運転用油入遮断器	70S	FR	副励磁機界磁調整抵抗器
3BI		電鈴操作開閉器	42C		同上用閉合線輪	70SP		同上用極限開閉器
4	MC	自動制御主幹制御繼電器	42T		同上用引外線輪	75		制動用油入遮断器
5	MC	停止繼電器	42X,Y	DM	同上用制御接線器	75C		同上用閉合線輪
6		起動用油入遮断器	43-90	W	自動電圧調整器自動手動切換開閉器	75T		同上用引外線輪
6C		同上用閉合線輪	43A	W	主遮断器自動手動切換開閉器	75X,Y	DM	同上用制御接線器
6T		同上用引外線輪	43AR	W	電流限定要素自動手動切換開閉器	86	WS-1	非常停止繼電器
6X,Y	DM	同上用制御接線器	45	SV	励磁機過電圧繼電器	86X	SM-4	同上用補助接線器
6S		起動用遮断器	45Y	SG	同上用補助繼電器	87-1	HA-G	調相機間短絡繼電器
6SC		同上用閉合線輪	47M	CP	逆相繼電器	87-2	HA-G	調相機間短絡繼電器
6T		同上用引外線輪	49	BL	調相機過熱溫度繼電器	88E	MK	起動電動機用励磁機驅動電動機
6SX,Y	DM	同上用制御接線器	51	CO	調相機過電流繼電器	88EX	EC	同上用電磁直入起動器
7-70E	W	主界磁調整抵抗器調整開閉器	51M	CO	起動電動機過電流繼電器	88P	MK	圧油電動機
7-90R	W	調整電圧移行抵抗器調整抵抗器	52		主回路油入遮断器	88PX	EC	同上用電磁直入起動器
8E,P, Q,W-90	A	制御電源開閉器	52C		同上用閉合線輪	88Q	MK	潤滑油電動機
18	SC	加速繼電器	52T		同上用引外線輪	88QX	EC	同上用電磁直入起動器
25	MC	運転用主幹繼電器	52X,Y	DM	同上用制御接線器	88W	MK	冷却水電動機
27	CV	低電圧繼電器	53	MC	励磁機電圧繼電器	88WX	EC	同上用電磁直入起動器
27Y	SG	同上用補助繼電器	53M	MC	同上(起動電動機励磁機用)	90	BJ	自動電圧調整器
30A	WR	輕故障警報繼電器	57	IJ	過電流限定主要素	90AR	VJ	調整電圧規正主要素
30F	LA	集合故障表示器	59	CV	過電圧繼電器	90R	FR-M	調整電圧移行用抵抗器
30S1	LA	集合表示器(補助機運転表示用)	62S	JD	起動溢流繼電器	90RM		同上用操作電動機
30S2	LA	同上(條件表示用)	62R	JD	運転溢流繼電器	90RP		同上用極限開閉器
36	D-4	極性繼電器	63P		油圧繼電器	90XL	S	同上用制御繼電器
36X	MC	同上用補助繼電器	63PX	MC	同上用補助繼電器	90YL,R	MC	同上
38 1~4	丸	軸受溫度繼電器	63PY	JD	同上用補助時限繼電器	93QL,R	DH	急速應動用接線器
38LY	SG	同上用補助繼電器	67	CW-11	脫調保護用電力方向繼電器	97		起動抵抗器操作用制御器
40	D-4	界磁電流繼電器	67X,Y	MC	同上用補助繼電器	97C		同上用順序位置開閉器
40X	MC	同上用補助繼電器	69Q1.2	FQ	油流繼電器	97CX	MC	同上用補助繼電器
41	CL-B	調相機用界磁遮断器	69QX	MC	同上用補助繼電器	97M		同上用操作電動機
41C		同上用閉合線輪	69W1-3	FW	流水繼電器	97MB		同上用制動線輪
41T		同上用引外線輪	69WX	FW	同上用補助繼電器	97L,R	EP-15	同上用制御繼電器
41X,Y	DM	同上用制御接線器	69WY	SG	同上	97X	JD	同上用補助時限繼電器
41M		起動電動機用界磁遮断器	70D	BJ	差動界磁抵抗器	97Y	MC	同上用補助繼電器
41MC		同上用閉合線輪	70E	BJ	主励磁機界磁調整抵抗器			
41MT		同上用引外線輪	70EM		同上用操作電動機			

舶 用 ウ イ ン チ の ウ オ ー ム ギ ャ ー

長 崎 製 作 所

高 田 眞 藏

Worm gears of Cargo winches

By Shinzo TAKATA

Nagasaki Works

Accurate worm gears with a large lead angle are hard to make. It has been the usual practice to finish the worm gear by scraping the worm against the worm wheel. This method, however, is not always reliable to get good gears despite of the trouble.

To obtain satisfactory worm gears by machine cutting alone, the worm is thoroughly ground to high precision finish, and the worm wheel, after hobbled, is shaved with a cutter which is so adjusted as to give a little crowning by changing the pressure angle and the lead. This process is successful in producing well-nigh ideal worm gears, and has resulted in remarkable reduction of working current of winches.

1. ま え が き

ウオームギヤ－は大きな減速比と静粛な運転がえられるので、三菱舶用ウインチには早くからウオームギヤ－形式を採用している。近年ウオームギヤ－の理論的進歩に伴いこれらを早く取入れまた設備的にも精密機械を整備することにより精密仕上を行つて、従来手仕上で歯当りをとつていたものを機械切りをしたままで理想的な歯当りを得られるようになったために、たとえば3トン、36 m, 33 HP ウインチで従来所要電流 135 A 平均であつたものを、昭和 26 年度製品 200 台の平均 124.5A と低下している。

以下3トンウインチ用ウオームギヤ－を主として述べる。昭和 27 年4月機械学会で講演したものを主体として取りまとめたものである。

2. 3 トン 舶 用 ウ イ ン チ の ウ オ ー ム と ギ ャ ー

要 目 (1 図 参 照)

3. ウ オ ー ム の 製 作

ア. ウ オ ー ム の 材 料

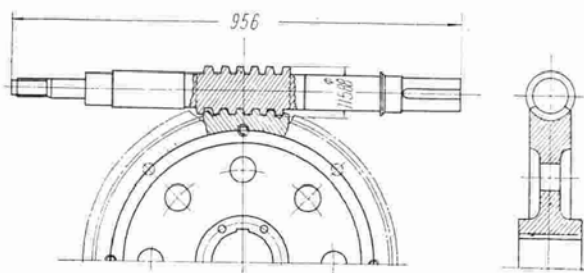
ウオームは従来肌焼鋼を使用して滲炭焼入を行つていたが、滲炭焼入したものは曲りの変形が大きく研磨代を余計につけねばならなくなり時間的にも長時間を要する。

さらに過剰滲炭や内部応力の関係で研磨ワレや運転ワレの恐れがある。近年急速加熱急速冷却の方法としてフレームハードニングや高周波加熱の進歩とともに材料の研究も必要となつてきた。

ウオームは硬度が高い程よいといわれているがこの根拠はあまり明確でない。硬度が低過ぎるとウオームギヤ－の材質の色がウオームの摺動面につくようなことがあるので、わが社では焼入後内部応力をとるための焼戻しを行つた後の硬度を歯面で検定して、ショア 50° 以上硬度ムラ 10° 以内としている。このためにはクロームモリブデン鋼 SAE Cr Mo No. 4140 ニッケルクローム鋼一種または二種、炭素鋼 S 45 のいずれを使用しても、フレームハードニングまたは高周波焼入を行えばこの硬度を得られる。もちろん従来の普通焼入では困難である。とくにクロームモリブデン鋼六種は焼入にて 80° 以上焼戻して 65 以上を得られるので最適と思われる。ニ

ツェルクローム鋼では焼入で 70 以上焼戻して 60 以上を得られるが焼ワレの出る場合がある。(12 図参照)

歯面の硬度を測定するにはハーバード曲面硬度計を使用して歯の頂部でなく摺動面となるクランクの曲面を 1 本宛数十個所を直接に測定する。この硬度計は測定にやや時間がかかるが測定誤差 $\pm 3^{\circ} \text{H}_5$ 程度で測定することができる。(1 表に Cr Mo No. 4140 の組成を 3 図に各種硬化法による硬度上昇部を斜線で示す)



歯 形	軸断面梯形またはインボリュート
圧 力 角	20°
サーキュラピッチ	$1\frac{1}{3}''$
ウォーム口数	三重右ネジ
リ ー ド	$4\frac{1}{3}''$
リ ー ド 角	$18^{\circ}43'$
中 心 距 離	371.6mm
外 径	ウォーム 115.88φ ギヤー 660φ
刻ミ円直径	98.42 p.c.φ 664.78 p.c.φ
ギヤー歯数	58枚
バックラッシ	0.4~0.8mm

1 図 ウォームとギヤー図との要目
Fig. 1. Dimension of worm and gear.

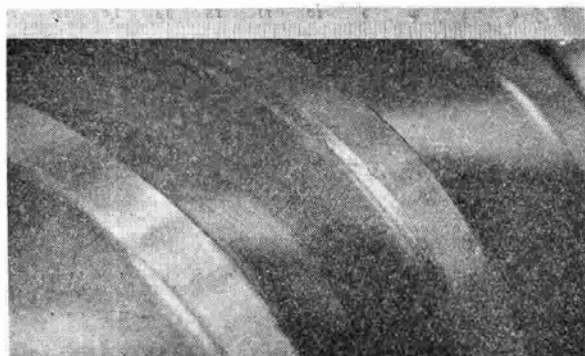


図2 運転ワレの実例
Fig. 2. Cracks after hoisting test.

1 表

SAE 4140 0.35~0.45 C 0.6~0.9 Mn 0.8~1.1 Cr 0.15~0.25 Mo

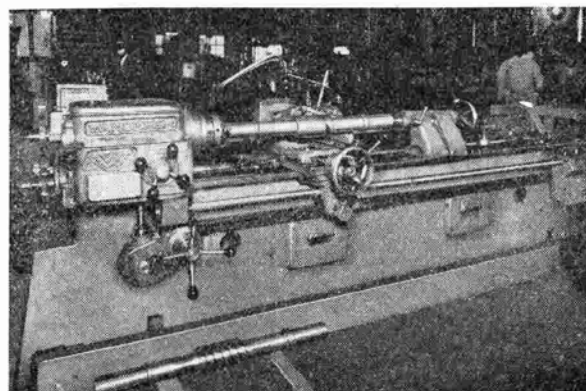


3 図 焼入硬化層の状況
Fig. 3. Section of hardening layer.

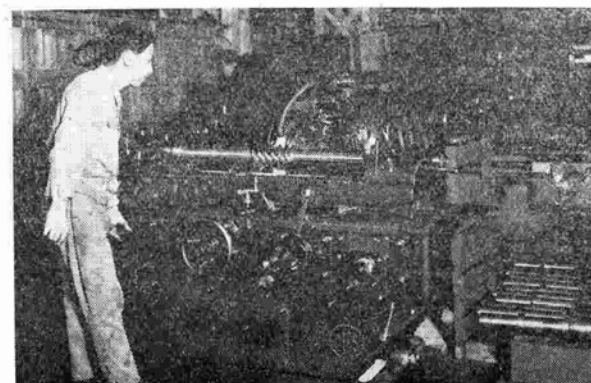
イ. ウォームの加工

旋削したウォーム材をスレッドミラーで歯の荒削りを行つた後ノルマライズを行う。その後ふたたびスレッドミラーで仕上削りを行い焼入をして焼戻しを行う。

(4 図はワンダラスレッドミラーによる歯切りを示す) ウォームの工程のうち最も重要なものは歯の研磨である。フレームハードや高周波焼入では焼入変形がピッチで $\frac{2}{100}$ 程度の極微量であるが、この程度の変形でも一応問題であるし、スレッドミラーでリングカットで切削した(歯形は歯溝直角断面梯形である)歯面の粗度は粗いので、これを研磨によつて軸断面梯形歯形(またはインボリュートでも良い)に正確にかつ細い粗度にな



4 図 ワンダラスレッドミラーによる歯切り
Fig. 4. Worm thread cutting by Wanderer Long thread miller.



5 図 ダビットブラウンによる歯研磨
Fig. 5. Worm thread grinding by David Brown worm grinder.

るように研削するのである。この際とくにピッチエラー、リードエラー、歯厚の精度を正しく押える必要がありいずれも $2/100$ 以内にする。リードエラー、歯厚のエラーはマスダスクリユの誤差によるものであり、ピッチエラーは口数の割出の際の割出精度とウォームをチャッキングする固定の仕方が大きく影響する。また砥石の修正はもつとも問題になる点で修正装置は少しのガタもないものでなければならない。このために特別な修正装置を作成して軸心に圧力角だけ傾け、修正装置をテーブル上でリード送りを与えながら砥石に対してダイヤモンドドレッサに往復運動を与えつつ修正する。(5図はタビッドブラウンウォーム研磨盤による歯研磨の状況を示す)

4. ウォームギヤー

ア. ギヤーの材料

ウォームギヤーの材料としては磷青銅がもつとも普通であるが、磨耗の点からは磷青銅二種を金型にて製作したものが望ましい。これを鋳鉄製のボスに焼嵌めしてネジで固定する。

なおアームスブロンズも十分実用することができる。なおアームスブロンズ鍛造品はもつとも耐磨耗が大で強靱な材料であるが、加工性から考えてアームスブロンズキャストの方がギヤー材としては適している。これらの性質の比較は2表のとおりである。

2 表

	抗張力 kg/cm ²	伸 %	硬 度 H _v
磷 青 銅	28~36	13~22	80~90
アームス鍛造品	70~80	20~30	190~240
アームス鋳造品	55~60	> 10	130~150

なお主要成分は3表に示す。

3 表

	Cu	Sn	P	Al	Fe	Ni	Mn	Si
磷 青 銅	残り	9	0.5	—	—	—	—	—
アームスブロンズ鍛造品 6 種	83.68	—	—	11	3.99	0.7	0.62	—
鋳 造 品	残り	—	—	10.58	3.35	1.95	0.65	0.13

とくにアームスブロンズの鍛造品を使用した場合面白い点は、従来のように手ですり合わせた場合は吊上試験の際温度上昇が飽和せずに遂に焼付きを起す場合もあるが、完全にシェービング仕上したものでは磷青銅の場合となんら変化なく、きわめて低い温度で飽和状態となる。これは材料が強靱で硬度が高いために荷重がかかってもなじみが悪いためと考えられる。

イ. ギヤーの加工

旋削の時とくに留意すべきはボスの穴とリムの端面の直角度および偏心である。基準端面を底面として外周のフレを $2/100$ 以下に調整して歯切を行う。(6図参照)

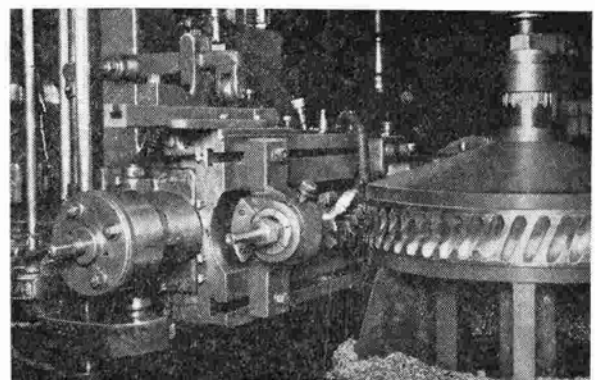
ホブはミロのテーパホブを使用する。ホブ切後ホブ盤船用ウィンチのウォームギヤー・高田

のテーブルをフリーにしてホブの代りにシェービングホブを取付けシェービングしてやるか、またはケーシングにギヤーを入れウォームの代りに軸付のシェービングホブでさらえてやる。後者の方がさらに確実である。

なおシェービングはクラウニング量だけを取らせるようにし、前加工のホブ切りもできるかぎり正確でなければならない。シェービングホブはギヤーに膨みをつけるように圧力角とリードをごくわずかに修正しておく。進み角が大きいためにホブではこの研磨を正確に行うことができないが、シェービングホブはシェービングカッタと同様に沢山の溝をウォームに切り、幅の狭いランドの部分をウォームと同様に研削仕上したもので、ランドの部分があるので歯面を正確に研削できたがつて正しい歯形のものをえられる。(7図はケーシング上でのギヤードモータによるシェービングを示す)

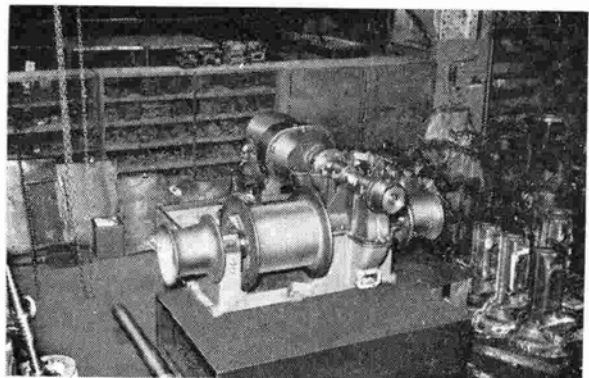
5. ウォームギヤーの歯面に膨みをつけること

ウォームギヤーではウォームの滑り込む側の端が当たるのはもつとも避けねばならない。潤滑油を切つてしまう恐れがある。しかしウォームギヤーはわずかの取付位置の狂いまたは荷重のかかった際の変位によつてただちに片当りになる。これらの場合でも潤滑油が嚙合個所に引込み易くさせるためにはクラウニングをつけてやる必要がある。



6 図 ウォームの切削

Fig. 6. Worm wheel cutting.



7 図 ケーシング上でのシェービング

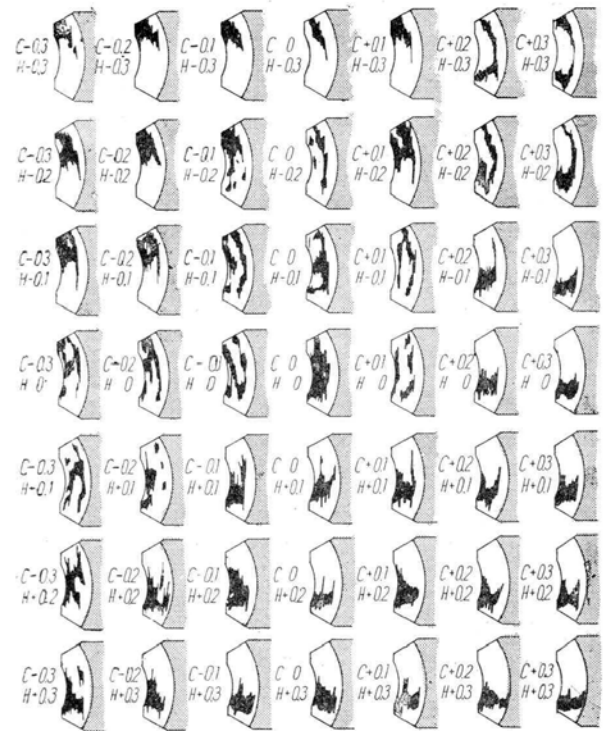
Fig. 7. Shaving on the winch casing.

しかしこのクラウニング量が大き過ぎるとウオームギヤの歯の当りが中央に小さな当りとなつて表われウオームの方では接触線が短くなり過ぎて望ましくない。

クラウニング量は少ない方がよいのである。また荷重がかかた際に変位するが、この際でも無負荷の時の当りと負荷時の当りとが悪く変らないような量でありたい。これを実験的にクラウニングの量を変化させて求め、工作精度を上げることにより 37° 角度の所で $2/100$ mm という微量のクラウニングをつけている。しかしこの量でも 8 図 (1) および 8 図 (2) のとおり変位に対してきわめて有効であつて、手で全面すり合せた場合にはわずかの変位でも当りが悪くなつてしまうが、クラウニングをしたものは 0.3 mm の変位に対してもなお良好な当りを示している。

この程度の少ないクラウニングでは工作精度がきわめて正確でないと予期の当りを得られない。しかしウオームを正確に研磨し精密なシェーピングホブでウオームギヤをシェーピングすることによつて、確実にこの当りが得られる。無負荷のときの当りの面積はウオームギヤに歯面の面積の $1/3$ 程度であるが負荷後これが $1/2 \sim 2/3$ 程度に広まる。ただし 4—アでも述べたようにアームスブロンズの鍛造材のような強靱材をウオームギヤの材料とした場合には、このクラウニングの量をさらに少なく

C……中心距離
H……横方向変位



8 図 (2) 膨みをつけない場合変位による当りの変化

Fig. 8 (2) Acting surfaces in the case of position change with no crowning.

$\theta=30^\circ$ $\xi=0$ $\Delta=0.03'$ C……中心距離
H……横方向変位



8 図 (1) 膨みをつけた場合変位による当りの変化

Fig. 8 (1) Acting surfaces of gear in the case of position change with crowning form.

して 30° 角のところで $2/100$ mm 以下にした方がよい。この膨みの量がきまれば後は和栗、安東氏の方法によつて他の数値をきめることができる。(9 図参照)

$$\Delta \cong k \frac{t_a - t_i}{t_i} \gamma_i$$

$$t_a \cos \alpha_a = t_i \cos \alpha_i$$

Δ : ウオームのピッチ円上中央面から 30° の点の隙間量

t_a : ウオームのリード

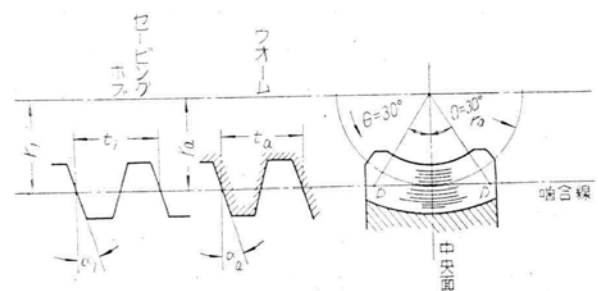
t_i : シェーピングホブのリード

α_a : ホブの圧力角

α_i : シェーピングホブの圧力角

γ_i : ウオームのピッチ半径

k : 常数



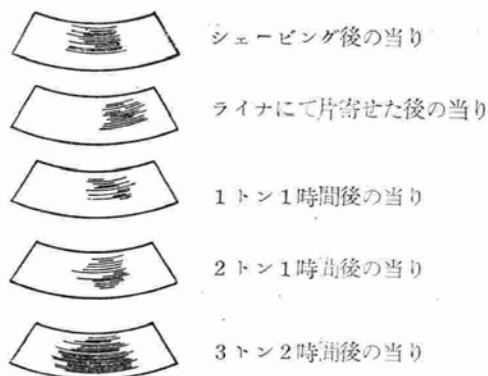
9 図
Fig. 9.

$3/100$ mm のクラウニングの場合リードを 0.2 mm 縮めた代りに圧力角を $19'$ 縮めたことになる。

6. 組 立 て

ウォームギヤーに実際の荷重がかかるとメタルクリアランスと歯のたわみで歯当りが変位する。荷重のかかった際にもつとも良好な当りを示すようにあらかじめウォームギヤーの側面にライナを入れてやる。この数値も実験から求めて 0.3 mm としている。

なおあらかじめ 0.3 mm 変位させたために無負荷の際の当りは中央より外れることになるが、前記のように膨みの適量を与えてあるので運転上差支えない。このような調整は膨みをつけて初めてできるのである。無負荷から荷重がかかて行く際の当りの変化を 10 図に示す。



10 図 荷重による当りの変化

Fig. 10. Acting surfaces at load change.

7. ウォームギヤーの良否の判定

ウォームギヤーはつぎのような点に留意すべきである。

ア. ギヤー

1. ウォームギヤーの当りが片当りしている場合はいけない。とくにはいり込み側に当りが片よつているのはいけない。
2. 歯の当りの強いものと弱いものが入れまじっている場合（歯のピッチエラーがある場合）シェーピングホブの精度による。
歯の当りが極端に小さい（クラウニング過大による）
3. ウォームが噛合う部分と噛合わない部分と段がつく場合（ウォームの歯形の不良か粗度の悪いためにギヤー面が削られるために起る）
4. ギヤー材料が極端に柔い場合
5. 狭雑物や巣のある場合

イ. ウォーム

1. 接触線が短いのはいけない。
（接触線は各条で少くとも 1 ピッチ以上であること）
2. 当り面がとくに狭くて強い当りを示す場合
（歯型の不一致、クラウニング量の過大）

3. 当り面が断続になる場合

（研磨盤の親ネジのガタ 研磨頭のガタによる）

4. 多口のウォームの各条の当りに強弱があるのはいけない。研磨盤の割出に誤差があるかチャッキングが悪いのか、歯厚に誤差があるかあるいは砥石の修正装置にガタがある場合に起る。

5. ウォーム硬度のとくに低い場合

素材不良か熱処理不良

6. ウォームの運転ワレ

素材不良か熱処理不良熱応力が十分除去されていない場合に起る。

7. 硬度不足

ウ. 運転時、運転後

1. 温度上昇過大

（当りが悪い、局部当りをしている、接触線が短いような場合）

2. 所要電流過大

3. 異常音響

（ピッチエラー、歯厚の不一致、バランスの不良、作動背面が接触する場合に起る）

8. 運転試験状況

無負荷で 1,000 回転で正逆各 10 分運転後、15 m 高さの試験塔に実際荷重 1.5 トンを 1 分に 1 回 1 時間、3 トンにおいては 1 分半に 1 回の割合で 2 時間 10 m 高さまで吊上げ吊下し試験を行わせる。

ア. 温度上昇試験

温度上昇は各主要部分すなわちウォーム・油・メーンベアリング・スラストベアリング等の温度を測定するのであるが、クラウニングシェーピングで仕上げた場合と従来の手でスクレーピングした場合は、温度上昇に顕著な差違が認められる。温度は接触起電法によりウォームを直接にはかつた。（11 図参照）

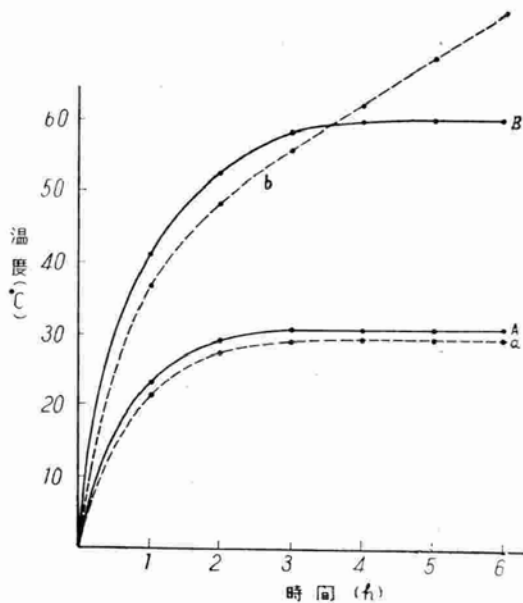
イ. 所要電流

12 図の所要電流品質管理図に見られるとおり六次船（昭和 26 年春以降）の所要電流は 200 台の全平均で第 1 回の吊上試験で 124.5 A に低下している。これは四次船では 138 A、五次船では 134 A であつた。これは何回も吊上試験をすればある程度低下する。このため従来この電流値を苦心して 130 A に下げていたのであるが、六次船以降画期的な低下をした。

なおクラウニングシェーピングを行わずにハンドスクレーピングしたものを試験したところ第 1 回吊上試験で 133~136 A を要するのでこれはウォームギヤーの工作改良による 10 A の低下と考えられる。

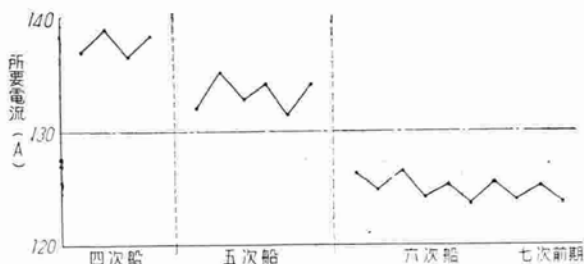
ウ. ウォームギヤー効率

従来ウォームギヤーは理論的には点接触であるため、効率は普通あまり良い値は望めないと考えられていたが、以下計算のとおりクラウニングシェーピングと精密工作によつては相当に良好な値が得られている。



荷重 3 トン
a ギヤ-材 燐青銅シェービング仕上
b " " スクレーピング仕上
A " アームス鍛造品、シェービング仕上
B " " スクレーピング仕上

11 図 ウォーム温度上昇
Fig. 11. Temperature rise of worm.



ウォームギヤ- 一部購入 自製
外部より購入 一部自製 シェービング実施

12 図 時期別所要電流品質管理図
Fig. 12. Average amperes needed to every lots in the first test.

六次船の電流平均値 124.5 A

$$\eta_r (\text{全効率}) = \frac{(\text{ロープ速度 m/分}) \times (\text{荷重 kg})}{\text{電流} \times \text{電圧}} \times \frac{1,000}{60 \times 102.04} = 66.5\%$$

$$\eta_m (\text{モータ効率(平均)}) 86.5\%$$

$$\eta_M (\text{機械効率}) = \frac{\eta_r}{\eta_m} = 77\%$$

$$\eta_g \text{ ウォームギヤ-効率} = \frac{\eta_M}{\eta_1 \eta_2 \eta_3}$$

η_1 はウォーム軸の平軸受 2 個とスラスト軸受 2 組の効率

η_2 はドラム軸の平軸受 3 個の効率

η_3 は滑車 2 個の効率

$\eta_1=98\%$, $\eta_2=97\%$, $\eta_3=95\%$ と仮定すれば
 $\eta_g=86\%$ となる。

9. 運転用潤滑油

重荷重高速のウォームギヤ-は当然境界潤滑にあるものと考えられるので、潤滑油は粘度の大きな油性の油が良い。とくに工場で試験運転をする際にはお互の摺動面のなじみ等がまだついていないので、とくに油の性質が重要な問題となりハイポイドやメルパオイルのような極圧潤滑油が賞用されている。また硫化油やオレクイン酸を古くなつた運転用油にまぜて油性をよくする等工場内では色々行つてはいるが、油によつて温度上昇に相当の差異を生ずる。この適用試験が完了した後ニューザが使用される状態ではそんなに注意を払う必要はない。冬期ではモビール 2 に対しシリンダ 1、夏期にはモビール 1 に対しシリンダ 1 の割合でまぜて使用すれば十分である。

10. む す び

適当な量のクラウニングを与えることおよび精密な工作とギヤ-のシェービング仕上によつて、ウォームギヤ-能率の飛躍的な上昇を得ている。最大荷重 3 トンの際の所要電流平均が六次船では 124.5 A と五次船の 135 A に比較して 7% 低下している。

温度上昇は 30°C 程度であり、ハンドスクレーピングをして当りをよくするという考え方は昔の考え方であつて、むしろハンドスクレーピングすることにより当りを悪くするといえるようになった。

歯形をインポリユートにしたものも作つて見たが、試験成績では軸断面梯形の場合と差異はなかつた。歯筋方向とさらに歯丈方向にもクラウニングすることが提唱されているが、われわれの経験では歯筋方向のみで十分である。ただしウォームおよびギヤ-とも歯先に丸味をつけている。接触線を変化させることをやつて見たが若干の効果はあるようである。

なお九大和栗教授、上野助教授には種々ご教示を戴いた。紙上で厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

1. 上野拓氏 皿形砥石による研削仕上法
機械学会論文集 14 巻 46 号 IV 230 頁
2. 和栗, 安東氏 ウォームの歯面に膨みをつける歯切法
機械学会論文集 15 巻 50 号 IV-24
3. 上野氏 インポリユートホブの研削仕上
昭和 26 年 4 月
4. 吉本氏 ウォームギヤ-の歯面に膨みをつける二つの方法とその検討
昭和 26 年 10 月長崎臨時大会にて講演
5. 上野氏 ホブの磨き直しがその精度に及ぼす影響
昭和 25 年 4 月東京総会講演会で講演
6. 安東氏 ウォームギヤ-の歯の干渉について
昭和 25 年 4 月東京講演会で講演

ハズミ車付織機用電動機

名古屋製作所

白 田 長 一

Loom Motor with Fly-wheel

By Choichi USUDA

Nagoya Works

It is not an uncommon practise to apply the principle of the fly-wheel effect to machines for a better utilization of energy.

But, there has been no application to loom motors to limit the peak load and to economize the power consumption.

After a study, for several years at our company, we have found the remarkable effect of fly-wheel, and we have applied it to the silk loom motor, and further recently this application have been extended to woolen loom motors also. I could get the satisfactory results in actual driving.

In this article, the writer have written on the fly-wheel effect, which is based on the experimental results.

1. ま え が き

織機用モータには織機1回転の動作の中に、数回の尖頭負荷がかかる。この尖頭負荷は定格負荷の150~250%にも達することがあり、そのため織機用モータは平均負荷としては軽いにもかかわらず過大の起動トルク、停動トルクを要求されている。所が最近多くの実験によつて織機用モータに適当なハズミ車をつけると、尖頭負荷時に必要なトルクがハズミ車からも放出されるので、モータにかかる過負荷は可成り制限できることが明らかになつた。とくにクラッチ付織機の場合においては、クラッチを入れた直後にかかる負荷は非常に大きくモータの速度は著るしく低下するので遂には起動不能になることがある。このような場合にハズミ車にその必要トルクの一部を負担させると起動がきわめて容易になる。

以上に述べた点から織機用モータにハズミ車をつけることはモータの合理的設計および運転を可能ならしめるものである。当社においては数年来実験研究を進めすでに毛織機および絹織機用モータに対しては実用してその成果を注目されている。本文においては主要な実験結果を基としてハズミ車効果を明らかにしたいと思う。

2. 織機の動作と問題になる諸点

織機の動作中重要なものはつぎのものである。

- a. 筵の運動 (Lay motion)
- b. 杼打ち (Picking motion)
- c. 綜統の上下運動 (Held motion)
- d. フビの運動 (Dobby motion)
- e. 杼箱の運動 (Shuttle box motion)

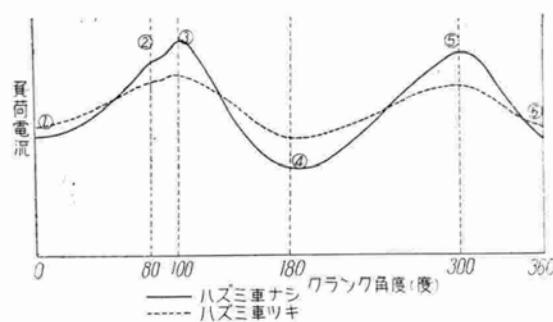
以上にあげた諸運動はクランクシャフトが1回転する

間すなわち時間にして 0.5 秒以下の間にすべて行われ、その都度負荷の変動を生ずる。負荷変動の状況をモータの負荷電流の変化で示すと 1 図のようになる。同図で①の点は織機動作の始動点である。②の点においてレイはもつとも後の位置になり瞬間的に負荷を要求する。この動作は backward Lay motion といわれる。③の点はクランクシャフトが 90~100° 回転すると、ピッカーがシャトルを叩き、シャトルは緯糸を入れる動作点である。この動作を Picking motion という。④の点はクランクシャフトが始動点から約 180° 回転した位置でもつとも軽負荷となる。この動作は back centre といわれる。⑤の点に至るとクランクシャフトは 290~300° 回転しレイはもつとも前方の位置となり大きなトルクを要求する。この動作は forward Lay motion といわれるものである。この他にドビー運動、杼箱運動などが加わるのであるが負荷の著しい変化は前述の諸運動の場合に起りその他の運動に要する負荷は各位置で平均して加えられるので負荷変動の形はあまり崩れないことが実験により明らかとなつた。したがつて尖頭負荷としてもつとも問題になるのは、杼打ち運動、箆の加速運動と考えて差支えない。所でこれらの尖頭負荷は短時間ではあるが甚しい過負荷になるので多大の電力を消費しかつモータの速度低下を招来し、とくにモータの過負荷耐量が不足している場合には運転不能になることがある。そのため織機用モータは平均に要求される容量以上に、過大の瞬時過負荷を考慮して可成りの余裕を持つて設計される。そのため平均負荷運転の場合には諸特性が可成り犠牲にされている。

所でハズミ車を織機モータに付けると 1 図の点線で示したような負荷変化となり尖頭負荷は著るしく制限されるのである。

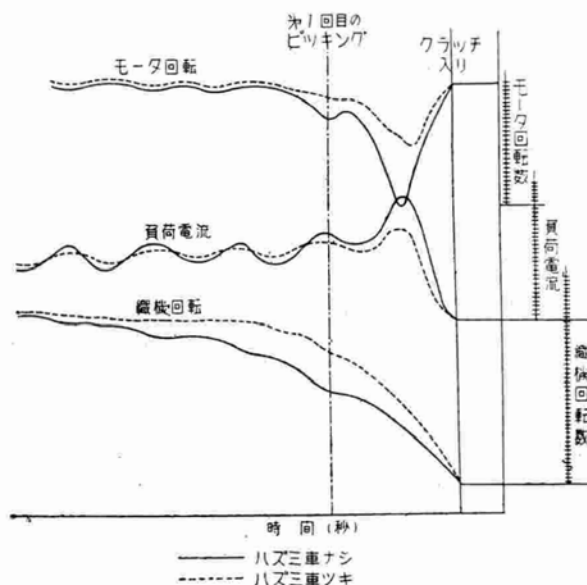
さらにクラッチ付織機の起動について考察して見よう。クラッチを入れた直後の負荷変化は 2 図に示したごとくである。

同図で示すように第 1 回目の杼打ちの行われるまでの時間に織機が速度が一定速度に到達しないと杼打ちの力が弱く、シャトルは十分に加速されないことになるので起動不能に陥ることがある。したがつて多くの織機を起動せしめる際には数回クラッチを入れたり切つたりしてシャトルを加速し十分の速度になつてから運転状態に入らしめているのであるが、これには可成りの熟練と時間とを費すのである。したがつてクラッチを入れた直後の瞬時過負荷（この負荷があらゆる場合を通じてもつとも過大である。）に対してモータは十分の余裕をとつて置かないと起動できなくなる。もしハズミ車をつけていると 2 図の点線で示すような負荷変化となり、織機は速度低下は非常に少くなるのでモータの過負荷耐量はハズミ車をつけない時に比べて遙かに少なくてすむことになる。



1 図

Fig. 1. Load current of loom motor at the normal operation.



2 図

Fig. 2. Load current, motor speed, loom speed, curves after clutch in.

3. 織機主要動作の解析

2 章にて述べたごとく織機モータの負荷としては

1. 摩擦負荷等の一定負荷
2. 箆打加速負荷
3. 投杼の間歇負荷

が考えられる。以下 2 と 3 の負荷について理論に解析して見よう。

ア. 箆を加速するトルク

箆の加速度は

$$\alpha = \frac{\alpha^2 l}{\omega^2} = -\frac{I_p}{2} (1-S)^2 \omega^2 \sin(1-S) \omega t \dots (1)$$

箆を動かすトルク = (質量) × (加速度) × 半径 × cosθ であるから

$$T_L = \frac{W L^2 P^3}{23500 N_o} \sin 2 \omega t = B \sin 2 \omega t \dots (2)$$

となる。

イ. 投籽に要するトルク

投籽に要するトルクは第8波型の正の単独波と仮想すると、

$$\text{力の平均値} = E / \frac{\pi}{16} \sin \alpha$$

$$\text{トルク} = (\text{力}) \times (\text{半径}) = E / \frac{\pi}{16} \sin \alpha$$

$$\times \frac{L}{2} \sin \alpha = \frac{8E}{\pi} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{最大トルク} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{8E}{\pi} = 4E \dots\dots\dots(4)$$

ここで $\frac{\pi}{2} = \frac{(\text{最大値})}{(\text{平均値})}$, そこで

$$T_s \max = \frac{4EP}{N_o} = B' \dots\dots\dots(5)$$

$$T_s = [B' \sin 8 \omega t] \frac{5/16\pi}{3/16\pi} \dots\dots\dots(6)$$

となる。

ウ. モータの電氣的トルク

$$\text{モータトルク} = CS$$

ただし

$$C = \frac{T_{FL}}{S_{FL}} = \frac{5250R}{S_{FL} N_o} \dots\dots\dots(7)$$

エ. 慣性能率によるトルク

$$\text{慣性能率によるトルク} = -I \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{ただし } I = \frac{wk^2 N_o}{305}$$

オ. モータに要求される最大トルクは **ア.イ.** および摩擦トルクを加えたものである。それがモータから出るトルクと慣性能率によるトルクの和に等しい筈である。

$$A + B \sin 2 \omega t + B' \sin 8 \omega t = CS - I \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots(9)$$

$$A = CS_0$$

$$B \sin 2 \omega t = CS_1 - I \frac{dS_1}{dt}$$

$$B' \sin 8 \omega t = CS_2 - I \frac{dS_2}{dt}$$

$$S = S_0 + S_1 + S_2$$

(9) 式を変換すると最大トルク $T_{\max}$ はつぎのようになる。

$$T_{\max} = A + \frac{B}{\sqrt{1 + \left(\frac{Pwk^2 N_o^2 S_{FL}}{7.75, 10^6 R} \right)^2}} + \frac{B'}{\sqrt{1 + \left(\frac{4Pwk^2 N_o^2 S_{FL}}{7.75, 10^6 R} \right)^2}} \dots\dots\dots(10)$$

(9) と (10) 式はハズミ車によるトルクがモータのトルクを減少せしめうることを示している。

ただし前式に用いた略号はつぎのとおりである。

- A: 摩擦トルク (Ft-Lbs)
- H: 籽の重量 (Lbs)
- L: 箆の可動距離 (Ft)
- P: 投籽回数/毎分
- V: 籽函を出る籽の速度 (Ft/sec)
- W: 箆の重量 (Lbs)
- wk^2_M : 織機回転部の wk^2 (Lbs-Ft²)
- N_o : モータの同期速度 (rpm)
- R: モータの馬力 (HP)
- S_{FL} : 全負荷時のモータの滑り (%)
- wk^2_M : モータ回転子の wk^2 (Lbs-Ft²)
- C: トルク定数
- Wk^2 : $Wk^2_L + Wk^2_M$ (Lbs-Ft²)
- B: 箆を動かす最大トルク (Ft-Lbs)
- B': 投籽の最大トルク (Ft-Lbs)
- E: 籽の運動エネルギー (watt)
- N: モータの瞬間速度 (Ft/sec)
- N min: モータ速度の最小値 (rpm)
- S: モータの瞬間滑り (%)
- S_0 : 摩擦損失による滑り (%)
- S_1 : 箆打負荷時のモータの滑り (%)
- S_2 : 投籽負荷時モータの滑り (%)
- T_{FL} : モータの全負荷トルク (Ft-Lbs)
- T_L : 箆打ちトルク (Ft-Lbs)
- $T_{\max}$: モータの最大トルク (Ft-Lbs)
- T_s : 投籽トルク (Ft-Lbs)
- l: 箆の移動距離 (Ft)
- t: 時間 (sec)
- α : 投籽角度
- θ : 主軸角度
- ω : 角速度 (Radian/sec)

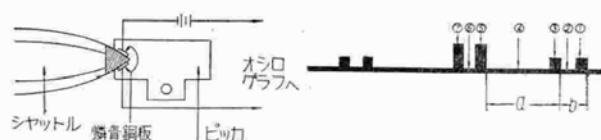
なお試験結果の記述に当つてはメートル法単位を採用した。

4. 実験法

織機は前述した如くクランクシャフト1回転、時間にして0.5秒以下の間に籽打ち運動、箆運動等により負荷が激変するので、入力・負荷電流・回転数等を普通指示型計器で直読することは甚だ困難であるので、すべての測定は6エレメント電磁オシログラフを使用した。

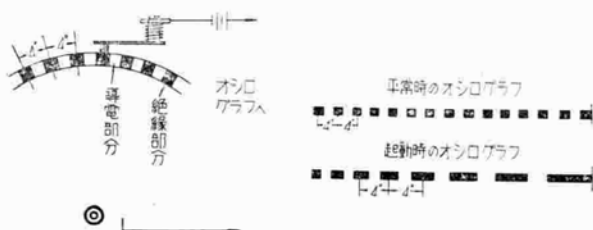
つぎに織機の負荷状態を正しく分析するためには織機の主要動作点と、クランクシャフトの回転位置を正確に知つて置く必要がある。そこで織機の動作点としては籽打の動作点を入れることとし3図に示すような方法を採用した。すなわちビッカーの凹部に向い合つてわずかに離れた2枚の燐青銅板を貼りつけ、その2枚の燐青銅板を乾電池を通じてオシログラフに入れておく。ビッカー

にシャトルが入るとシャトルの両端部は金属体であるから磷青銅板を通じて回路ができオシロ上にマークをあたえる。3 図の右側はオシログラフの実際を示したものである。クランク軸の回転角度を入るのには4 図に示すような方法を採用した。すなわちクランク軸に円盤をとりつけ、その円盤の外周を 4° 毎に絶縁し円盤の外周を固定接触片に接触させて置く。このようにすればオシロ上には 4° 毎にマークがあたえられることになる。



3 図 ピッキングの位置を決定する
実験法説明図

Fig. 3. Diagram of the experiment method of deciding the picking position.



4 図 クランク軸の回転を決定する
実験法説明図

Fig. 4. Diagram of the experiment method of deciding the revolution position of crank shaft.

1 表 実験に使用したハズミ車の一覧表

ハズミ車の番号	1	2	3	4	5	6	7
ハズミ車の GD^2 (kg-m ²)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4

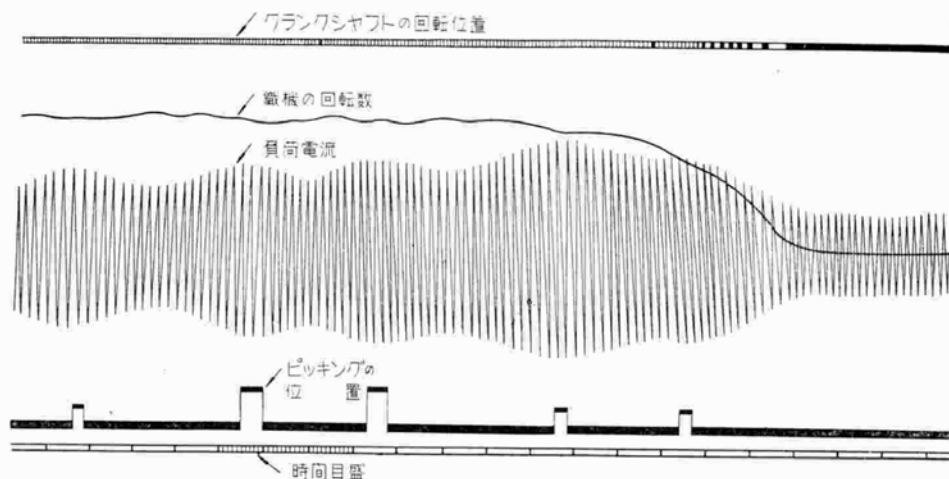
以上の方法で電流・回転数等の瞬時値は求まるが消費電力のみは積算電力計により一定時間における消費電力量を求めた。つぎに実験に用いたハズミ車は1表に示した7種類である。多くのハズミ車を用いて実験したので最適のハズミ車の大きさを決定することができた。

最後に5 図として実際に得られたオシログラフの実例を示す。このオシログラフはクラッチを入れてから平常運転に入るまでの経過をよく示しているものである。

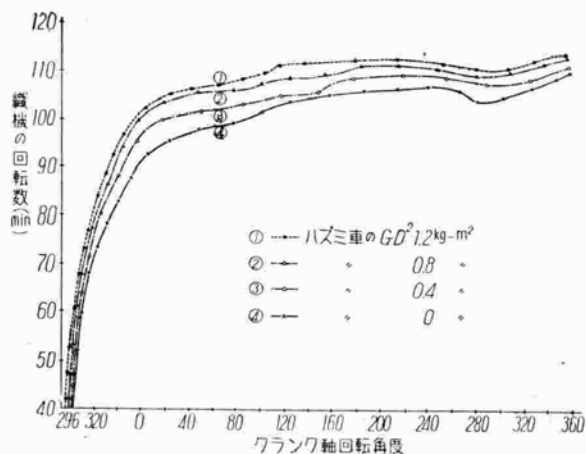
5. 織機の起動とハズミ車効果

織機の起動時における負荷変動は2 図に示すようにその当初において甚しい過負荷となり、杼打ち運動の行われるまでに織機が十分の速度に到達していないと起動不能になる。しかし起動時の条件のみを考えて徒らに杼打ちの力を強くすると、平常運転時において経糸を切断する危険を多くするとともに、ボビンから解舒される緯糸の張力を増して織物の風合を悪くする。したがって他に支障のないかぎりシャトルは最大の時間を消費して飛走することが望ましいとされている。この矛盾した要求を満足させるにはハズミ車を付けることがもつとも有効であつて、2 図の実線と点線の二つの負荷変化を見れば明らかである。

つぎに種々の実験結果よりハズミ車効果を考察して見よう。まず起動の難易を比較するために起動直後の杼打ち運動の行われるまでの織機速度上昇と、第1回目の杼打ちによるシャトルの平均飛走速度について考察して見よう。6 図はクラッチを入れた直後の織機速度上昇曲線であつてハズミ車の GD^2 を種々変えて実験したものである。この曲線によつて織機の加速度はハズミ車をつけることによつて急激に増加することがわかる。このようにハズミ車効果によつて織機の加速度が増加する結果、杼打ちのエネルギーが増大しシャトルの速度は早くなる。すなわち7 図は起動時のシャトルの速度がハズミ車の GD^2 の増加に対して如何ように増加するかを示したもので

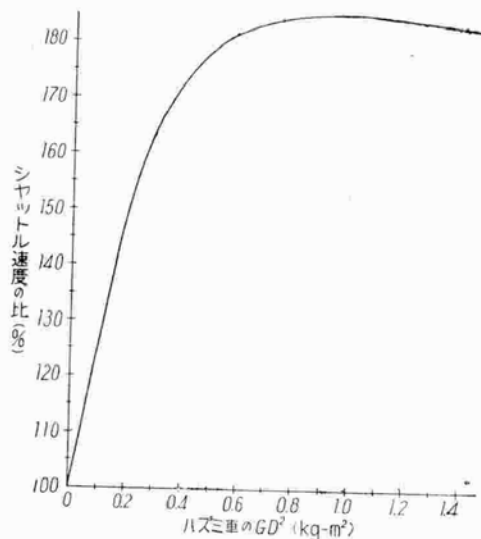


5 図 オシログラムの実例
Fig. 5. Example of oscillogram of loom motor.



6 図 起動直後の織機速度上昇曲線

Fig. 6. Speed-up curves of loom motor after clutch in.



7 図 起動時のシャトルの速度

Fig. 7. Curve of shuttle speed at starting.

$$\frac{\text{ハズミ車をつけた時のシャトルの速度}}{\text{ハズミ車をつけない時のシャトルの速度}} \times 100\%$$

として求めたものである。同じく 8 図は各ハズミ車をつけた時の

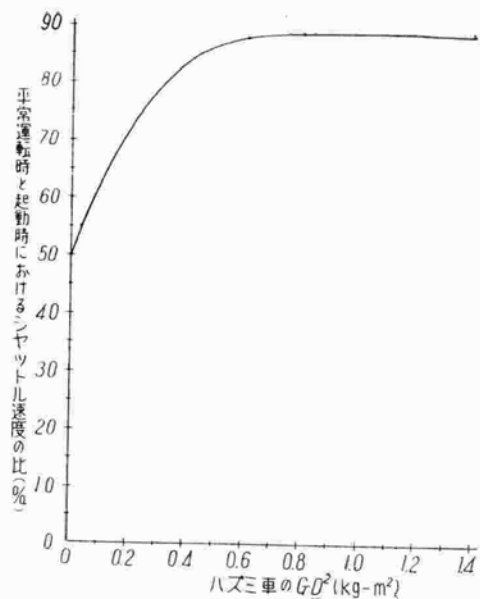
$$\frac{\text{起動時のシャトルの速度}}{\text{平常運転時のシャトルの速度}} \times 100\%$$

を求めたものである。

また 9 図はある織機についての絶対値を曲線としたものである。

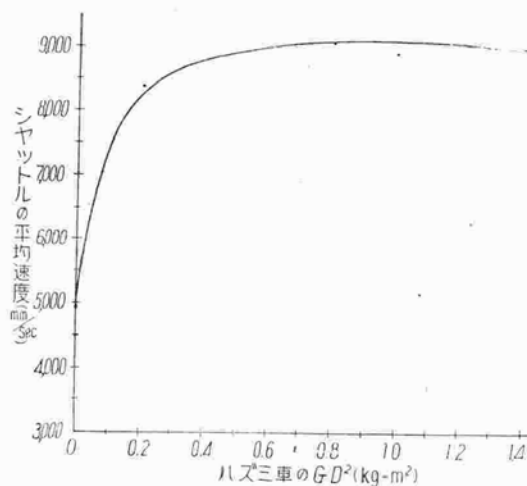
以上に示した曲線は織機の起動に対しては、ハズミ車をつけるのはきわめて有効であることを示している。所でハズミ車効果はある限度の GD^2 までは顕著に表われるが、その限界を越えるとその効果は飽和する傾向にあることは注目すべきである。すなわちこのことはハズミ

ハズミ車付織機用電動機・白田



8 図 起動時のシャトルの速度の増加率

Fig. 8. Curve of increasing rate of shuttle speed at starting.



9 図 シャトルの平均速度とハズミ車の GD^2

Fig. 9. Mean value of shuttle speed as a function of GD^2 of fly-wheel.

車をつける場合にその効果、ハズミ車の価格、ハズミ車のためにうける軸受の圧力等を総合して考えもつとも適当した大いさを選ぶべきことを暗示している訳である。いま試みに起動の難易という点のみから考えれば 0.6~1.0 $kg-m^2$ の GD^2 を持つハズミ車を選ぶべきであつてそれ以上は必要がない。

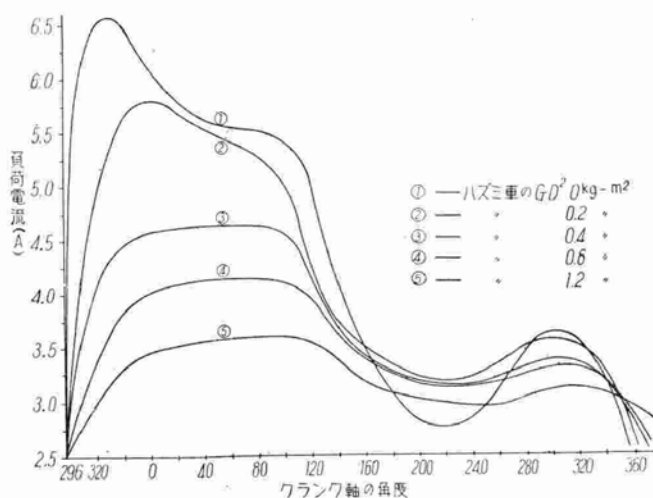
つぎにクラッチを入れた直後のモータの負荷電流の変化をオシログラフにより考察して見よう。10図に示すのがそれであつて各ハズミ車別に曲線を示してある。この曲線は説明するまでもないほど明瞭にハズミ車効果による起動時の突入電流の減少を示している。10図をもととして織機の主要動作点における負荷電流および起動時の

最大突入電流を抽出して 11 図および 12 図に示した。11図は負荷電流の絶対値で示したものであり、また 12 図は

$$\frac{\text{ハズミ車をつけた時の負荷電流}}{\text{ハズミ車をつけない時の負荷電流}} \times 100\%$$

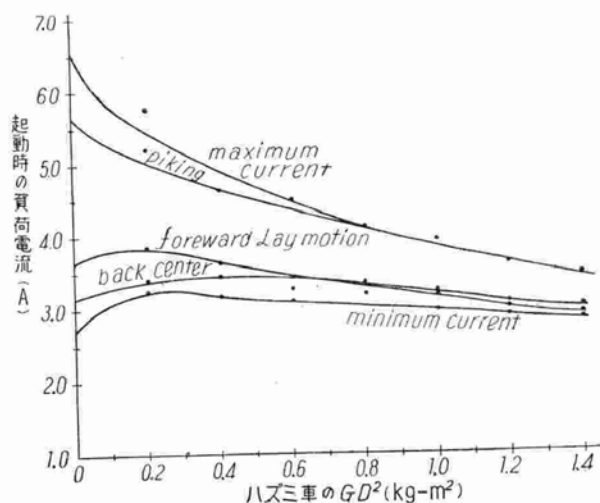
として求めたものである。

以上に述べた結果でとくに注目したいのは起動時の突入電流がハズミ車効果によって激減するので、このことはモータがさほど過負荷にならないことを意味するものであるから、モータの速度低下も少く織機は速かに一定速度に到達し得ることを示す訳で、6~9 図までの実験結果を裏付けるものである。したがってモータとしては過大の過負荷耐量を要求されないのみでなく、突入電流による電力損失、温度上昇も制限できる訳である。



10 図 起動時の負荷電流変化曲線

Fig. 10. Curves showing the change of load current at starting.



11 図 起動時の織機各動作点における電流

Fig. 11. Load current of loom motor at each working points after clutch in.

以上の実験データを総合して見ると、

〔1〕 クラッチ付織機にハズミ車をつけると起動が非常に容易になり、織機の平常運転時における合理的設計が可能になる。

〔2〕 実験に使用した毛織機に対しては GD^2 0.6~1.0 kg-m² のハズミ車が適当である。

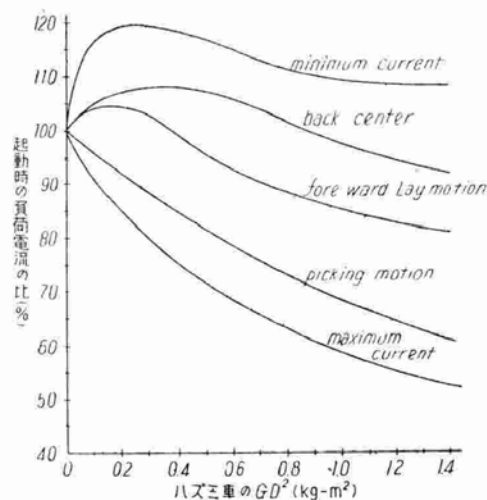
〔3〕 GD^2 0.6~1.0 kg-m² のハズミ車をつけると起動時のシャトルの平均速度はハズミ車をつけない時に比較して 180~185 % にも達する。

〔4〕 GL^2 0.6~1.0 kg-m² のハズミ車をつけると起動時の突入電流および織機主要動作点における電流はハズミ車をつけないときに比較して 70~75 % に減少する。このことは尖頭負荷の制限、負荷の平均化を意味している。

〔5〕 以上の如く起動時にモータにかかる尖頭負荷が制限される結果、従来の織機用モータの如く過大の停動トルク、最大出力が要求されないことになり、効率・力率を改善して、織機用モータの合理的設計が可能になる。

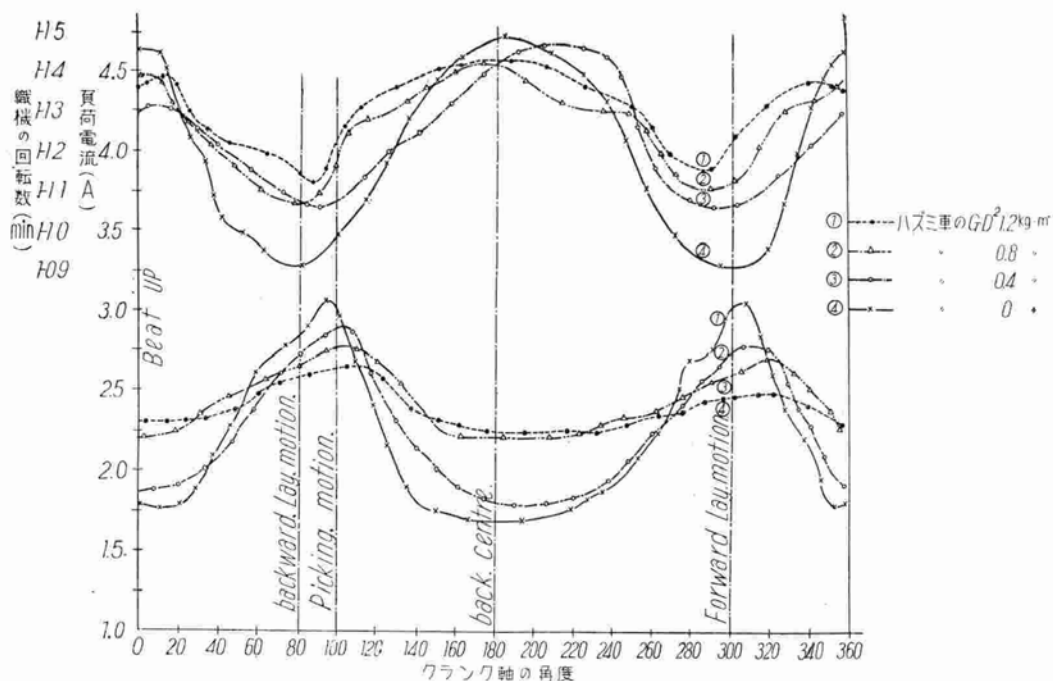
6. 織機の運転とハズミ車効果

織機が平常運転しているときの負荷変化の概要については 1 図で説明したが、各種のハズミ車をつけたときの負荷変化曲線をさらに詳細に 13 図に示した。この曲線によって織機運転時におけるハズミ車効果を明らかに見ることができる。すなわちハズミ車のない場合には尖頭負荷がかかった時にそのすべてをモータが負担する訳であるが、ハズミ車をつけることにより必要トルクの一部をハズミ車の放出エネルギーが負担することになるのでモータの負担する負荷はかなり軽減されることは前述したとおりであつて、その程度はハズミ車の GL^2 の大きいほど大きい。モータの負荷が軽減される結果負荷電流のピークが制限され、平均負荷電流、平均消費電力は減少



12 図 起動時の織機各動作点における電流

Fig. 12. Load current of loom motor at each working points after clutch in.



13 図 織機運転中の電流回転変化

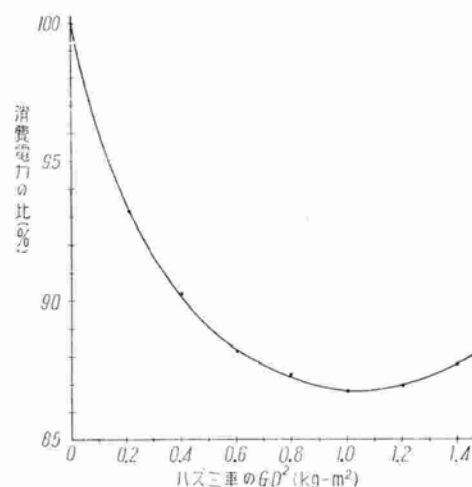
Fig. 13. Curves of load current and loom revolution at the normal operation.

する。一般に織機用モータは消費電力を減少せしめるためにかなりの高効率を要求されるのであるが、前述したような負荷の変動が広い範囲にわたっているとその間で高効率を維持することは甚だ難しい問題である。負荷が平均化されればその平均負荷を目標として設計することができる。ハズミ車をつけることにより負荷が平均化されるのはこの点より見ても甚だ有効なことである。

14 図および 15 図は織機運転時のモータ消費電力量が如何程減少するかを示した曲線である。すなわち 14 図は一時間当りの消費電力量を

$$\frac{\text{ハズミ車を付けた時の消費電力量}}{\text{ハズミ車を付けない時の消費電力量}} \times 100\%$$

として求めたものである。この実験結果により消費電力を節約するにはハズミ車効果はききめて有効であることがわかる。しかしまた GD^2 で 0.6 kg-m^2 のハズミ車の大きいまでは急激に消費電力量が減少するが、それ以上の大きいものをつけても余り効果は増加していない。このことは前章で述べたシャトルの平均速度の場合とその傾向を同じくするものでハズミ車はその経済的価値を考慮して最適の GD^2 を決定すべきことを物語っている。所で実験データをよく見ると消費電力量は GD^2 1.0 kg-m^2 の点で最低となりそれ以上 GD^2 が大になると消費電力は逆に増加しているのに気付く。もしハズミ車をつけることにより風損と摩擦損がほとんど増加しないものとするれば理論的には GD^2 の増加によつて消費電力が増加することはあり得ない筈である。しかし実際には若干の風損も考慮しなくてはならぬし、またハズミ



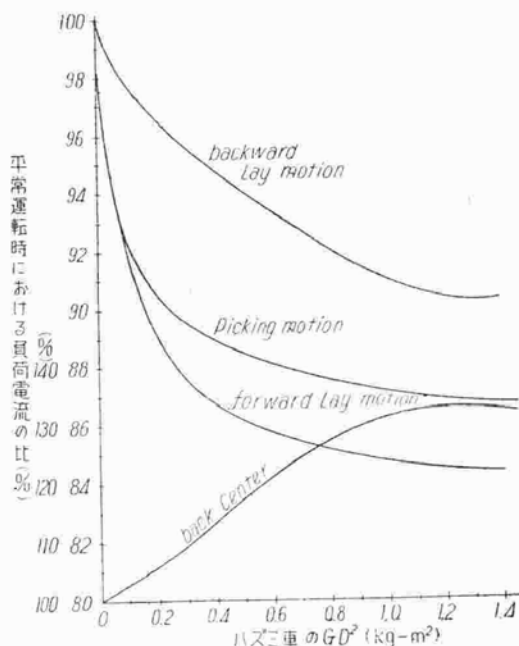
14 図 消費電力とハズミ車の GD^2

Fig. 14. The relation curve of power consumption and GD^2 of fly-wheel.

車の重量がモータの軸受に対して過大である場合には摩擦損を増加することが考えられる。したがつてハズミ車が甚だ大きくなりその風損が無視できなくなり、かつその重量が軸受に対して過大であるために軸受の摩擦損を増加してハズミ車による電力の減少量よりも損失量の方が大になる場合があり得る筈で、上記のデータをこの点から考察して見るならば実験に使用したデータに対しては GD^2 1.0 kg-m^2 以上のハズミ車は過大であるということになる。

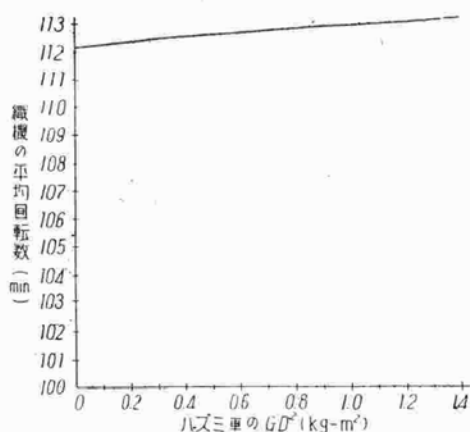
つぎに 13 図の負荷電流の変化曲線から織機主要動作点における電流がハズミ車を付けることにより如何程減少するかを 15 図に示して見よう。

この曲線によればわずかの GD^2 を持つたハズミ車を付けるだけで急激に負荷電流が減少することがわかる。しかしシャトルの速度・消費電力の場合と同じくハズミ車の GL^2 を限度以上に大きくしてもそれだけの効果は期待できないことは注目しなければならない。いずれにせよ負荷電流のピークは減少し負荷は非常に平均化する訳である。



15 図 織機各動作点における電流

Fig. 15. Load current of loom motor at each working points. (normal operation)



16 図 織機の平均回転数

Fig. 16. Mean revolution (rpm) curve of loom motor.

最後に織機の平均回転数について考えて見よう。

16 図はハズミ車の GD^2 と織機の平均回転数との関係曲線を示したものであるが、これによれば GD^2 の増加に伴わずかであるが平均回転数が増加している。すなわちハズミ車を付けることにより織機は速度変動が少なくなるとともに平均回転数としては増加して仕事量を増す訳である。以上の実験データを総合して見ると、

〔1〕 織機運転中の尖頭負荷に対してハズミ車の蓄積エネルギーが放出される結果モータの負担する負荷は非常に制限される。

〔2〕 ハズミ車を付けることにより尖頭負荷時のモータの負荷電流はハズミ車を付けないときの 40~80% に減少する。

〔3〕 ハズミ車を付けることによりモータの消費電力は減少し、最大で 13% の節約となる。

〔4〕 ハズミ車を付けることにより織機は速度変動が少くなり平均回転数は若干増加する。

〔5〕 最適のハズミ車の GD^2 の範囲は $0.6 \sim 1.0 \text{ kg-m}^2$ であつてそれ以上の大きさのものを付けるとかえつて消費電力量が増加する。

8. む す び

以上においてハズミ車付織機用電動機の特性の主要な部分の説明を終えたがすでに実験の段階でなく絹織機・毛織機用モータに実用して多大の成果を挙げていることも付言して置きたい。最後にハズミ車効果を取り纏めて見るとつぎの諸点に要約される。

(a) 織機の起動がきわめて容易になり、織機の取り扱いにあまり熟練を要しなくなる。

(b) クラッチを入れた直後の過負荷および運転中の尖頭負荷が制限され負荷が平均化される結果、モータに要求される過負荷耐量は減少し、かつ平均負荷に近いモータの容量を選択することが可能になるのでモータの合理的設計および運転ができる。

(c) クラッチを入れた直後の瞬時入力が少くなり、消費電力・温度上昇の点で有利になる。

(d) 運転中の速度変動が少となり平均回転数は増加し仕事量が若干増加する。

(e) 運転中の電力消費量が 10~15% 節約される。

(f) 最適のハズミ車の GD^2 は $0.6 \sim 1.0 \text{ kg-m}^2$ の範囲でありさらに機械的強度・経済的価値を考慮して決定すべきものとする。

液体窒化炭法の研究

名古屋製作所

大森 淳夫・大河内 栄一

Study on Hardened Cases by Liquid Carbonitriding

By Atsuo OMORI, Eiichi OKOCHI

Nagoya Works

The relations among hardened cases, carbonitriding temperatures and quenching temperatures were obtained under condition that the ingredient of liquid carbonitriding material, the composition of specimens and the grading of crystalization kept constant.

The result disclosed that in the low temperature treatment near 750°C , the hardened case had low surface hardness unlike the old theories. By means of X ray diffraction, it was ascertained that a white compound layer produced on the surface had low hardness and also martensitic acicular structure beneath it contained much retained austenite.

This austenite was transformed into martensite to increase the surface hardness by quick cooling in liquid air.

The A_1 transformation point of the hardened case was lowered to about 600°C by the influence of nitrogen, which was attested with a differential dilatometer. The quenching temperatures of 650°C — 700°C were found satisfactory to obtain desired hardness, which resulted in production of not hardened, very light core.

In the medium temperature treatment at about 820°C , both surface hardness and the maximum hardness were proved high enough to get good hardened cases, which in the high temperature treatment above 900°C , the surface hardness somewhat decreased.

In any of these treating temperature, there is a trend of shifting the point of the maximum hardness inwardly and decreasing the surface hardness with the increase of the time of treatment. Further, the gradient of the change of hardness from the point of the maximum hardness toward the core became the steeper, the lower the treating temperature became.

Next, the method of transferring the specimen to a both of quenching temperature from the state of carbonitriding temperature and cooling it quickly was learnt effective to reduce the quenching strain, but it gave almost no effect on the hardness curves.

The above is a summary of reports published in three successions in the journal of the Metal Engineering Society.

1. ま え が き

液体窒化炭法は終戦後わが国でミシン、自動車、織機等にその優れた耐磨性と表面の美しさを買われて盛に使用されるようになった。この方法がわが国で実用化されたのは相当古く多分昭和10年頃で、デュルフェリットとホートンの薬剤が輸入されたときからと考える。わが社では昭和11年以来今日に及び、現在では表面硬化のほとんどすべてをこの方法によっている。液体窒化炭法に関する文献は比較的少なく、最近わが国では小川博士の液体窒化炭化剤と硬化層の耐磨性の研究と、久恒博士の鉄窒素炭素の三元状態図の研究がある。この研究の目的は処理条件による硬化層の変化を究明し、実際作業にただちに使用し得る実用的データを作るにある。

2. 試料および実験法

ア. 試料

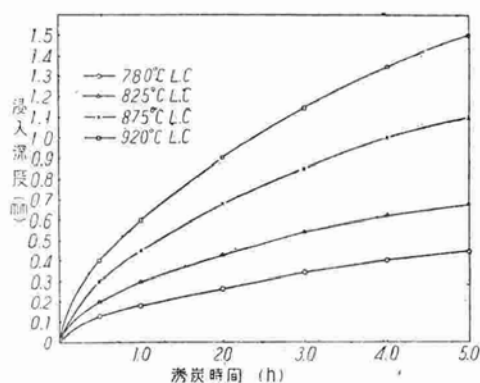
試料は肌焼鋼第一種を用い、寸法は $10 \times 10 \times 50$ mm で化学組成はつぎのごときものを使用した。結晶粒度は 4, C 0.14, Si 0.19, Mn 0.29, P 0.01, S 0.018, Cr 0.041

イ. 実験法

使用炉はデュルフェリット $22/45$ 型で、ルツボは直径 220 mm, 深さ 450 mm の鋼製ルツボで、実験用としては大型で実作業に近い状態で行つた。使用ソルトは「日新化熱 A-60」を使用し青化ソーダ濃度を 60 % に保つた。硬度測定はマイクロビッカース硬度計を用い荷重は 500 g である。硬度曲線の測定にはテーパー法によらず直接断面を測定した。

3. 実験結果

液体窒化炭法処理において最も重要なことは硬化層の硬度分布と顕微鏡組織で、耐磨性は硬度により大きく支配されることが小川博士により報告されている。故に主として処理条件による硬度曲線と組織の変化につき実験を進めた。



1 図 処理時間および温度が侵入深度におよぼす影響

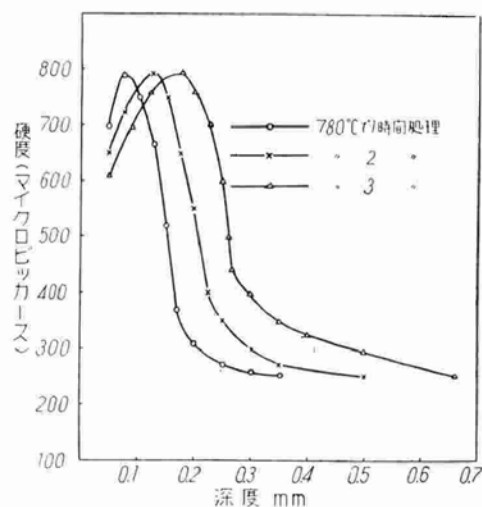
Fig 1. Influence of time and temperature on the case depth of steel.

ア. 処理温度と深度との関係

窒化炭化深度は素材の組成結晶粒度、ソルトの組成、処理温度等により大きく変化するが最も普通の状態 で測定したのが 1 図で、前述の処理および試料の条件によつたものである。ここで示した深度とは、素材に比べて炭素が増加したと認められる点から表面までの距離を示す。

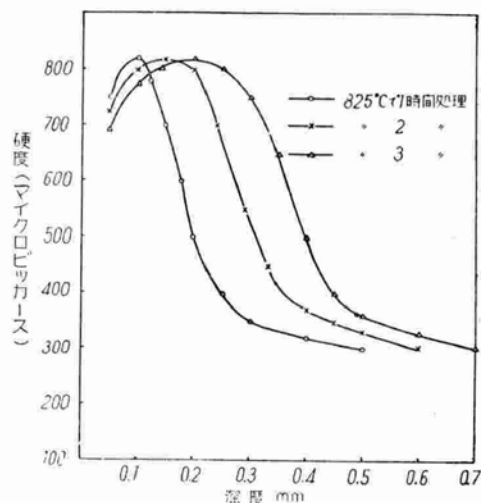
イ. 窒化炭化温度と硬度曲線との関係

2 図～5 図 は 780°C , 825°C , 875°C , 920°C の各温度で 1 時間, 2 時間, 3 時間処理してその温度から直接水冷した結果を示す。縦軸はビッカース硬度, 横軸は



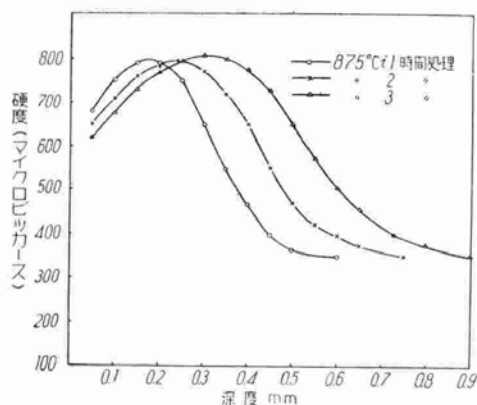
2 図 窒化炭化温度と硬度との関係

Fig 2. Carbonitrided at 780°C .



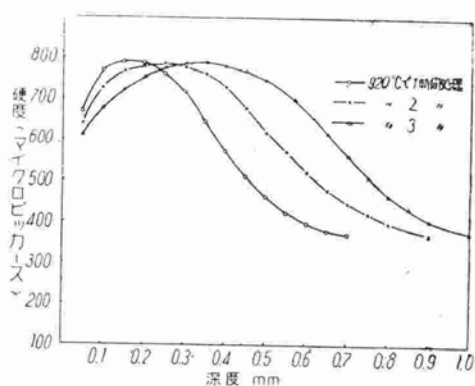
3 図 窒化炭化温度と硬化との関係

Fig 3. Carbonitrided at 825°C .



4 図 滲炭窒化温度と硬度との関係

Fig. 4. Carbonitrided 875 °C.



5 図 滲炭窒化温度と硬度との関係

Fig. 5. Carbonitrided at 920 °C.

表面からの深さ mm で示す。曲線が表面から 0.05 の点で切れているのは低温処理のとき、表面に化合物層ができこの影響を除くためである。この問題については後述する。2 図は 780 °C で処理した曲線で最高硬度は Hv 800 で、表面硬度は時間が長くなるに従い低下し、3 時間では 600 近くとなる。この硬度低下の原因は残留オーステンの影響で詳細は後で述べる。つぎに硬化層が等しいとき、硬度曲線を比較すると、より高温の処理に比較して最高硬度より、芯部に至る硬度曲線の傾斜が急である。3 図は処理温度 825 °C の硬度曲線で 780 °C に比べて表面硬度高く、最高硬度もやや高い値を示す。この処理温度は実際作業においても常に良好な硬度を示す。4 図は処理温度 875 °C の硬度曲線で、硬化層は厚くなり表面硬度はやや低下する。5 図は 920 °C 処理を示す硬化層は厚く硬度曲線の傾斜はゆるやかになる。以上のごとくいずれの場合も処理時間が長くなり、硬化層が厚くなるに従い表面硬度は低下し、最高硬度の点は中心部へ移動する。最高硬度は大体どの場合も Hv 800 付近である。硬度曲線の傾斜は処理温度が高くなるに従いゆるやかになる。

液体窒化滲炭法の研究・大森・大河内

つぎにこれらの各温度で処理した硬化層の顕微鏡組織を示す。各温度とも 3 時間処理したもので、写真 1. は 780 °C、写真 2. は 825 °C、写真 3. は 875 °C、写真 4. は 920 °C で処理し水冷したものである。写真中央の圧痕はマイクロビッカースのものでこれにより硬度の分布を知ることができる。写真 1. 写真 2. の白層はほとんど剥離して、わずかに見えるだけである。

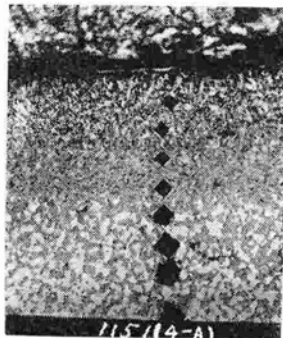


写真 1

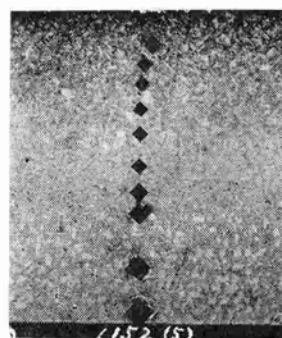


写真 2

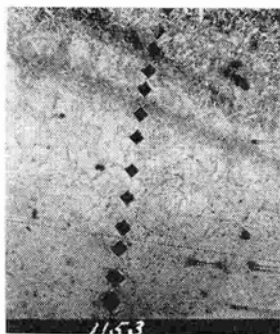


写真 3

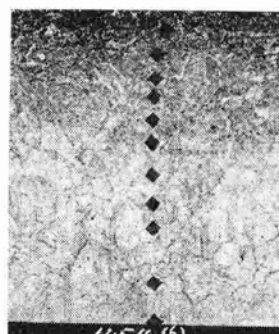


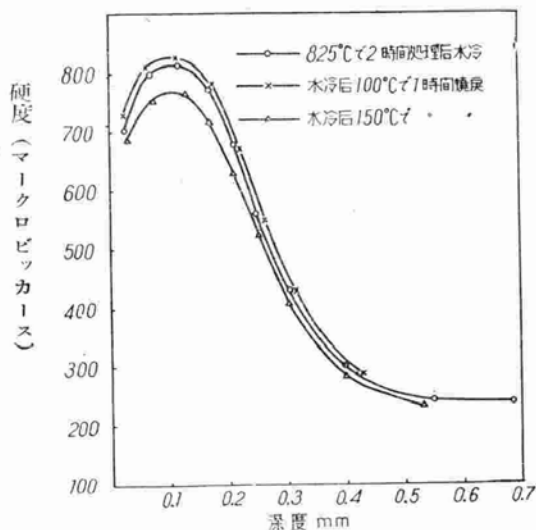
写真 4

ウ. 焼戻の影響

6 図は焼戻の影響の一例として 825 °C で 2 時間処理し、水冷したものを 100 °C、150 °C に焼戻をほどとした硬度曲線を示す。この結果 100 °C ではやや硬度は上昇するが 150 °C では低下することを示す。これは他の処理温度にも共通な傾向である。

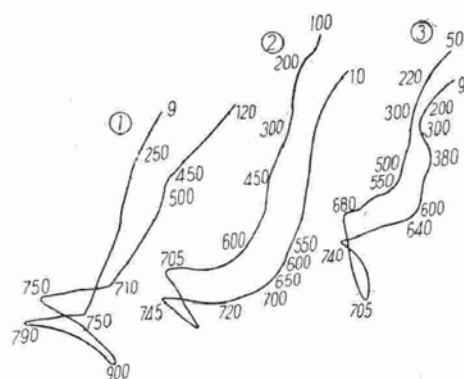
エ. 硬化層の変態点の測定

液体窒化滲炭硬化層は、普通の固体滲炭法と異り、吸着拡散させるのは炭素だけでなく、炭素と窒素であるので、窒素の影響により A₁ 点は低くなる。この問題はガス滲炭窒化のときも同じで、これに関する内外の発表は数多くあるが、いずれも鉄・窒素・炭素・三元状態図を確立するに至っていない。最近のわが国の発表では久恒博士と河上博士の研究がある。久恒博士はガス、液体滲炭窒化により処理し、これを X 線回折示差熱膨脹計により三元系の研究を行つた。この実験においては、あまり正確に A₁ の測定はする必要はないので概略の値を得る



6 図 焼 戻 の 影 響

Fig. 6. Carbonitrided at 825°C for 2 hrs. then water cooled.



- ① 0.9% C の炭素鋼
- ② 825°C で 43 時間処理後空冷
- ③ 780°C で 130 時間処理後 600°C で焼戻し

7 図 窒化層に対する示差熱膨脹曲線

- ① 0.97% C Carbon steel
- ② Carbonitrided at 825°C for 43hrs then air cooled
- ③ Carbonitrided at 780°C for 130 hr then annealed at 600°C

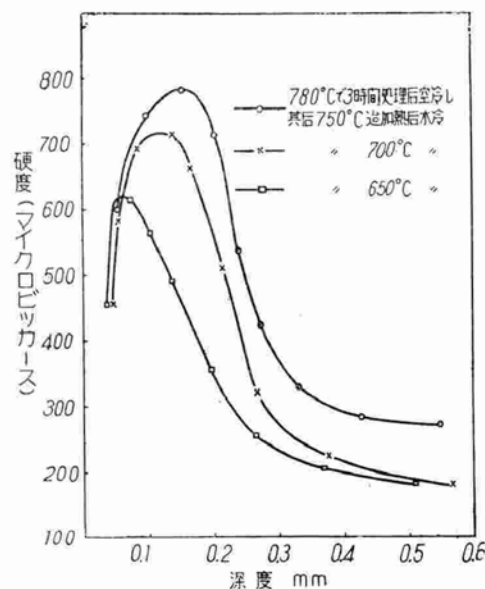
Fig. 7. Differential dilatometric curves for Carbonitrided case

ため、示差熱膨脹試験を用いた。7 図にこの結果を示す。試験片は直径 5 mm、長さ 50 mm で、ほぼ中心まで共析組織になるように処理した。加熱速度は 4 度/分でやや早過ぎるが、時間の関係で止むを得ず行つた。使用試験機は、宇野式示差熱膨脹計である。曲線 ③ は 780°C で 130 時間処理し 600°C で 2 時間焼鈍除冷したもので、曲線 ② は 825°C で 43 時間処理し空冷、曲線 ① は比較のため 0.9% C の炭素鋼を示した。曲線 ③ の 780°C の場合は、加熱時は 640°C、冷却時は 550°C 付近からクニックを生ずるが、共析鋼のごとく明良ではない。また加熱冷却の温度差が著るしく大きい。加熱のとき 300°C 付近に一つの変化が見られるが、これはオーステンの分解によるものと考える。曲線 ② の 8.5°C

の場合は加熱のときは 600°C から 720°C 付近までゆるやかに変化しクニックが明良でない。以上の結果から Ar_1 は約 600°C と考えた。

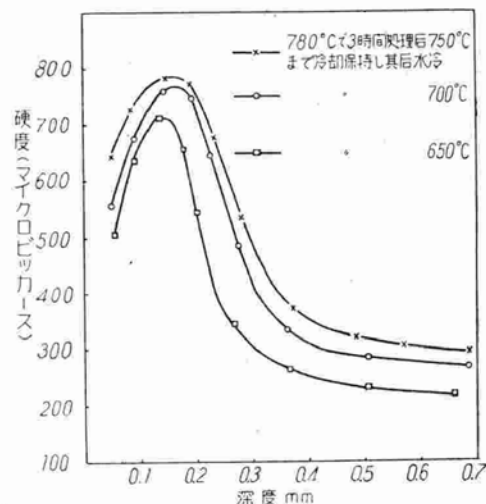
オ. 焼入温度と硬度曲線との関係

8 図は 780°C で 3 時間窒化炭化し、空冷後これを 650, 700, 750°C に加熱水冷した結果を示す。この結果焼入温度が低くなるほど最高硬度の点は表面に近くなり 650°C においてほとんど表面近くなる。これは窒素の含有量が表面に多く、表面ほど Ar_1 が低いためと考えられる。なお焼入温度が 650°C でも Hv 600 を示すことは着目に値する。焼入深度も同様の理由から焼入温度が低い程浅くなる。芯部の硬度はこの部分は窒素の影響を受けないので 700°C、650°C では焼入効果なく Hv 200 以下のきわめて低い値を示す。9 図は二段焼入で 780°C で 3 時間処理し、これを 750, 700, 650



8 図 焼入温度と硬度との関係

Fig. 8. Carbonitrid at 780°C for 3hrs then air cooled.



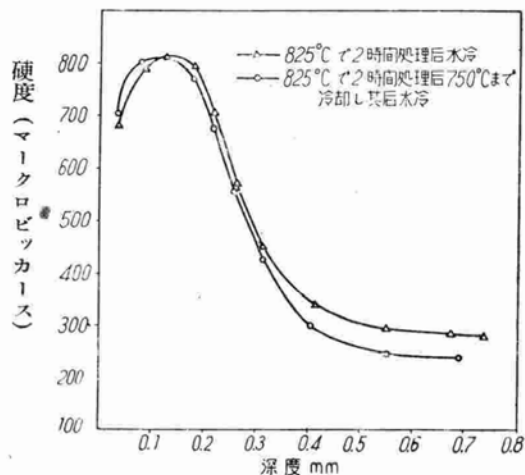
9 図 焼入温度と硬度との関係

Fig. 9. Carbonitrided at 780°C for 3hrs.

°C の中性バスに移し、これから水冷した結果である。この場合は 700°C で十分な硬度を示し、650°C でも 700 以上の硬度を示す。曲線の傾向は前と同様で、焼入温度の低くなるほど最高硬度の点は表面に移動し硬化深度が減少している。8 図と 9 図との両曲線の大きな差は 7 図の示差膨脹曲線に見られる著しい履歴現象より当然と考えられる。10 図は 825°C で 2 時間窒化炭処理をし直接水冷したときと、780°C のバスに移し、これより水冷したときとの比較を示す。この結果両者には著しい差異は認められず、芯部の硬度が異なるだけである。11 図は 920°C で 2 時間窒化炭処理をし、直接水冷したときと、875、825、780°C の各温度に移し水冷したときとの比較である。この結果は前同様ほとんど差異はなく、焼入バスの温度による変化は認められない。しかしヒズミの減少等の効果は当然考えられる。

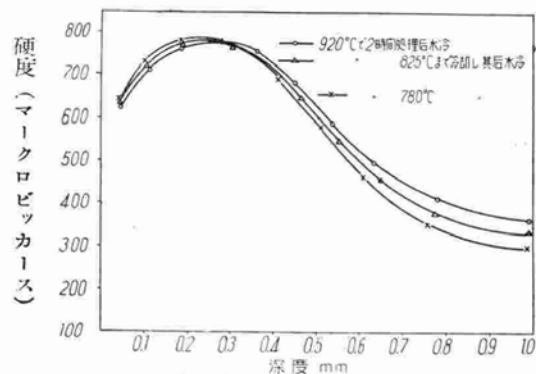
カ. 硬化層の表面に関する問題

液体窒化炭層は単なる窒化と異なり複雑な組織をもち現在では十分究明されていない。とくに表面に生ずる白色化合物層はガス窒化炭のときも生ずるので、アメリカにおいて W. P. Rengstoff, Wolten, H. Horcroft 等の論文があるが決定的ではない。この白層は 700~780°C では相当短時間に 0.02~0.03 mm に達し、これより処理時間を長くしても、その厚さは増加しない。写真 5 は 780°C で 2 時間処理し、焼入したときの断面の写真を示す。白色層は非常に脆く研磨すると剝離する。写真でも所々欠けている。白層の下は針状晶である。写真 6 は同じ試片を表面から見たもので、白色のが化合物層で黒い部分は研磨により化合物層が剝離して下の針状晶が出た所である。この白色化合物は硬度低く Hv 350~400 でこれに隣接した針状晶は多量のオーステンを含有し、この部分は Hv 500~550 である。この理由から実際作業において 750~780°C のごとき低温で窒化炭



10 図 焼入温度と硬度との関係

Fig. 10. Carbonitrided at 825 for 2 hrs.



11 図 焼入温度と硬度との関係

Fig. 11. Carbonitrided at 920°C for 2 hrs.

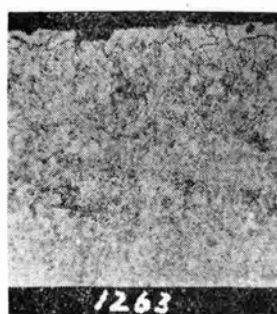


写真 5

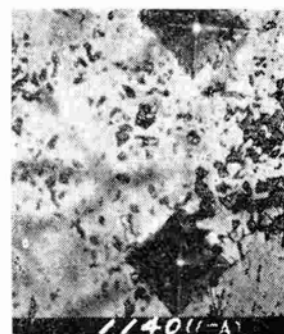


写真 6

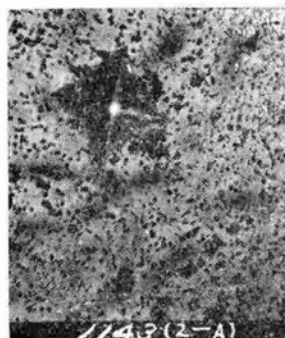


写真 7

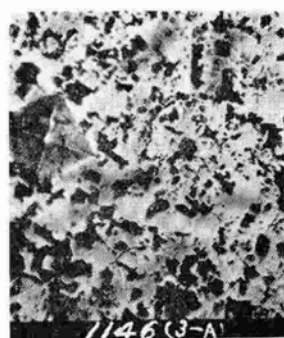


写真 8



写真 9

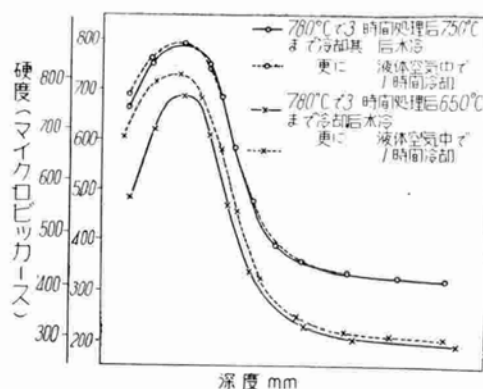
炭した場合は、表面にヤスリがかかる現象を経験する。もちろん内部は前述のごとく Hv 800 に達するから研磨仕上するときには差し支えない。写真7は 825°C で2時間処理し、水冷した表面組織を示す。前同様であるが白層が薄い。写真8は875°C で2時間処理したものでかくのごとき高温でもなお白層は存在する。写真9は 920°C で2時間処理水冷した結果で白層は全々なく針状晶である。

キ. X 回折による表面硬化低下の原因の検討

従来は低温で窒化炭化した場合は、表面に残留オーステン少く、表面硬度が高いように報告されていたが、事実は低いので、この原因をX線回折により究明した。この実験では試料は回転させコバルトレーを用いた。780°C で処理したものは表面の白層を除いて行つた。その結果 780°C のものはオーステンの (311), (220) ラインが強く出て、マルテンの (211) ラインは弱く、多量のオーステンを含有することを知つた。920°C で処理したものはマルテン、オーステン両ラインとも強く出た。この結果低温処理の方がオーステンを多量に残留することを知つた。

ク. 表面硬度に及ぼす低温処理の影響

表面硬度の原因であるオーステンを分解させる目的で低温処理を試みた。780°C で3時間処理しこれを 750,



12 図 焼入温度と硬度との関係

Fig. 12. Carbonitrided at 780°C for 3 hrs.

650°C のパスに移し、これから水冷したものを液体空気に1時間浸漬して空冷した。この結果を 12 図に示す。図中 650°C の曲線は判りやすいために Hv 100 下げて示してある。650°C より焼入たものは低温処理により Hv 80 程硬度が上昇したが 750°C 焼入のものはやや上昇したのみである。

4. む す び

以上の結果を総合し処理温度による硬化層の性質を比較すると1表のごとくなる。この表から明らかなように実際作業に当つては、その部分の要求される性質によりその処理温度を選定せねばならない。しかし液体窒化炭においてもつとも利用価値の大きいのは中温である。またこの実験ではソルトの組成を一定に保つたがもちろんこれは処理温度により変化すべきで、高温では青化物の濃度はこれより遙に引下げるべきである。終りに終始ご指導を賜つた久恒博士、小川喜代一博士に厚く感謝する次第である。

1 表

処理温度	低温 750~800°C	中温 800~850°C	高温 870~920°C
要素	低温 V.H.N. 500~570	高温 V.H.N. 550~650	やや低 530~620
表面硬度	厚 0.03	薄	無
白色化合物層	大	少	ほとんど無し
窒素による Ar ₁ の降下	最 小	小	やや大
焼 入 歪	急	中	ゆるやか
硬度曲線の傾斜	V.H.N. 800	V.H.N. 820	V.H.N. 850
最 高 硬 度	最 小 約V.H.N. 250	中 約V.H.N. 300	大 約V.H.N. 370
芯 部 硬 度	大	やや小	小
処理温度に対する感 度			

Table. 1.

Treating Temperature	Low Temperature 750~800°C	Medium Temperature 800~850°C	High Temperature 870~920°C
Surface Hardness	Low V.H.N. 500~570	High V.H.N. 550~650	Slightly Low 530~620
White Compound Layer	Thick	Thin	None
Falling of Ar. due to Nitrogen	Great	Little	Almost None
Quenching Strain	Minimum	Little	Slightly Large
Gradient of Hardness Curve	Steep	Medium	Slow
Maximum Hardness	V.H.N. 800	V.H.N. 820	V.H.N. 800
Hardness of Core	Minimum about V.H.N. 250	Medium about V.H.N. 300	Great about V.H.N. 370
Sensibility against Treating Temperature	Great	Some what Little	Little