には、その下方への撓は懸垂線の式より求められた値と正しく一致することが確かめられたから、それによつて補正を行へばよい。但しこの場合には鋼線に與へる張力の大きさは正確に知る必要があるから、滑車を経て重錘を懸ける如き場合は滑車の軸受に球軸受を使用し又はその他の方法により摩擦の影響を充分避ける様に努めねばならぬ。

(9) 以上の直定規又は線定規を基準として各種工作機械のベッド滑り面の眞直度、テーブル上面の平坦度或は往復台又はテーブル運動の眞直度等を、水平、垂直兩平面内に於て容易に而も高い精度を以て測定することの可能なることを多くの実例により確かめた。

(10) 長さ数米以上に亘る大なる平面の平坦度を、懸垂線

として取扱へる緊張鋼線を基準として測定することは比較的容易であるが、長さ 1~2 m の直定規を基準として使用し、直定規の傾を常に一定ならしめる様な支台を用意し、これに水準器を乗せ、直定規を略その長さ宛移動させて測定を継続し、直定規の傾又は上下方向の平行移動に対する補正を行ふことに依り、實際上大なる困難を伴ふことなく検査を遂行することができる。

終りに直定規製作に関し東京第一陸軍造兵廠並に東洋精機株式會社の御好意と、本実験遂行に際して局又太郎君の懸命なる努力を謝し、且本研究は日本學術振興會第 29 小委員會の援助によるものなることを附記してここに厚く感謝の意を表す。
(昭和 17 年 3 月 25 日受付)

(そ の 3)

ベ ッ ド 滑 り 面 の 研 究⁽¹⁾

(昭和 16 年 5 月 12 日 第 394 回 [日本學術振興會、日本機械學會、火兵學會、精機協會と聯合] 講演會に於て講演)

正 員 大 越 諄⁽²⁾ 香 山 直 治⁽³⁾ 村 田 長 三⁽⁴⁾

摘 要

ベッド滑り面の如き長大なる面の粗さを数量的に且極めて精密に測定検査し得る新しき粗さ検査機を考案、設計、製作しその検査機を使用して旋盤ベッド滑り面の仕上状況を比較吟味し又きざげ仕上の研究をなし、滑り面の新しき製作法を考案してその製作法の良否を本検査機により吟味した。又従来平坦度検査法に比し遙かに短時間にて且高精度に検査し得る新しきベッド滑り面用の平坦度検査機を考案、設計、製作した。

1. 緒 言

工作機械を初め種々の精密機械類のベッドは往復台或は各種測定機械等を乗せる台であるから、その滑り面の粗さ (smoothness, roughness) と平坦度 (flatness, waviness) とは、ベッドの強度と共に、機械の精度の上に極めて著しき影響を與へる有力なる因子である。

殊に粗さと平坦度とは單に機械の精度に著しき影響を與へるのみならず、滑り面の磨耗にも著しい影響を與へるので機械の寿命を左右する極めて有力なる因子でもある。

然らば従来、ベッド滑り面の粗さと平坦度とは十分考慮せられてゐたかと云ふに平坦度の方は以前より種々の測定法が考案されてゐた關係上相當に精密測定も行はれてゐたが粗さの方はベッド滑り面の如き長く且幅の廣い面の粗さを数量的に測定する方法が従来殆ど考案されてゐなかつたために数量的に吟味する事は殆ど行はれてゐなかつたと云つても過言ではない。

そこで本研究に於ては先づベッド滑り面の如き長大なる面の粗さを数量的に而も極めて精密に測定、検査し得る新しき

検査法の考案を試み遂にその目的を十分に達し得る粗さ検査機を考案製作した。次でその検査機を使用して現在我が国の所謂一流工作機械製造者の製作してゐる工作機械 (特に旋盤) のベッド滑り面の仕上状況を比較吟味し我が国の代表的旋盤のベッド滑り面は大体 5 種類に區別し得る事を確かめた。

次で、従来我が国を初め諸外国でベッド滑り面の仕上法として最も廣く一般に実行されてゐるきざげ法の良否を本検査機によりて吟味した結果滑り面の新しき製作法を考案した。

最後に従来平坦度検査法に比し遙かに測定時間を短縮し得て且精密測定が可能なる新しき平坦度検査法の考案を試み遂にその目的を十分に達し得る平坦度検査機を考案製作した。

2. 粗さ検査法の考察

(1) 従来の測針式粗さ検査法の吟味 従来行はれた面の粗さ検査法をその検査目的により大別すれば顕微鏡等を用ひ單に面上の疵の長さ幅とのみを測定検査するのを目的とする粗さの平面的検査法と面上の凹凸の長さ、幅のみならず高低をも精密に測定するのを目的とする粗さの立体的検査法と凹凸の 1 箇 1 箇の形狀は敢て問はず一定面積内の平均の粗さを測定するのを目的とする平均粗さ検査法との 3 種となる。これ等の検査法の中、面の粗さを最も精密に示し得るものは第 2 の立体的検査法である。

この立体的検査法の中最も廣く用ひられる方法は所謂測針式粗さ検査法である。第 1 図は測針式粗さ検査法の要領を示

(1) Researches on the slide surface of machine bed.
(2) Makoto OKOSHI, Mem'or. The Tōkyō Imperial University & The Institute of Physical and Chemical Researches. 東京帝國大學重理化学研究所。
(3) Naoharu KAYAMA, The Institute of Physical and Chemical Researches. 理化学研究所。
(4) Chōzō MURATA, The Institute of Physical and Chemical Researches. 理化学研究所。

第 1 図

す。即ちこの方法に於ては一般に検査せんとする試験片 (d) の面上に測針 (n) を傾斜して接触せしめ試験片を矢印の方向に移動させる。そこで測針は面上の凹凸に應じてその支点軸の周りを回轉すれば支軸の (S) の回轉運動を同軸上に固定された鏡 (m) により光学的に擴大するか、或はこれを電氣的に擴大して指示又は記録せしめるのである。

然るにこのやうな測針式粗さ検査法にはつぎの如きその検査目的から考へて致命傷とも云ふべき重大な欠点を有するのである。

第 2 図中 O を支軸の位置、a を測針の尖端の位置とし又 Oa の長さを r、直線 Oa の水平面よりの傾斜角を θ 、凸起の高さを dh、凸起の長さを l、この凸起が測針の下を通過するために生ずる測針の最大回轉角を $d\theta$ とし、凸起の形状を簡單のために ac を底辺とし b を頂点とする二等辺三角形とすれば測針が傾斜角 θ の位置から $d\theta$ だけ回轉するためには凸起の頂点 b が d の位置まで移動する事が必要である。即ち試験片を $(l/2 + dh \tan \theta)$ だけ右方に移動せしめることを要する。又測針が旧位置に復するためには試験片を更に $(l/2 - dh \tan \theta)$ だけ右方に移動させればよい。

従て凸起の實際の形状は図に示す如き二等辺三角形であつても測針の回轉によつて示される凸起の形状は決して二等辺三角形とならずに第 3 図に示す如き不等辺三角形となる。今この $dh \tan \theta$ を凸起の形状の変形量と名付ければこの値を小とするには θ をなるべく小さく即ちなるべく針を水平に近く設置せねばならぬ事は明らかである。

さてこの様な測針式粗さ検査法における感度 $d\theta/dh$ を吟味して見るに

$$\tan d\theta = \frac{ad}{Oa} = \frac{dh/\cos \theta}{r} = \frac{dh}{r \cos \theta}$$

然るに $d\theta$ は一般に微小角であるから $\tan d\theta \approx d\theta$

$$\therefore d\theta = \frac{dh}{r \cos \theta} \quad \therefore \frac{d\theta}{dh} = \frac{1}{r \cos \theta}$$

即ち感度 $d\theta/dh$ は測針の長さ r 一定の時は、 θ 大なる場合程即ち針を垂直に近く設置する程良好となることを知るのである。

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

第 2 図

第 3 図

密となり又測針をして摩擦抵抗なく回轉せしめんとすれば勢ひ測圧を極端に減少せしむることを要しその結果は回轉軸の支持が不確実となるおそれがある。

この様に従來の測針式粗さ検査法には種々の重大な欠点があるのみならず大部分測定面をして測針の下を通過させる構造のため大さき数立方程度の試験片或はこれに類する小形の機械部品の面の粗さを測定検査し得るに止まり大形機械の表面例へば工作機械のベツド滑り面の如きもの、仕上程度或はその磨耗状況等を測定検査する事は殆ど不可能であつた。

第 4 図

従てベツド滑り面の粗さの如きは従來数量的には殆ど取扱はれてゐなかつたのである。

(2) 新しい粗さ検査法の要領

本研究に於ては先づ従來の測針式粗さ検査法のこれ等の共通の欠点を除去せる新しい粗さ検査法の考案を試みた。第 4 図及び第 5 図に測針と鏡の新しい保持法の要領を示す。

第 4 図に於て S は支え双、m はこれに固定せる鏡、b は支え双の上部を貫通せる横桿、n は横桿

第 5 図

6 の先端に固定された測針、 w は平衡錘とする。即ち図示したやうに測針及び鏡の回轉軸としては摩擦抵抗の極めて小なる支え双軸受を採用し且測針の先端と支え双の先端とを同一水平面内にある如くした。

この如くなす事により先づ測針の接触圧力の極めて小なる時でも測針及び鏡をして面の凹凸の形状に應じ極めて鋭敏に運動を行はしめ得るのみならず測針の先端が支え双の先端と同一水平面内にある関係上鏡は凹凸の形状に正比例して傾き従来この種検査機における様な変形量に基づく測定誤差は殆ど除き得た。

今支え双と測針との間の距離を L 、凸起の高さを dh 、鏡の回轉角を $d\theta$ としてこの装置の感度を吟味すると

$$\tan d\theta = \frac{dh}{L}$$

$$\therefore d\theta = \frac{dh}{L}$$

$$\therefore \frac{d\theta}{dh} = \frac{1}{L}$$

即ち感度を良好ならしめるには測針をして出来るだけ支え双の方に近づけて L を小とすればよい。

然るに支え双には當然ある程度の厚さがあつて或一定限度以上測針をこれに近づける事は困難であるから本考案に於ては第5図に図示する様に支え双の下端を二又になしその中間に測針を装備せる横桿を深く挿入することにより測針の先端をして支え双の線に極めて近く接近し得る様にした。

又第4図に示す如く支え双の先端と測針の先端とを同一水平面内に装置することは変形量を絶無ならしめるため絶対的に必要なことであつても第4図の如くなす時は被検査物の横幅は支え双の間隔で制限を受けるので本考案に於ては第5図に示す如く測針 n は直接検査せんとする面に接触せしめず、該面には適宜の方法により上下方向にのみ移動し得る如く保持された第2の測針 P を接触せしめ、この P の上下方向

の運動を測針 n の下端に傳へる様にした。 P の上面は P の軸方向に對し精密に直角に仕上げられてゐる。かくして測針 n を支え双の線に極めて近く接近せしめ得たのみならず従来の測針式粗さ検査法と異なり如何に感度を上げてても変形量の入り来るおそれを完全に避け得たのである。

次に本考案に於てはベッド滑り面の如き長大なる面の粗さを測定し得るために以上の如き装置をして検査せんとする面上を移動せしめる様にした。第6図にその要領を示す。

第 6 図

即ち前掲の第5図に示した装置を乗せた架台 (1) は板 (2) 上に設けられた2本のレール (3), (4) に沿つて左右に移動する事が出来る。又面に直接接触せる測針をして上下方向にのみ移動させるには色々な方法が考へられるが、只今はこれを2枚の平行した板ばねで支持する如くした。架台の右側に固定せる横桿 (5) の右端にはナットが固定されそのナットは送りねじ (6) と噛み合送りねじ (6) は歯車 (7), (8) を介して電動機 (9) にて回轉せしめられるから結局架台 (1) は電動機 (9) に依て右方に移動せしめられる。

測針を旧位置に復せしめるにはハンドル (10) に依て送りねじを逆方向に回轉させる。

第 7 図 粗さ検査機の内部構造

[昭和 17 年 5 月]

第 8 図 粗さ検査機の外観

板 (2) の中央には点線で示した如き孔があつて測針はこれを貫通して下方に突出し検査せんとする面に接触してゐる。

又板 (2) には 3 本の脚 (11) があつてこれ等は何れもその高さを調整し得る如くしてある。

次に鏡の傾きを擴大して記録又は指示するためには如何なる方法を用ひてもよいがその一例を図に依て説明すれば電灯 (12) から出発した光は集光レンズ (13) で集められて細隙又はピンホール (14) を強く照す。(14) の像はレンズ (15) 及び鏡 (16) を介して回轉暗箱内の感光紙上或は壁面上にその焦点を結ぶ。従て面の凹凸は適當に擴大せられて感光紙上に記録又は壁面上に明示せられる。この鏡の代りにコンデンサーの板を用ひその移動に基づく電気容量の変化を利用して測針の運動を擴大してもよい。

以上説明せる如く本考案に於ては鏡の回轉軸として支え双軸受を採用し摩擦抵抗を極端に減少せしめて測針の接触圧力を極めて小とし、鏡が面の凹凸に應じて鋭敏に回轉運動をなし得る様にすると共に特殊の装置により如何に感度を上げても鏡をして凹凸の形狀に正確に正比例して回轉運動をなし得る如くなし従來の測針式の共通の欠点である「感度を良好ならしめれば変形量大となり、変形量を減少せしめれば感度不良となる」欠点を完全に除去したのみならず測針をして試験面上を移動せしめる如き構造となし以て如何に大なる面の粗さをも精密に測定検査し得る如くした。

(3) 新しき粗さ検査機⁽⁵⁾の構造 第 7 図は上述の原理に基づき設計製作された粗さ検査機の内部構造を又第 8 図はその外観を示す。

第 9 図は本検査機の前面の装置を取り除き内部を覗いた所、第 10 図は本検査機の後面を示す。

次に本検査機の各部の特徴を説明すれば次の通りである。

(a) 脚

(1) 水平調整装置 本検査機を検査せんとする面上に

(5) 日本特許第 143735 号。

第 9 図

第 10 図

置きたる時先づ調整せねばならぬ事は測針を検査せんとする面に最適の接触圧力にて且垂直に接触せしめると共に測針が面に沿つて平行に移動する様に脚の高さを加減する事である。この目的のために 3 本の脚は第 7 図乃至第 10 図に示す如く全部マイクロメータヘッドの型式にした。

(ロ) 脚位置調整装置 定盤の上面の如き面全体が平らであつて溝等の設けてない場合には検査機の脚の相互間の関係位置は不動でも差支ないが旋盤ベツド滑り面の如き場合には検査機の脚の位置が不動では測定に不便な場合がある。そのため第 7 図乃至第 10 図より明らかなる如くマイクロメータヘッドの下端に回轉の出来る水平脚を取付け検査せんと

する面の形状に應じてこの水平脚を適當に回轉せしめて本検査機を検査せんとする面上に置く様にした。水平脚はその調整位置が定まれば締めねぢによりマイクロメータヘッドに固定される。

(b) 擴大装置

(イ) 機械的部分 第7図正面図より明らかなる如く測針1は2枚の板ばね2により垂直に保持され測針の上下運動は測針の上端に接触せる針に傳へられその結果レバー3の右端(第7図側面図参照)が上下に移動しその運動はストリップ4によりレバー5に傳へられ結局鏡6が測針1の上下運動に應じて水平軸の廻りに回轉することとなる。

(ロ) 光学的部分(側面図参照) ランプ7より出た光は集光レンズ8にて集光された後プリズム9でその進路を90°曲げてピンホール10上に達する。ピンホール10を出た光はプリズム11で更に進路を90°曲げて左方に進みレンズ12を通過せる後鏡13にて反射し更に鏡6にて反射されて左方に進みプリズム14, 15を経て容器16中にある回轉筒上に達する。レンズ12は回轉筒に巻付けたフィルム上にピンホール10の像を結ばす役をなす。光が容器16の中に入る前に鏡17により光を上方に反射せしめて窓18の内部に設けられた曇り硝子上にピンホールの像を結ばせて光点の位置の調整をなす。フィルム上に光をあてる場合には鏡17は水平にして置く。

19は集光レンズ8の位置調整用ハンドルであり20はレンズ12位置調整用ハンドルである。

以上の如き装置により測針の上下方向の移動量は150~2000倍に擴大されてフィルム上に記録される。

(c) 送り装置

(イ) 縦送り装置(正面図参照) 21は測針1の縦送り用電動機である。電動機21の回轉は傘歯車22, 23クラッチ24を通つて速度変換函25内に傳へられここで適當に減速された後軸26に傳へられ更に傘歯車27, 28を介して縦送り用ねぢ29に傳へられる。ねぢ29の回轉と共にこれに噛合へるナット30

がねぢの軸方向に移動するのでその運動により測針並に測針の上下運動の擴大装置等を設備せる函31が、レール32上を移動する事になる。その移動し得る最大距離は40mmである。

また測針の移動速度は速度変換函内の歯車の噛合せ方を検査機の上面にあるハンドル33で変化せしめることにより1mm/mnと0.25mm/mnとに変化せしめる事が出来る。

(ロ) 帰還装置(正面図参照) 1回の測定を終了すれば

測針を元位置に復せしめる必要がある。この場合には測針を低速で移動せしめる必要はない。むしろなるべく急速に元位置に復せしめる事が望ましい。そこでクラッチ24をハンドル34に依てはずし縦送り用電動機21と縦送り用ねぢ29との連結を切断して置き、ハンドル35によりクラッチ36を入れ、ハンドル37を手動で回轉する事により縦送り用ねぢ29を急速に逆回轉せしめる。

帰還行程に於て測針が、面に接触してゐる事は何等意味をなさないのみならず徒らに針先を磨耗するに過ぎないからこの行程に於ては測針を上方に引上げて置く装置が設けてある。

(ハ) 横送り装置(側面図参照) 1回の測定を終了せる後それに隣れる部分を續けて検査する事を必要とする場合を生ずる。この如き場合には検査機の位置は動かさずにそのままにして置き、測針の位置を測針の縦送り方向に直角の方向に精密に希望距離だけ移動せしめ得る事が望ましい。このために測針を裝備せる函31はクロスレール38上を移動し得る様にしてある。測針に対しこの横送りを精密に與へるためにはハンドル39を手動にて回轉する。然る時は横送り用ねぢ40が回轉するためにこれに噛合へるナットがねぢの軸方向に移動するので測針が函31と共に横方向に移動する事になる。

(d) 光点調整装置(側面図参照)

ピンホール10の像をフィルム上に結ばせるためにはレンズ12を使用し、その調整にハンドル20を使用する事は既に述べたが光点をして正確に回轉筒前面に設けられたスリット内に入らしめるためには鏡6と鏡13の傾斜角を適當に変化せしめる。これ等の調整

はいつでも函31の外側に設備されたハンドルに依て行はれる。

(e) 感度調整装置(側面図参照)

感度を適當に変更したり或は調整したりするためには測針1の上端に接触せる針の位置を水平方向に精密に移動せしめる。この変更調整はやはり函31の外側に設備されたハンドルに依て行はれる。

(f) 感度検査装置

感度を検査するためには光点を覗き窓18内の曇り硝子上に出して置き一方測針1をして0.01mmづつ逐次上昇或は下降せしめ、その時の光点の変位量を曇り硝子上に刻まれた目盛に依て測定する。測針をして一定長さづつ逐次上下せしめる事は函31の外側に設備せるハンドルに依て行はれる。

(g) 自動警報装置及び自動停止装置(正面図参照)

測針が與へられた距離だけ移動せる時自動的に警報音を發して実験者に測定を終了せる事を知らせると共に自動的に測

第 11 図

第 12 図

第 13 図 (a)

定を停止する装置が設けてある。

この目的のためには函 31 の左側面に 41, 42 なる 2 本の棒が固定してある。これ等の棒が、函 31 と共に左方に前進すると先づ最初に棒 41 が、スイッチ 43 に接触しこれを左方に倒し電路を閉るために自動的に警報を発信し次いで棒 42 がスイッチ 44 に接触し電動機とランプの電路を開くために電動機 21 の回轉は停止し従て測針の運動が停止すると共にランプも消える。

測針の移動距離即ち測定距離を任意に変更するためには、スイッチ 43 及び 44 を有する、駒 45 を適當の位置まで変位せしめて後固定する。

(h) 測定位置指示装置 (第 8 図参照)

測針が移動を始めてより現在何耗まで測定が進んでゐるかを知るためには本検査機の前面下端にその指示装置が設けてある。

(i) 動搖防止装置

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

第 13 図 (b)

本検査機を甲地より乙地まで運搬する場合等に機械に故障を生ぜしめたり或は感度が変化したりする事を防止するために、測針或はその運動の機械的擴大装置等は全部函 31 の外部に設けられたるハンドルにより極めて簡単に固定され得る様になつてゐる。

(j) 測針

測針としては、ダイヤモンド製の針を使用した。而してその尖端を頂角 60° の円錐形に仕上げ且尖端の曲率半径は 0.01 mm とした。

測針の尖端の曲率半径と接触圧力とは、測定結果に重大なる影響を及ぼすものである。曲率半径極めて小にして接触圧力過大なる時は第 11 図中の図 I に示す如く側針は凸起の山の部分も谷の部分も引掻いて進む。この際山の部分の引掻深さを h_1 とし谷の部分の引掻深さを h_2 とすれば実際の凸起の高さは H なるにも拘らず高さがあたかも $H + h_2 - h_1$ 即ち $H - (h_1 - h_2)$ なる如き結果を示す事になる。又曲率半径極め

第 14 図 (a)

て小にして接触圧力又過小なる時は第 11 図中の図 *I* に示す如く凸起の山の部分は引掻き谷の部分は測針の回轉部分の摩擦抵抗のために測針が十分円滑に動かぬため谷の底に達せず結局凸起の高さがあだかも $H-(h_1+h_2)$ なる如き結果を示す事になる。種々予備実験の結果曲率半径 0.01 mm の測針では接触圧力 6 g 位が適當なる事を確かめたので本検査機に於ては接触圧力が大体 6 g になる如く設計した。

3. 旋盤ベッド滑り面の粗さの測定結果

前述の粗さ検査機を使用して国産旋盤のベッド滑り面の粗さを測定吟味した。

滑り面の粗さは勿論使用時間と共に変化する。従てその粗さを比較吟味するには全然新しき旋盤を試験旋盤に選ばねば意味をなさない。尨が幸ひ昭和 15 年 3 月 15 日より同 24 日に至る 10 日間芝區海岸通東京府工業奨励館に於て商工省主催の下に工作機械工業振興展覽會が開催され全国の工作機械製造者より夫々各社の代表的作品が出陳されたのでそれ等

第 14 図 (b)

多数の工作機械中より旋盤 18 台を選びそのベッド滑り面の粗さを比較吟味する事にした。第 12 図は本検査機にて測定中の状況である。

この展覽會に嚴重なる鑑査に合格して出品を許可された旋盤は普通旋盤 23 台、工具旋盤 2 台、タレット旋盤 7 台、自動旋盤 1 台、堅旋盤 1 台、卓上旋盤 2 台、その他の旋盤 10 台、合計 46 台であり、その中から精度検査、工作精度検査、(丸棒削りの場合の真円度、真直度、びびり、ねお切りの場合のピッチ誤差) 音響検査、材料検査、設計の良否検査等の諸検査に於て比較的成績良好なりしもの 6 台、成績中位のもの 7 台、成績下位のもの 5 台計 18 台の旋盤を特に本研究用の旋盤として選んだ。従てこれ等の旋盤は先づ當時の我が国の旋盤ベッド滑り面の程度を表はすものと看做して差支ないと考へられる。

測定結果を第 13 図乃至第 17 図に示す。図中左方は滑り面のきざげ模様を示し、右方は粗さの測定結果(縦横の倍率は図中の尺度で明らかであるが大体縦 700 倍、横 4 倍である)である。

第 13 図に示せる A, B, C, D 4 社の滑り面は出来るだ

[昭和 17 年 5 月]

第 15 図 (b)

第 15 図 (a)

け平滑に仕上げて當り面を出るだけ大となす様に努力せる事が明瞭に認められる。B社の滑り面は研削仕上を行つたものである。

第 14 図に示せる E, F, G, H 4 社の滑り面はいづれも平坦な所と窪みとの連続からなる。かかる面が相手の面に接触する時平坦な所は直接相手の面に接触して圧力を支へる役目をなし窪みの部分は油溜の作用をなす。

第 15 図に示せる I, J, K, L 4 社の滑り面はいづれも面上に油溜としての窪みを有する事は前記 E, F, G, H 4 社の場合と同様であるが接触圧力を受ける可き部分が平坦ならず丸みを持った山形をなしてゐる。かかる面が相手の面に接触して 2 面間に相対滑り運動が起れば凸起の頂点は忽ち磨耗し去つて面の精度が狂つて仕舞ふ事は容易に推察し得る。

第 16 図に示せる M, N, O, P 4 社の滑り面は大体前記 I, J, K, L 4 社の滑り面と類似してゐるが、油溜としての窪みがいづれも比較的大き過ぎるものばかりである。

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

第 17 図に示せる Q, R 2 社の滑り面は一見して判る如く滑り面を出るだけ平滑に仕上げんと苦心せる様には見えす又適當なる當り面、油溜等を設けんと努力せる形跡も認められない。かかる面は最も早く磨耗する。

以上の測定結果から次のことを知り得た。

- (1) 外見上同程度の仕上の如く見える滑り面も精密に測定して見れば全く異なる。
- (2) 當り面と油溜とを注意して讀けた滑り面は極めて僅少である。
- (3) 水平、同高、平滑なるべき當り面の形状が甚だ不完全である。
- (4) 従来ベッ ド滑り面の粗さを数量的に測定検査すべき適當なる検査機が無かつたためとは云へ予想以上に不良なる滑り面が多い。
- (5) きさげ模様と面の粗さ、状態との間には殆ど明瞭なる關係なく、従てきさげ模様から面の良否を判断する事は極めて危険である。
- (6) 面の状況から見て国産旋盤のベッ ド滑り面は出来るだ

mm
0 10 20

第 16 図 (a)

第 17 図 (a)

M

N

O

P

第 16 図 (b)

Q

R

第 17 図 (b)

[昭和 17 年 5 月]

第 1 表

旋盤ベツド滑り面の型式	製 造 會 社 名	ベツド滑り面の形状			旋盤としての 審査概評 (A, B, C)
		B_1 (mm)	B_2 (mm)	H (mm)	
I.	A	0.1~0.2	—	0.001 ~0.002	C
	B	0.1~0.2	—	0.001 ~0.002	A
	C	0.1~0.2	—	0.001 ~0.003	A
	D	0.1~0.3	—	0.001 ~0.003	B
II.	E	1.0	1.5	0.002 ~0.0035	A
	F	4.0	3.0	0.0025~0.005	C
	G	5.7	4.0	0.002 ~0.004	A
	H	9.7	3.3	0.005 ~0.008	A
III.	I	5.9	1.7	0.006	B
	J	5.7	2.0	0.009	A
	K	4.6	2.1	0.006	B
	L	8.3	4.7	0.009	B
IV.	M	10.0	—	0.006	B
	N	7.1	—	0.008	C
	O	11.7	—	0.008	B
	P	16.6	—	0.008	B
V.	Q	1.5	—	0.006	C
	R	3.0	—	0.008	C

け平滑に仕上げられた面と平滑なる面上に比較的規則正しく一定間隔を置いて、油溜を設けたる面と、油溜と油溜との間の平滑なるべき部分が加工法の未熟なるために曲面状の山形をなせる面と、油溜が過大にして相手の面に接触すべき面が過小なる面と平滑なる當り面も油溜も全然考慮する事なく仕上げられたる面との5種類の面に區別し得る。

これ等5種類の滑り面の形状を数量的に表示すれば第1表の如くなる。この表から現在各社で滑り面に作れる油溝の大きさは大体直径数 mm 乃至 10 mm 程度、深さ 2 乃至 8 μ 程度である事を知る。

表中右端は旋盤としての審査概評 (A 級、B 級、C 級) を示す。これより明らかなる如く大体系型 II の滑り面を持つた旋盤が旋盤としての成績良好なるもの最も多く型式 I のものこれに次ぎ型式 III, IV, V となるに従ひ旋盤としての成績も次第に低下してゐる。

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

第 18 図

4. きさげ仕上の研究

前述の如く本研究に供せる 18 台の旋盤中 B 社のものを除き残り 17 台は全部きさげ仕上されたものばかりである (B 社のものは研削仕上)。

そのきさげ仕上に依て製作された滑り面の状態が予想以上に不良なもの、多いのは結局きさげ仕上の作業が手にて行はれるため余程の熟練を要する事に帰因するならんと考へたの

で、次にきさげ仕上に依て面はどの程度に加工されるかを吟味した。

試験材料としては工作機械のベッド製作に使用される普通

の鑄鉄を選んだ。これに予め適當の熱処理を施してその組織をノルマライズせる後、その表面を先づ研削作業に依て精密仕上をなして置く。

次にその試験片の表面に幅の異なる種々のスクレーパにて又同一幅のスクレーパの使用法を変へて唯1回の作業を行ひその作業に依て表面がどの程度加工されるかを前述の粗さ検査機にて測定した。きさげ仕上作業は理研内にある科学機械製造部(旧工作係)の熟練

工に依頼した。

第18図は幅7mmのスクレーパにて作業した場合の状態を示す。作業は下から斜め左上に向つて行はれた。 a は作業方向に測つた面の状態を又 b は作業方向に直角の方向に測つた面の状態を示す。この程度の幅のスクレーパで唯1回の作業を行つたのでは表面は約 1μ しか削り取られない事を知る。

第19図は幅3.5mmのスクレーパにて作業せる場合の面の状態を示す。作業の方向、及び a, b の測定方向等は上図の場合と全く同様である。この場合は約 2μ 削り取られてゐる。同様の作業を幅2mmのスクレーパで行つて見るにこの場合には約 3μ 削り取られた。

同一人が同一の圧力にて作業すればスクレーパの幅狭

き場合程1回に削り取り得る深さが大となる事は容易に推察し得るがスクレーパの幅と溝の深さとの関係を図示すれば第20図の如くなり、1回の作業にて深さ 8μ 程度の油溝を作るには余程圧力を大にするか或は幅の狭いスクレーパを必要とする事を知る。然るに人力には限りがあり又現在各社で削り面上に作れる油溝の形状は直径数mm乃至10mm程度のものであるから、この如き大きさの而も深さ数 μ 乃至 8μ 程度の油溝を1回の作業で作る事は仲々困難であると云はねばならぬ。

[昭和17年5月]

第 19 図

第 20 図

第 21 図

第 22 図 (b)

5. ベッド滑り面の新しき製作法

前述の如く仕上による滑り面の製作は手にて行ふ関係上大いに熟練を要するのみならず如何に熟練せる者が製作するとも水平、同高、平滑なるべき當り面の形状理想的ならず且直径数 mm 乃至 10 mm、深さ数 μ 乃至 8 μ 程度の油溝を作るには 1 箇の油溝を作るにも数回作業を繰返す必要があり、従て作業に長時間を要するは止むを得ない所である。

この作業上の困難は手にて作業を行ふ事並に滑り面を最後まで機械加工にて製作せんとする所に存するのである。そこで著者は従来滑り面製作法に全然拘泥される事なくこれを化学的処理法により製作する事を試みた。

即ちその第 1 の方法は先づ滑り面を研削作業により出来るだけ平滑に精密仕上げせる後當り面の形状に應じて適當の型紙又は型付ローラを用ひて耐酸エナメルを塗布し當り面に相當する所を耐酸エナメルにて被覆し置き、残余の露出せる部分を硝酸 30~50% 水溶液にて腐蝕して油溝をつける方法である。

第 2 の方法は、型紙又は型付ローラを用ひて滑り面上に耐酸エナメルを塗布する代りに網目版（製版）製作法中の卵白法を利用し適當の模様の画かれた陰画を用ひてその陰画の模

← 第 22 図 (a)

第 21 図はスクレーパの角にて作業せる時の面の状態を示す。作業の方向、 a 、 b 等の測定方向等は上の場合と全く同様である。この場合の溝の底部は b 図より明らかなる如く水平ではない。一方に傾き従て溝の最も深い所は一方へ片寄つてゐる。この如くスクレーパの角を使用すれば、溝の深さは漸く 4 μ 程度になる。併しこの如き形状の油溝が果して磨耗に対して理想的の形状なるや否やは大いに研究を要する所である。

第 22 図はきさげ仕上の熟練工に依頼してベッド用鑄鉄の表面を種々の程度に仕上げさせた時の測定結果である。

図中 A はスクレーパにて出来るだけ平らに仕上げたる面であり、 B は面上に深さ約 3 μ 大きさ約 5 mm 角の油溝をつけんと計畫せるもの、又 C 、 D は深さ約 5 μ 、大きさ夫々約 3 mm 角、及び 2 mm 角の油溝をつけんと計畫せるものである。

この結果を見ても、きさげ仕上により希望する形状を持つた面を製作する事の如何に困難であるかがわかる。

様を滑り面上に塗布せる感光膜上に焼付けその後で現像肉塗布、水洗、被覆作業をなせる後硝酸 30~50% 水溶液にて腐蝕して油溝をつける方法である。

これ等の化学的処理法による時は如何に複雑なる形状の當り面、油溝の滑り面でも極めて精密に且容易に製作する事が出来又油溝の深さは腐蝕時間の長短或は酸の濃度により自由に加減する事が出来又全滑り面を同時に腐蝕するのであるから、作業時間は面の廣さに殆ど無関係であり、且作業時間は極めて僅少（全作業時間は大体 15~20 mn 位）で済む。

第 23 図及び第 24 図にこの化学的処理法に依て作られた種々の油溝の断面形状を示す。（図中 a は予定せる溝の幅並に深さを示す図である）。

第 24 図中の No. 5 の一つ置きに溝の深さが深くなつてゐるのは最初全部の溝を 5μ まで深くした時一つ置きに耐酸エナメルにて溝を塗り潰し再び化学的操作を続行して得たものである。

又第 25 図、第 26 図、第 27 図はこの化学的処理法に依て作られた種々の滑り面の模様を示す。

以上の実験法結果より明らかなる如く滑り面の製作にこの化学的処理法を用ふる事により従来のみさげ仕上法にては、十分に目的を達し得ざりし當り面の水平、同高、平滑、或は油溝の整然たる配列等を初めて解決し得た。

6. 平坦度検査法の考案

(1) 精密水準器を用ひる従来の検査法の吟味

ベッド滑り面の平坦度、振れ或は据付に際しての水平度等を検査するには種々の方法があるが、従来最も一般に行はれてゐる方法は精密水準器を用ひて行ふ方法である。

併しこの方法には次の如き種々の欠点がある。

欠点の 1 は水準器の感度を良くするため曲率半径の大なる気泡管を用ふる程気泡の運動は益々緩慢となり測定に長時間を要し且室温の影響著しく気泡管内の温度が少しでも一樣でない時は対流のため気泡の位置が変動し又價格も益々高くな

第 23 図 (a)

No. 1

No. 2

No. 3

第 23 図 (b)

[昭和 17 年 5 月]

第 24 図 (a)

No. 4

No. 5

No. 6

第 24 図 (b)

ることである。

欠点の 2 は感度の鋭敏なもの程測定範囲が極めて小なる事である。即ち感度鋭敏なものは傾斜が少し大となつても気泡が忽ちスケールアウトするから水平調整のできぬものでは第 28 図に示す如く水準器の片側に厚みゲージ等を挿入して水準器が大体水平位置を保つ様にせねば測定が不可能である。

この場合検査せんとする面の傾斜が長手の方向に大体一定であれば水準器の下面に挿入すべき厚みゲージは同一のものでよいが若し面の傾斜が場所により著しく異なる時は水準器を据付ける度毎に厚みゲージの厚みを適當に調整しなければならない。これは検査を迅速に行ひ得ない原因となる。

欠点の 3 は面の大体の平坦度を吟味するために第 29 図に示す如く面上の数箇所に水準器を置いて測定を行ふ場合があるがこの如き場合には図に示す如く面の形状が全く異なるにも拘らず結果の全く同一になる事のあり得る事である。

即ち A, B, C, D は E と同一結果を又 E と G, H, I, J も夫々同一結果を示す事になる。

この誤認を避けるためには是非共水準器をして第 30 図に示す如く連続して逐次据付ける事を要するがこの如くなす時は測定に長時間を要するのみならず各測定値を連ねて面の形状を求むる時は測定誤差は次第に蓄積されることとなり面の実際の形状と測定値より判断した形状とは甚だしく異なる場合も起り得るのであつて又この際に若し面上に図に示す如き小凸起が存在する場合には水準器の測定値より面の状況を図に表はせば同図中の下図の如くなり、これ又実際の状況とは甚だしく異なつた結果を示す事になる。これが欠点の 4 である。尙この際に水準器を側面より見れば同図中の右図に示す如く仕上面上の凸起のために水準器が前後に傾く事もあり得るので、この場合には水準器の形状が完全に樽型でない時はその感度が変化する事にもなる。

第 25 図

第 26 図

第 27 図

第 28 図

第 29 図

第 30 図

精密水準器を用ふる従来の方法はその装置並に使用法が極めて簡単なるため一般に行はれてゐるがその方法には前述の如き種々の重大なる欠点がある。

(2) 新しき平坦度検査法の要領 そこでこれ等の欠点を完全に除去し面の平坦度、振れ、据付に際しての水平度等を極めて精密に且迅速に検査し得る新しき検査法を考案しその原理に基づく平坦度検査機を設計製作した。第 31 図は新しき検査法の要領を示す説明図である。

図に於て(1)はベッド、(2)は固定脚、(3)は上下方向にその位置を上下し得る調整脚、(4)は補助脚である。機体は(2)(3)(4)の三脚を以て検査せんとする面上に据付けられる。

第 31 図

但し固定脚及び調整脚の下端には面の局部的凹凸による測定誤差を避けるために一定厚み一定面積のブロックを挿入する。この際補助脚(4)の位置及び高さは検査せんとする面の形状に応じて調整する。即ちねぢ(5)を緩めれば補助脚(4)の長さを加減することが出来又補助脚側面のねぢを緩めてその高さを調整することが出来る。斯くして機体の前後方向の傾斜を修正する。(6)(7)(8)(9)は固定脚(2)と調整脚(3)との間の平坦度を検査するための測針である。これ等の測針はその長さを精密に調整し得る如くしてあり且通常はそれ自身の重量で下方に垂下しをり測定に使用する時のみ図に点線にて示す如くその下端に固定脚、調整脚の下端に挿入してあるブロックより少しく厚みの大なるブロックを夫々單獨に挿入する。

円筒(10)は2箇のピボット軸受(11)を以て支へられ円筒の同一母線上に(13)(14)(15)(16)(17)(18)なる6箇の凸起部を有する。

測針の下端にブロックを挿入すれば測針(6)(7)(8)(9)の上端は夫々凸起(13)(14)(15)(16)に接触し円筒を回轉せしめる。この時のブロックの厚みは固定脚並に調整脚の下端のブロックの厚みより大であるから、この如く測針の下端にブロックを挿入せる場合には円筒(10)上の凸起(18)と調整脚(3)の上端との間は開いて両者は無関係となる。さて円筒上の凸起(17)はダイヤルゲージ(12)の測定棒の下端に接触してゐるから測針の上下方向の変位量はダイヤルゲージ(12)で測定される。

調整脚(3)の中央部分はねぢを構成しそのねぢにはナット(19)が噛合ひ該ナットの外周はウォーム歯車を構成しそのウォーム歯車はウォーム(21)と噛合ひ且調整脚にはキー溝

[昭和 17 年 5 月]

(22) が設けてあつて調整脚は上下方向には移動し得ても回轉し得ないからハンドル (20) を回轉せしめれば、調整脚は機体に対して微細なる上下運動をする。然るに測針の下端にブロックを挿入しない時は、調整脚の上端は円筒 (10) 上の凸起 (18) に接触してゐるから調整脚の上下方向の変位量はダイヤルゲージ (12) で測定せられる。

さて調整脚の下端は機体の重量のために常に検査せんとする面上に一定厚みのブロックを介して接触してゐるから、ハンドル (20) を回轉する事により機体は調整脚 (3) に対し上下動をする事になり結局機体は固定脚 (2) 補助脚 (4) を結ぶ線を回轉軸として傾斜する事となる。

水準器 (26) は機体の傾斜程度を表示し機体をして水平位置を保たしめるためのものである。水準器 (26) は機体と一体である支持台 (23) 上の複式調整台 (25) 上にあつてねぢ (27) は水準器調整用のねぢである。別の小型水準器 (24) は機体の前後方向の水平度を調整するためのものである。水準器 (26) の気泡位置はプリズム (28) (29) 及び顕微鏡 (30) を通じて精密に観測し得るから、水準器 (26) の気泡がその中央に位置するに至るまでハンドル (20) に依て機体の傾斜を修正する。水準器 (26) の気泡は機体が水平面上に据付けられた時中央に位置する如く予め調整してあるからこの時のダイヤルゲージ (12) の読みは結局固定脚 (2) と調整脚 (3) との間の水平面からの高さの差を示す事になる。

次にこの平坦度検査機は 2 様の目的に使用される事を説明しよう。

第 32 図は本機を以て検査せんとする面が絶対水準面に対し如何に傾斜し且平坦でないかを検査するための使用法である。

この測定に當つては本機を水平面上に置いた時水準器 (26) の気泡が中央に位置する様に予め水準器 (26) の傾斜をねぢ (27) により修正し置き且 4 本の測針の長さは本機を平面上に置き且測針の下端に一定厚みのブロックを挿入せる時ダイヤルゲージが常に一定値を指す如く調整して置く。

今本機をして同図 A に示す如く面上の ab に据付けた時本機の両脚の下端を結ぶ線が絶対水準面に対し傾斜してゐるとすれば、気泡は左右何れかに偏する。そこで同図 B に示す如く調整脚の長さを加減して気泡が中心に戻る迄機体の傾斜を修正する。この時のダイヤルゲージの読みと最初本機を水平面上に置いた時の読みとの差が両脚間の高さの差即ち両脚間の面が絶対水準面 ab' となす傾斜の程度を示す筈である。又測針の下端にブロックを挿入した時のダイヤルゲージ

第 8 卷 第 31 号 (第 4 部)]

ジの読みと先に本機を水平面上に置いた時の読みとの差はブロックを介して測針の接触せる部分が絶対水準面 ab' より如何程出入してゐるかを示すものである。

次に本機を次の測定位置に移轉させ先の測定に際しての調整脚の位置に固定脚を設置し bc 間の平坦度並に c 点の絶対水準面よりの高さを求める。測定の要領は前と全く同様である。但しこの場合の各測定値は第 2 の基準面 bc' に対しての値であるから最初の基準面に対しての値を求めるにはこれ等の測定値に夫々 b 点の最初の基準面に対する高さを加算する。

以上の如き使用法により検査せんとする面が絶対水準面に対し如何に傾斜してゐるか又絶対水準面に対してその面は如何に平坦でないかを精密に且迅速に検査し得ることは明らかとなつたがこれは主として機械を床に固定せる場合等に必要となる事であつて機械工場に於ては各種機械を製作中その滑り面の平坦度を検査する場合には必ずしも絶対水準面に対する面の平坦度を吟味する必要はない。

第 33 図

第 33 図は本機を以て唯單に面の平坦度のみを検査する時の要領を示す図である。この測定に當つても本機を平板上に据付け各測針の下端に一定厚みのブロックを挿入した時ダイヤルゲージの目盛が常に一定値を示す如く各測針の長さを調整して置く事は前と同様であるが水準器の傾斜は予め調整して置く必要はない。

今本機をして同図 A に示す如く面上の ab に据付けたとする。この場合には ab を以て基準線と定め爾後の平坦度の測定は総てこの ab 線に対して如何程の出入があるかを以てするのである。この場合測針の下端にブロックを挿入せる時示すダイヤルゲージの読みより ab 線に対する ab 間の各場所の平坦度は直ちに求められる。この際同図 B に示す如く複式調整台を調整して水準器の気泡を中央に位置せしめる。

次に先に述べたのと全く同一の要領で同図 C に示す如く本機を次の測定位置に移動させる。この場合には調整脚を出し入れて水準器の気泡が中央に位置する迄機体の傾斜を修正する。この時各測針により前同様に求められた測定量はこの測定の最初に定められた基準線からの各点の起伏量を示す事は明らかである。

以上の如き操作により面の平坦度はその据付水準の如何に関係なく極めて簡単に検査し得るのである。

本機は水準器を零位測定法として用ひ且気泡の

第 34 図

第 35 図

位置を顕微鏡を用いて観測するのであるから極めて高感度の高価な水準器を必要としないのみならず前述の如き精密水準器を使用せる場合に起る種々の欠点なく而も必要に應じ或は絶対水準面に対する面の平坦度或は絶対水準面には無関係な面そのもの、平坦度を極めて精密に且迅速に検査し得る特徴を有するものである。

(3) 新しき平坦度検査機の構造 第 34 図は前述の原理に基づき設計製作された平坦度検査機の内部構造を又第 35 図は旋盤ベッド滑り面上にて測定中の状況を示す。

各測針間の間隔は夫々 10 cm 左端の固定脚と右端の調整脚との間の距離は 50 cm である。

討

質問 (山下興家君)⁽¹⁾ 滑り面の磨耗防止についてであります。内燃機関シリング内面の磨耗防止方法として、最近米国の雑誌に載つてゐたのを読みましたが、その方法は或は多少の御参考になるかも知れないと思ひますので申し上げます。

それはきれいに「ホーニング」して仕上げた後に、これを水酸化ナトリウムの液中に浸して、鋳物の表面にある「フェライト」を腐蝕させて顕微鏡的の「ピンホール」をこしらへて「オイルフィルム」の切れるのを防止するのでありまして、非常に有効だと書いてありました。

回答 精密研削仕上或はラップ仕上せる平滑なる滑り面上に油膜の最も切れ難い様な形状の油溜を腐蝕法に依り刺印せんとする私達の試みとその目的を一にする方法で誠に面白い仕上方法の様に思はれます。御注意を願ふ存じます。

(1) 日立製作所。

第 36 図

した。図中 S は水準器の傾斜角調整用ハンドルである。

本機を用ひてベッド滑り面の平坦度の精密検査を行ふ時の 1 回の所要時間は約 2 mn である。即ち約 2 mn にて長さ 50 cm の間の平坦度を 10 cm 間隔にて極めて精密に検査する事が出来る。

終りに臨み本研究に當り特にベッド滑り面の新しき製作法に関し種々有力なるヒントを御與へ下されし長岡半太郎先生に對し厚く感謝の意を表する共に本研究中熱心に助力されし理化学研究所工具研究室の渡辺郁夫、石坂三郎、名倉秀雄の 3 君 (粗さ検査機関係) 並に今井巖、佐久間孝雄の 2 君 (平坦度検査機関係) に対しても衷心より謝意を表する次第である。

(昭和 17 年 3 月 25 日受付)

議

質問 (原和君)⁽²⁾ 1. 表面検査機の検査針の先端の半径は何耗位でせうか 2. 検査針と被検査面との関係速度はどの程度でせうか 3. 被検査表面の凹凸が矩形波状を呈してゐる場合、検査針が引掛る様に思はれますが差支ないものでせうか。

回答 (1) 検査針の先端の半径は約 0.01 mm であります。(2) 関係速度は数種類に變へて予備実験を行ひましたが、1 mm/mn 以下が具合がよさそうであります。(3) 被検査表面の凹凸が眞の矩形波状で凹凸部の側面が垂直に切り立つており且検査針の円端部がこれに接触するのだと検査針は引掛る訳であります。実際上はかかる眞の矩形波状の凹凸は殆ど存在しませんし又凹凸の高さも比較的小であつて検査針の先端の曲面状の所が接触することになりますからこの心配はない様に思はれます。

(2) 日立工作機械會社。

[昭和 17 年 5 月]