

# 表面粗さの測定法

竹中規雄

工業に使用されている各種の機械、器具、装置等のいろいろな部分の表面の粗さはそれらの性能に極めて重要な関係をもっている。技術の進歩に伴つて表面の粗さに對する要求も次第に高くなり、一見きわめて平滑に見える軸類の表面にも尙ある程度の凸凹が見出される。相壁粗い面から極めて滑らかな面まで、粗さを定量的に測定するにはどんな方法が使用されているか。また粗さを何によつて表わしているか。本文にその調査の結果を報告しよう。

## 1. はしがき

物體の表面の粗さが工學上の種々の問題にきわめて密接な関係のあることはよく知られているところである。例えば、2物體間の摩擦、磨耗、熱傳達及び電気傳導や流體との接觸面の摩擦等をはじめ非常に廣い範圍にわたつて粗さが關係するものと思われる。もちろん物體表面の種々の現象は單に粗さのみではなく、表面のすぐ内部

における加工變質層の存在や表面の外部に附着する流體の分子層等にもいちじるしく影響されるのであるが、ここでは一應表面の幾何學的形狀である粗さについてその測定法を述べることにする。

實際にわれわれが取扱う金属材料の表面の粗さは加工法によつて大いに異つており、普通の加工法で得られるだいたいの粗さの範圍は第1表<sup>1)</sup>のように、超仕上げの0.01 $\mu$ から、旋盤仕上げの粗い方の100 $\mu$ 以上に迄わた

第 1 表

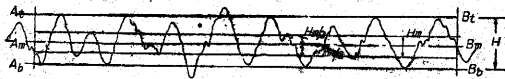
表面アラサの標示	0.01S	0.02S	0.04S	0.1S	0.2S	0.4S	1S	2S	4S	10S	20S	40S	100S	200S	400S	1,000S
アラサの範圍 $\mu$	0.01	0.02	0.04	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	20	40	100	200	400	1,000
加工法	以下	をこえ 以下	をこえ 0.04 以下	をこえ 0.1 以下	をこえ 0.1 以下	をこえ 0.4 以下	をこえ 1 以下	をこえ 2 以下	をこえ 4 以下	をこえ 10 以下	をこえ 20 以下	をこえ 40 以下	をこえ 100 以下	をこえ 200 以下	をこえ 400 以下	をこえ 1,000 以下
丸削り									←							
ヘールバイト									←							
超硬バイト								←								
中り											←					
中ぐり											←					
精密中ぐり											←					
平削り												←				
形削り												←				
フラス																
正面フライス																
平フライス																
キリ																
モミ																
ブローチ削り																
リーマ																
通し																
研削																
トギ止																
グ																
超仕上げ																
仕上げ																
ラップ仕上げ																
電解研磨																
押ツケ仕上げ																
パフ仕上げ																
砂吹仕上げ																
ヤスリ仕上げ																
キサゲ仕上げ																
サゲ仕上げ																
鑄造																
精密鑄造																
微鑄																
延拔																
引拔																
紙ヤスリ仕上げ																

つている したがって粗さの測定法にも測定すべき粗さの程度に応じて適当な方法が種々用いられている。

ところで今粗さが何  $\mu$  等と記したが、粗さは何を以て表わすべきか、先づこの粗さの表示法について考えてみたい。

## 2. 粗さの表示法

いまある表面の一つの垂直断面をとつてその表面のプロファイルが第 1 圖のようであつたとする。このプロフ



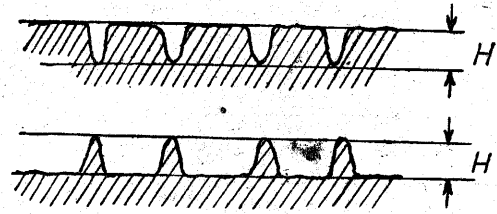
第 1 圖



第 2 圖

ルの形状を最も厳密に表わすにはこの曲線を Fourier 級数で表わしその係数によつて粗さを比較するのがよいのであるが、実際には相當面倒であるからほとんど行われていない。もつとも簡単なのはプロファイルの山頂の部分にできるだけ多くの點で接するある長さの基準線  $A_1B_1$  を考え同様に谷底の部分に接する平行線  $A_2B_2$  を引き、この二直線間の距離  $H$  で粗さを表わす方法でこれを最大高さという。JES 機械 0601 “表面アラサ”にはこれと同様の考えで粗さが定義されている。ただ山頂に少くも 3 點以上で接する基準線から谷底までの最大距離を採用し、山頂及び谷底としてその基準線の長さの範囲内で 1 回ぐらゐしか現われぬ凹凸は除くこととしてある。また基準線の長さは粗さの程度により異なり、 $10\mu$  以下の粗さの場合には  $1\text{mm}$ 、 $10\sim 100\mu$  の場合  $3\text{mm}$ 、 $100\sim 1,000\mu$  の場合に  $10\text{mm}$  に定めてある。

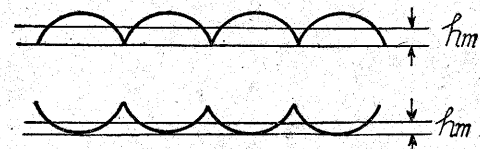
ここで基準線の長さに関連して、粗さとうねり (Waviness) について觸れておく必要がある。表面の凹凸には第 2 圖のように週期のきわめて短い粗さといわれるものと週期の大きいうねりとがある。うねりはその物體のマクロ幾何學的な形状の誤差で、平坦度、圓筒度等といわれるものにあたるので、工作上重要な項目であるが粗さとは區別して考えなければならぬ。その區別の基準として JES では上記のように基準線の長さを考えその範囲内の凹凸を粗さとしている。さて粗さを最大高さのみで表わすとすると種々不具合な場合が生ずる。例えば第 3 圖のように 2 種類の面はいずれも最大高さは等しいが面の性質は相當異つており、耐摩耗性等の點からは上の面の方がよいと思われる。そこで基準線の長さの範囲内で平均線  $A_m B_m$  を考え、この線の上下のプロファイルの部分の面積が等しくなるようにその位置を定め、この平均線からのプロファイルの各點迄の高さの絶対値の平均値  $H_m$  をとり、これを平均高さと呼んでいる。各點の高さ



第 3 圖

を  $\delta$  とすれば  $H_m = \sum |\delta| / n$  ただし  $n$  はプロファイル上にとつた點の數、なおアメリカでは E. J. Abott により提案された自乗平均高さ (Root mean square)  $H_{rms} = \sqrt{\sum \delta^2 / n}$  を用い、これを直接電氣的に測定する装置を使用している。

しかしながらこれでもなお第 4 圖のように  $H_m$  が等しい面でも物體の實質のある部分の多い面と少ない面がありこれを區別する必要が生ずるので、普通は谷底からの平均高さ  $h_m$  を用いることが行われている。<sup>2)</sup>  $h_m$  は凹凸の中で物體の實質部分の平均の高さを表わすもので、第 4 圖の凸形のプロファイルの方が凹形プロファイルより大きく



第 4 圖

なつているから粗さの程度をよく表わしているものと考えられる。なお G. Schmaltz は谷底からの平均高さと最大高さの比  $K = h_m / H$  を形状係数と名付けている。

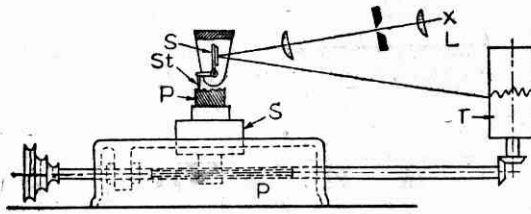
さらに單位長さあたりの凹凸の數  $n$  も考慮に入れる必要があり、アメリカの規格では  $1/n$  すなわち粗さの幅を指定するようになつている。<sup>3)</sup> 結局、粗さを簡単に表わすには  $H$ 、 $h_m$  (または  $K$ ) 及び  $n$  (又は  $1/n$ ) を用いればよいことになるが、複雑な粗さに對してはなお不十分な場合もある。

なお表面の粗さが方向によつて異なる場合には何れの方向における粗さであるかを明記する必要がある。

この外になお圖表による表示法が種々提案されているが、實用上面倒なものが多いから省略する。<sup>2)</sup>

## 3. 觸針法による粗さの測定法

觸針法の原理は第 5 圖のように測定すべき面上を針で撫でて面の凹凸によつて針が上下に動く運動を適當な方法で擴大し測定するものであつて、面のプロファイルが具體的に求められるのできわめて廣く使用されている方法である。擴大方法には 100 倍位迄の倍率の低いものには機械的方法<sup>4)</sup> が用いられるが、第 5 圖のような光挺子が最も一般に用いられ、電氣的方法や空氣マイクロメータ



第5圖 L: 光源, S: 反射鏡, St: 觸針,  
P: 試片, T: 記録ドラム

による擴大法等も種々考案されており、倍率500倍乃至2萬倍くらいのもので製作されている。

この方法で注意を要する點は針の先端の丸味、針の接觸部に働く力及び針先の磨耗である。針の先端の半徑が粗さに比し大き過ぎると針の運動は凹凸に正しく追隨せず、得られるプロフィールの記録は實際のとは非常に異つたものとなる。また接觸力が大き過ぎると針で撫でる場合に面を引掻いて傷をつけることになり、これもプロフィールの誤差の原因となる。JESの“表面アラサ”ではその解説中に第2表のような値を推奨している。針の先

第2表

アラサの範圍		0.4S~1S	2S~4S	10S 以上
觸針の先端半徑 $\mu$		3		30
測定	鋼 程 度 の 硬 質 材 料	0.06	0.6	6
	アルミニウム 程 度 の 軟 質 材 料	0.02	0.2	2

端半徑がきわめて小さいのであるから使用による磨耗もかなりいちじるしいので注意を要する。觸針としては普通蓄音器用の針を油砥石で仕上げて用いることが多い。

アメリカでは觸針の動きから電氣的に自乗平均高さを記録し或は讀み取る種々の計器が製作されているが、觸針としては多くは頂角90°で先端半徑12.5 $\mu$  (0.0005in)

第3表

加工法		自乗平均高さ <i>r. m. s.</i>
丸 削	粗 仕 上	63~2000マイクロ吋
	精 密 仕 上	8~250
溝 削	粗 仕 上	63~1000
	精 密 仕 上	32~250
形 削		32~500
研 削	粗 仕 上	32~250
	精 密 仕 上	4~32
ホーニング		1~16
ラッピング		0.2~16
超 仕 上		0.5~16
壓 延		16~250
鑄 造		250~1000
ダイキャスト		32~125

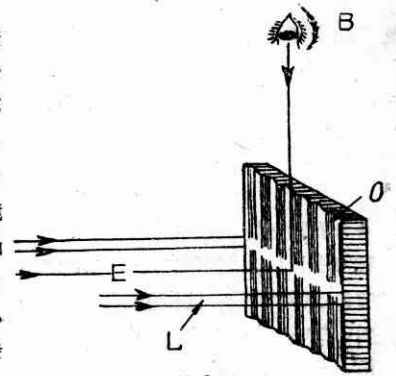
のダイヤモンドを先端に取付けて用いている。自乗平均高さは最大高さとは一定の関係がないようであるが、各種の仕上面の自乗平均高さを第3表に掲げておく。<sup>3)</sup>

觸針法で精確に表面の凹凸を記録することは前述のような各種の原因からある程度以下の粗さに對しては困難であつて、普通は數 $\mu$ 以上の粗さに、充分注意をはらつても0.5 $\mu$ 程度までの粗さの場合に使用される。

#### 4. 光切断法

G. Schmaltzの考案したもので、その原理は第6圖の

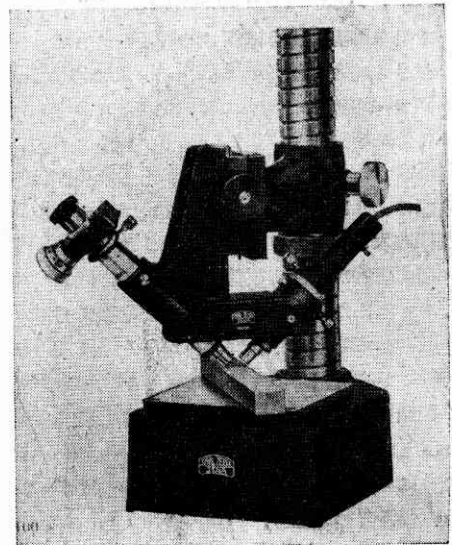
ように細いスリットの光を測定すべき面に投射しこの光の線が面を明るく照らしている部分を側方から顕微鏡で観察し面の凸凹を測定しようとするものである。この方法では顕微鏡の倍率



第6圖

を高くするとスリットがぼけやすかつ視野が狭くなる缺點があるので、普通は100倍程度のものが用いられている。したがつて餘り小さい粗さの測定は困難であるが10 $\mu$ 程度以上の測定にはきわめて便利に使用される。

普通は第7圖のように投光装置と顕微鏡を一つの枠に取付けた可搬式のもので製作されている。



第7圖

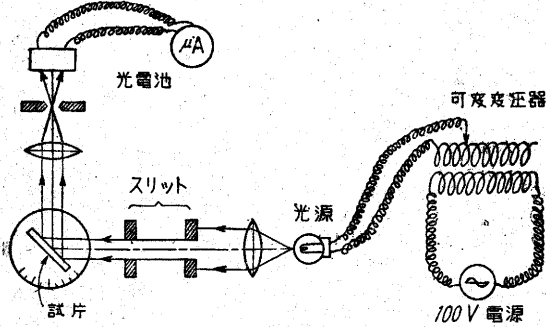
#### 5. 光干渉法<sup>5)</sup>

0.5 $\mu$ 程度以下の相當良い面(ラッピング面, 超仕上面等)の測定に用いる方法で、測定すべき面と光線定盤

との間に光の干渉縞をつくりその縞の形から粗さ及び均しさを求めようとするもので、球面等にも適用されている。ただ装置が大掛りで研究室等で使用されている程度である。

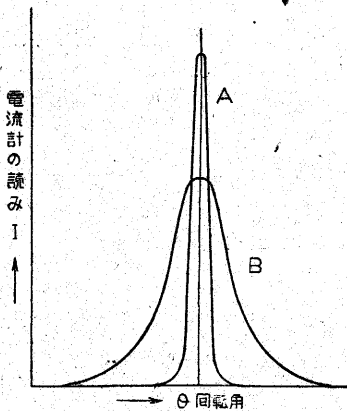
6. 光線反射法

この方法は實際の凸凹を求めるのではなく、ある面積の表面の平均的な粗さを示すもので、第8圖のように測



第8圖

定すべき表面に一定の断面積の平行光線をあて、投光軸と直角の方向に受光軸を設け、表面からの反射光線を受光軸上の光電池に受けその強さを測定する。表面に対して投光軸の角度を変えてその時の電流計の読みをとると一般には第9圖のように表面に45°の角度で投光した時を max. とする曲線が得られる。粗さが小さい時は曲線Aの様に山が鋭くなり、粗さが大きい場合にはBのように山が鈍くかつ低くなる。この反射光線の分布曲線によつて粗さを比較しようというのである。



第9圖

この分布曲線を Schmalz は電流 I の max の値  $I_0$  のところの角を原點として測つた投光角を  $\theta$  とすれば Gauss の誤差曲線のよ

$$I = I_0 e^{-a\theta^2}$$

の形で表わされるものとして、この  $a$  によつて粗さの比較を行つている

福島博士はこの反射曲線は一般には二つの部分からなり

$$I = I_1 e^{-a\theta} + I_2 e^{-\beta\theta}$$

と表わされるものとしている。この中最初の項は地膚の部分による反射で大体  $\theta = 5^\circ$  位迄で消滅し、第2項が凸

凹のややなはだしい部分からの反射であるとし、この  $\beta$  を粗さの比較値として用い  $1/\beta \times 10$  を N. F. 粗度と名づけている。<sup>6)</sup>

ところで、このようにして表わした粗さの比較値と實際の凸凹との數量的關係については多くの研究が行われているが、粗さが相當良い面でなければ兩者の間には一定の關係がないようである。JES“表面アラサ”では福島博士の實驗を基にして換算式を次のように定めている。

$$H = \frac{1}{80} N. F. \text{ 粗度}$$

筆者は面の凸凹と光線反射量の關係について理論的研究を行い、 $I = I_0 e^{-\beta\theta}$  の反射曲線を示す面の粗さは、單位長さ當りの凸凹の數を  $n$  とすれば

$$H = k \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{\beta}$$

であることを見出し、實驗によつてこれを確めた。<sup>7)</sup> ここに  $k$  は常數。

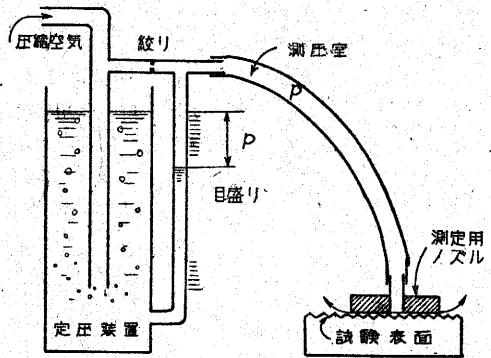
この式で  $n = \text{const.}$  とすれば福島博士の式と一致する。

なお筆者の實驗によると N. F. 粗度を用いるのは  $1\mu$  より小さい粗さの場合が良好な結果を得るようである。

7. その他の粗さの平均値測定法

ある面積内の粗さの平均値を測定する方法として種々の方法が提案されているが、その測定値と粗さの値との關係ははまだ十分明らかにされていない。

よく用いられる一つの方法に空気マイクロメータ法がある。<sup>4)</sup> これは第10圖のように空気マイクロメータの



第10圖

原理を用い、表面とノズルの測定面との間の凸凹により空気の逃げる量によつて測壓室の壓力が變動するので、これによつて粗さを表わす方法である。測定ノズルの形や大きさ及び接觸壓力等の影響があるが、これらを適當に選定すれば比較的簡単に粗さの比較ができる。軟い材料の粗さの測定等には好都合であろう。

また表面に電氣的絶緣體の層を介して電極板を接觸させ、その電氣容量を測定することによつて粗さの平均高

さを求める方法も提案されている。<sup>8)</sup>

この外鋼球を表面に一定の深さ迄押し込むに必要な力をもつて粗さの比較をする提案<sup>2)</sup>もあるが餘り實用されていないようである。

8. 表面観察法

肉眼あるいは顕微鏡で表面を観察して粗さを比較する方法もよく用いられるが、数量的な測定は不可能である。多くは仕上面の粗さの見本を備えてこれと比較して粗さを決定している。

最近電子顕微鏡を用いて表面を観察することも盛に研究されているが、粗さの測定にはなお研究を要するようである。

なお実際に切断面を造つて凸凹を顕微鏡で測定する方法もあるが、現場の測定法としては用いられない。

9. むすび

一般に使用されている粗さ測定法の中の主なものについて調査した結果を記したが、工業の進歩にともない粗さに對する要求もますます精密さを増してくるので、1μ以下の粗さの簡単な測定法の出現が強く要望される折から、本文がこの方面への関心を寄せられることについて何等かの寄與となれば幸甚である。

文 献

- 1) 日本機械規格 表面アラサ JES 機械 0601.
- 2) G. Schmalz: Technische Oberflächenkunde.
- 3) Tool Engineer's Handbook. 1949.
- 4) 佐藤健兒: 機械の研究 第2巻 第1號 p. 10.
- 5) 伊藤直, 河野公功: 東京工業大學學報 第12巻 第1號 p. 61.  
久保田廣: 應用物理 第12巻 第4號  
蓮沼 宏: 精密機械 第9巻 第12號.
- 6) 福島榮之助: 日本航空學會誌 第6巻 p. 463 第8巻 p. 107E
- 7) 詳細は近く機械學會誌に發表の豫定.
- 8) 谷口 修: 昭和 25 年 4 月, 日本機械學會にて講演.

速報 40

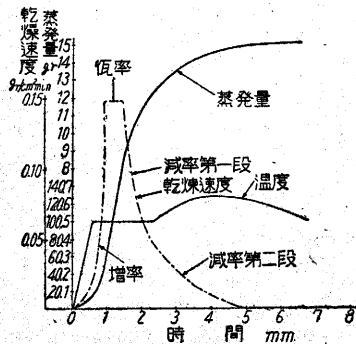
中子の高周波乾燥

千々岩 健兒 (機械)

高周波加熱装置を用いて、鑄物の中子を乾燥する試みは、すでに米國で行なわれ相當な成果をおさめているので、基礎的事項すなわち中子の乾燥過程、溫度上昇狀況、乾燥後の諸性質ならびに乾燥状態が乾燥後の性質におよぼす影響について實驗を行なつた。

試料には 50×50φ の圓筒狀試験片を選び、土岐津硅砂に適當量の水と種々の有機物を混入攪伴して作る。水の量は成型性を保つに必要な量とし、有機物は粘結剤の作用をなすものを適量用いる。使用装置は 2kW の高周波發振器で、周波数は 10Mc を用いた。兩極板の間に試料をはさみ、極板と試料を密着させるなお兩者の間に吸取紙を挿入して火花の飛ぶのを防いだ。

本實驗の結果次の諸點が明かになつた。



1. 乾燥過程は増率、恒率、減率第1段、減率第2段の四段階にわけられる。(圖参照)
2. 中心溫度は減率第一段の末頃から 100°C よりやゝ上昇する場合もあるが、100°C 以上に上らぬ場合もある。これは砂および粘結剤によつて違ふ。
3. 適當な有機物を用いた中子は強度、通氣度も良好である。植物性油は power を食わないので溫度が上らず乾燥しない。(表参照)

粘 結 剤	強 度	通 氣 度
尿素系合成樹脂 (5%)	27	420
デキストリン (2%)	22	—
可溶性澱粉 (5%)	40	—
アルギン酸ソーダ 140cp (2%)	23	450
合成樹脂 (2.5%) 澱粉 (2.5%)	50	400
合成樹脂 (2.5%) デキストリン (2.5%)	52	480
亞麻仁油 (2%)	0	—

4. 乾燥時間は、はなはだ短縮され、この場合6分で済む。
  5. 熱効率率は 10% 位である。
- 以上であるが、連続乾燥方法ならびに粘結剤の良好なものゝ発見については研究中である。(25・5・11)