

平面度 (Flatness)
& 粗糙度 (Roughness)
之關鍵大探索
應用 謝嘉原

E-mail: chiayuan@csl.com.tw

Phone: 0928-138753

目錄

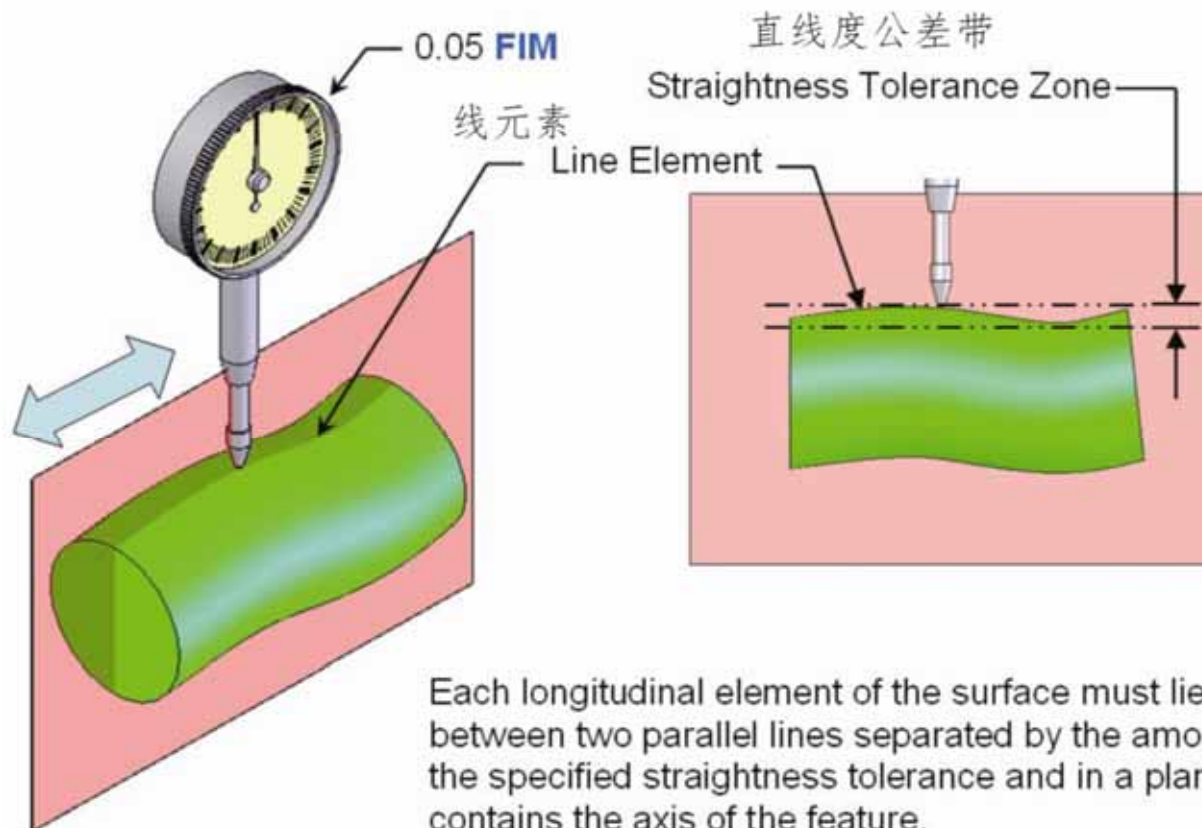
- 一、平面度解說
- 二、粗糙度解說
- 三、總結---平面度 vs. 粗糙度比較

一、表面平面度 (Surface Flatness):

- 1-1. 直線度 (二維)
- 1-2. 平面度 (三維)影響和定義
- 1-3. 平面度CAD圖指示和取點方式
- 1-4. 平面度公式

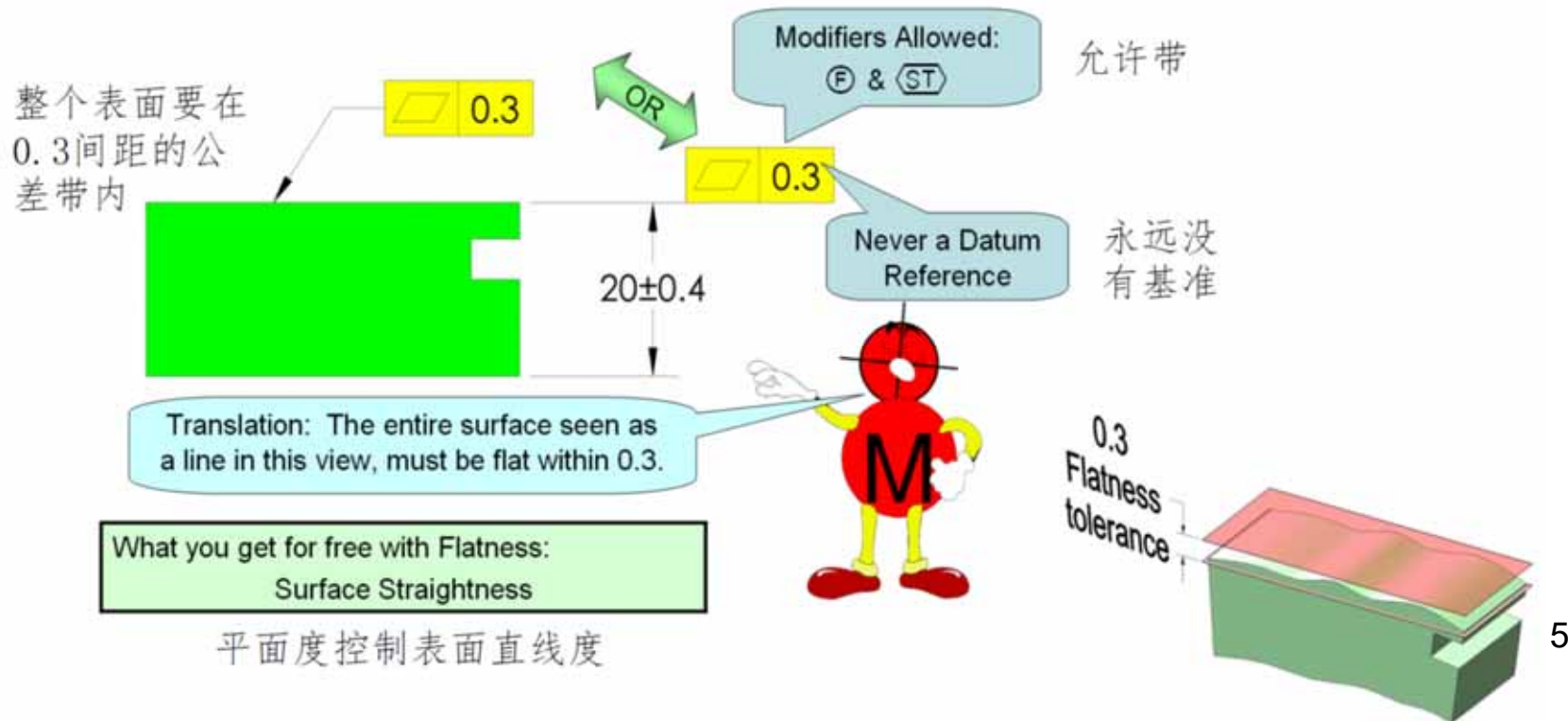
1-1. 表面直線度 (Surface Straightness)

- 直線度是二維公差帶，它由兩個相距為公差值的平行直線組成，第一直線由接觸工件表面2個最高點形成，第二直線與第一直線平行，工件內不方項與第一直線相距為公差值。

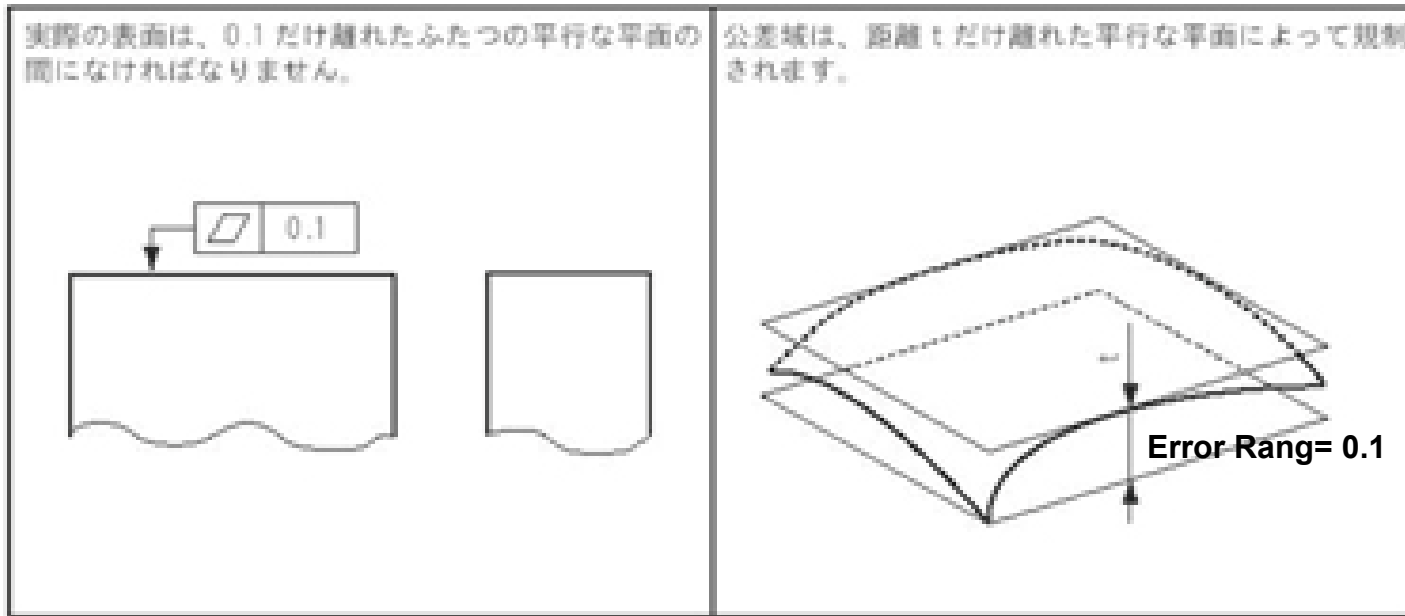


1-2.表面平面度 (Surface Flatness): 影響工件安裝位置精度和加工精度

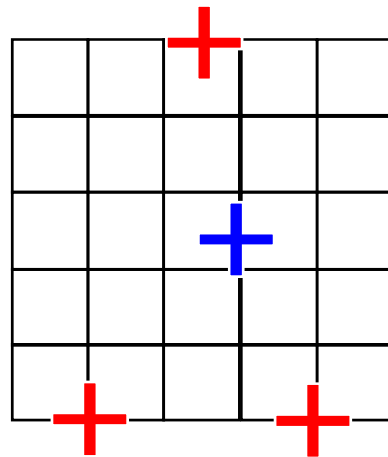
- 平面度是一個空至表面平面誤差的幾何公差。
- 平面度是三維公差帶，它由兩個相距為公差值的平形平面組成，第一平面由接觸工件表面3個最高點形成，第二平面與第一平面平行，在零件內不方向與第一平面相距為公差值。



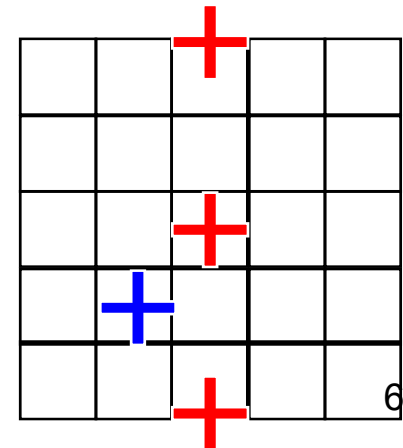
1-3. 平面度--CAD圖表示公差帶和取點



< O > 至少有三點
要在此評估平面的
較外圍處取點(紅色
十字), 再取任意一
點(藍色十字), 達
四點以上即可運算
平面度, 點數愈多
愈接近真實平面



< X > 若大多取點為
一直線則無法真正
評估出此真實平面
，或者無法運算出
平面度



1-4. 平面度公式

- 理想平面方程式： $z = Ax + By + C$
- 點到平面距離的數學模型： $\Delta F1 = \frac{Ax + By + C - z}{A^2 + B^2 + 1}$

- 所有實測點到理想平面的距離平方和為：

$$F1 = \sum_{i=1}^n \frac{(Ax + By + C - z)^2}{A^2 + B^2 + 1}$$

- 距離最小時，有A、B、C三點： $\frac{F1}{A} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Ax + By + C - z)^2}{A^2 + B^2 + 1}}{A} = 0$

$$\frac{F1}{B} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Ax + By + C - z)^2}{A^2 + B^2 + 1}}{B} = 0$$

$$\frac{F1}{C} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Ax + By + C - z)^2}{A^2 + B^2 + 1}}{C} = 0$$

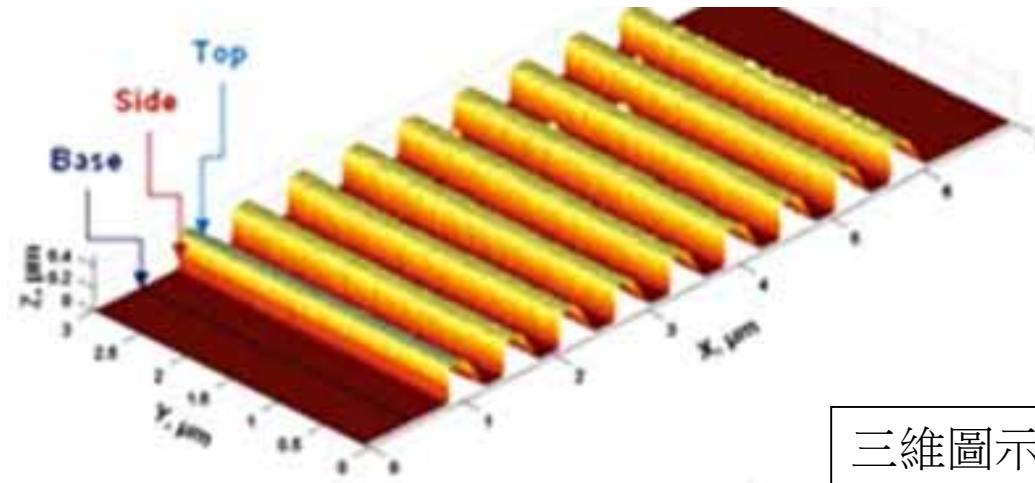
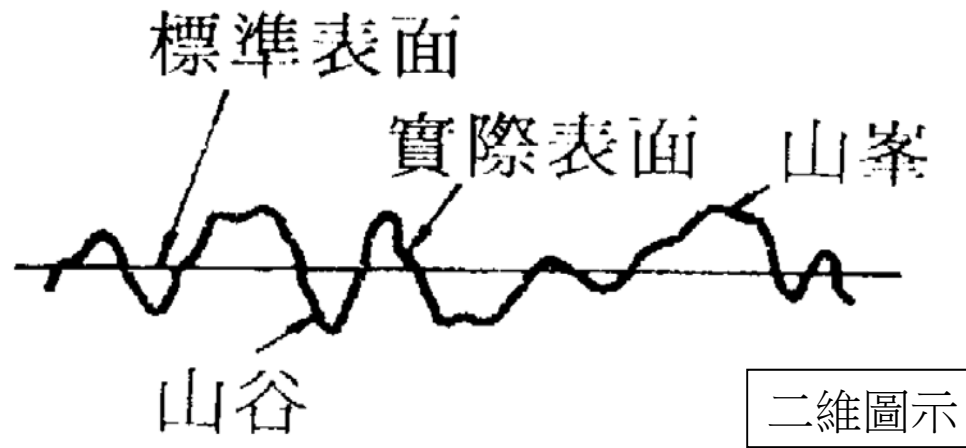
- 實際平面度公式： $F = \max \Delta F - \min \Delta F$

二、表面粗糙度 (Surface Roughness):

- 2-1. 工件影響
- 2-2. 名詞與相關定義
- 2-3. 參數種類
- 2-4. 量測方法
- 2-5. 工作圖標示
- 2-6. 參數之應用

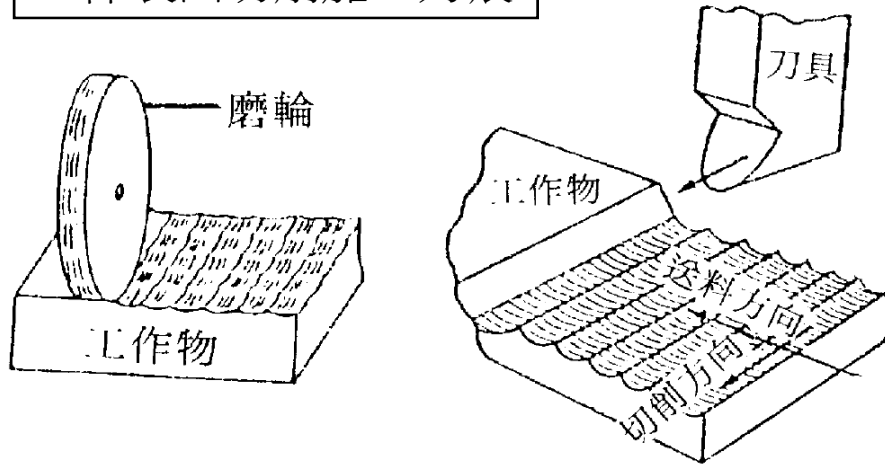
2-1. 表面粗糙度影響工件

- 滑動性
- 氣密性
- 密著性
- 外觀觸感
- 強度

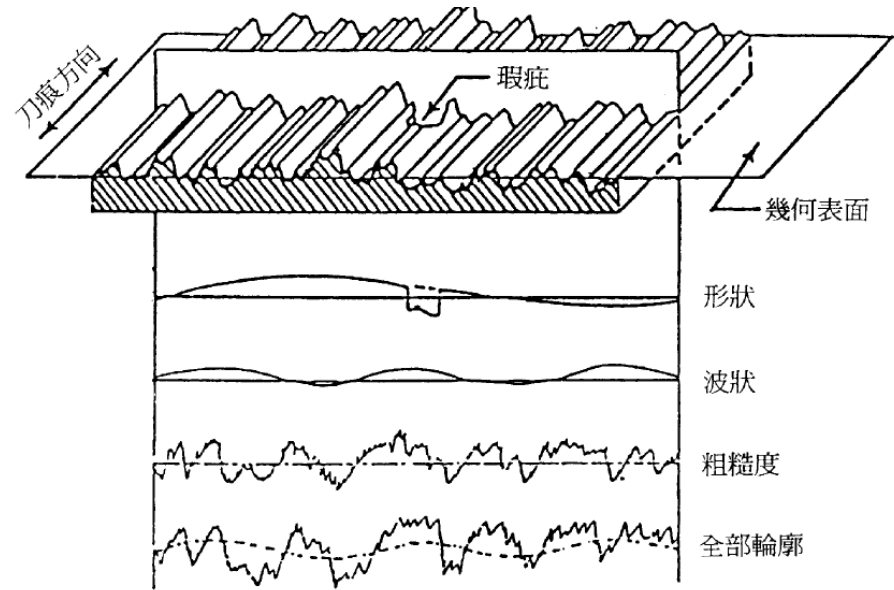


表面粗糙度影響工件

工件表面切削加工刀痕

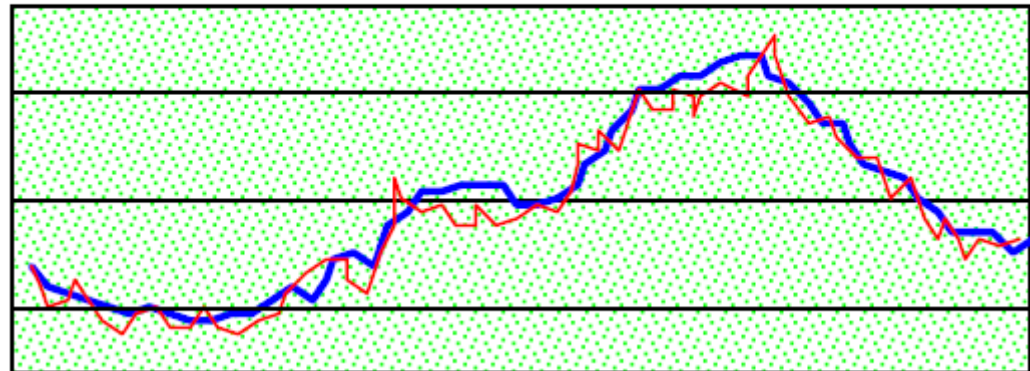
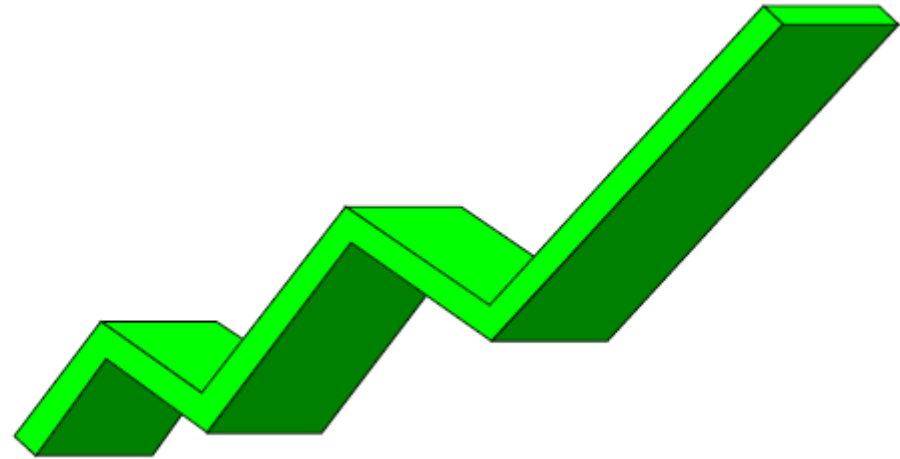


工件表面輪廓

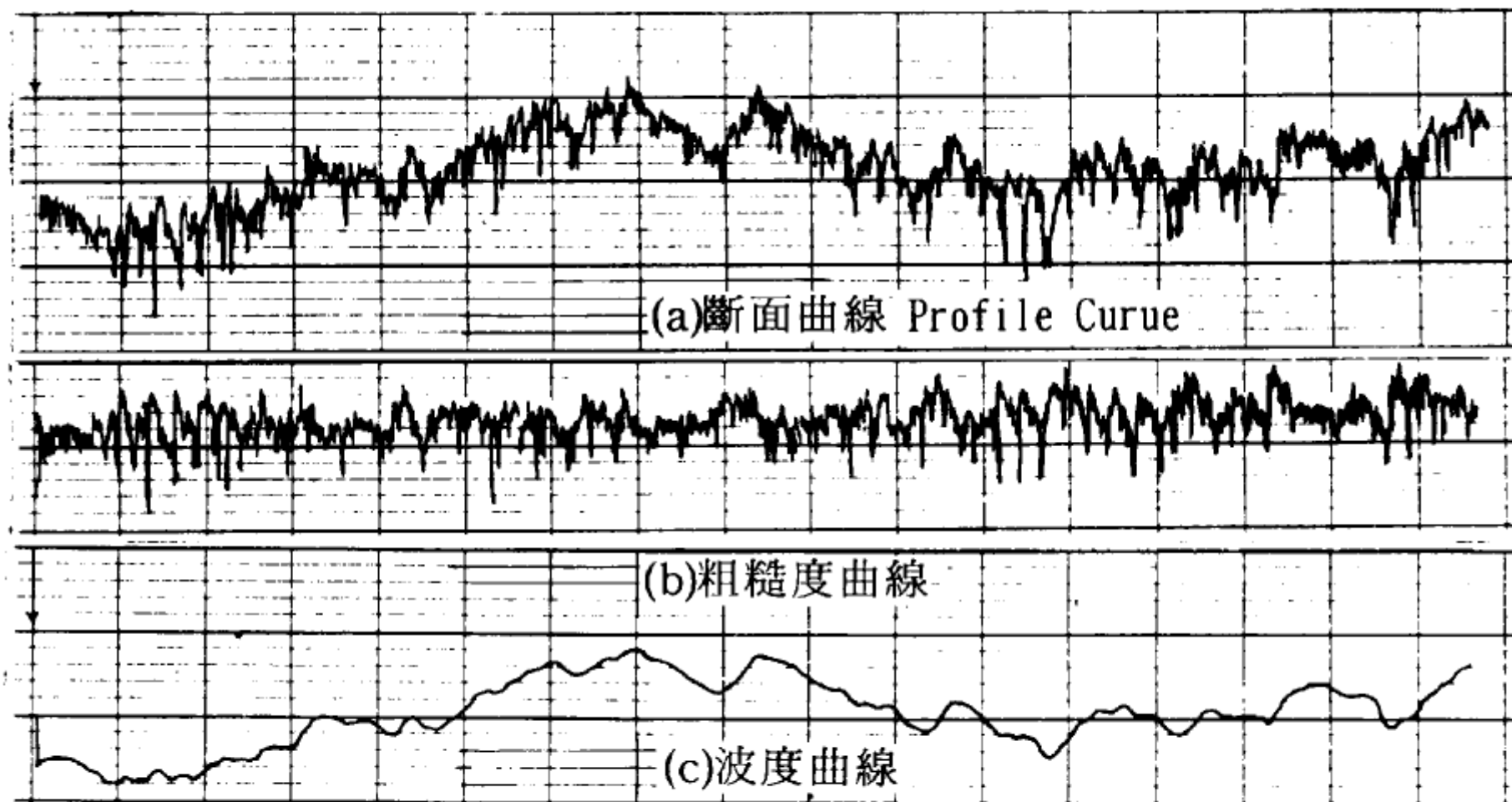


2-2. 粗糙度名詞與相關定義

- 表面輪廓曲線形式
 - > 斷面曲線
 - > 粗糙曲線
 - > 波度曲線
- 量測長度

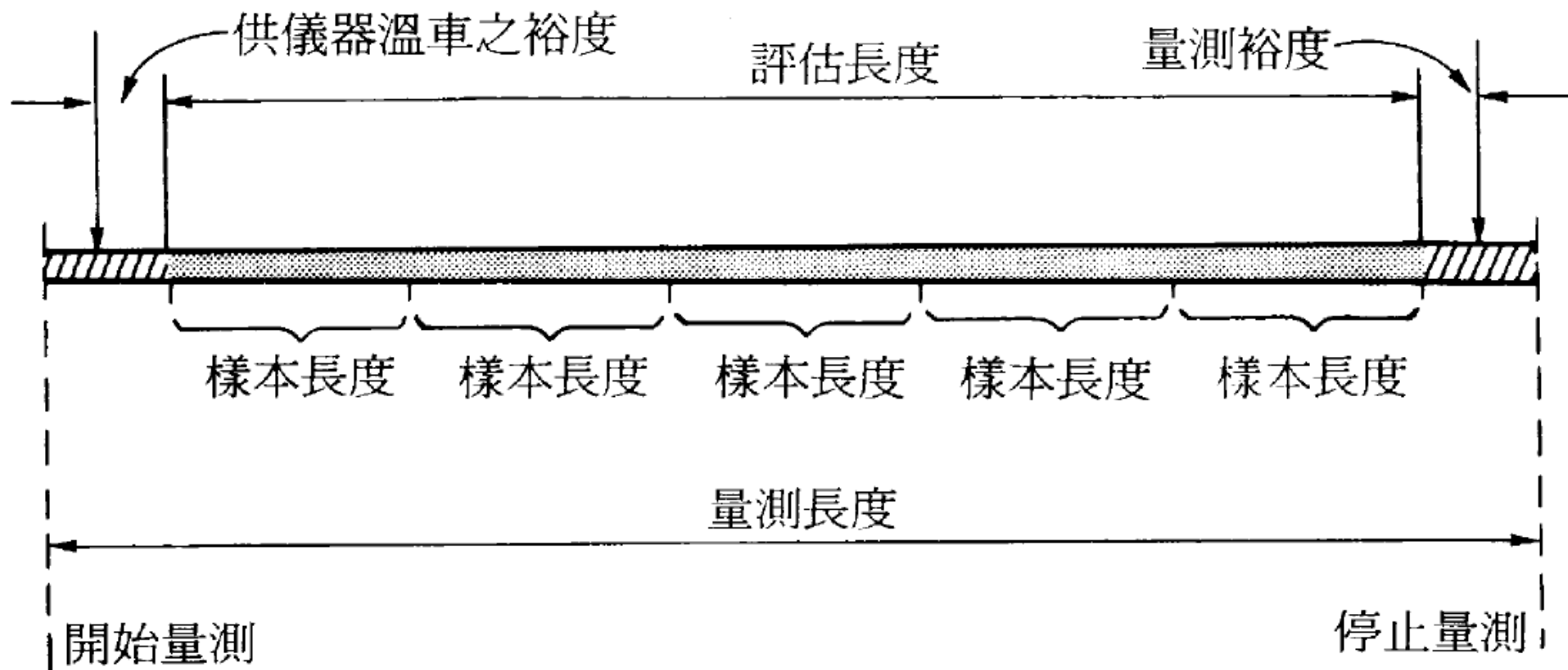


粗糙度---表面輪廓曲線



断面曲線、粗糙度及波度曲線的記錄圖形

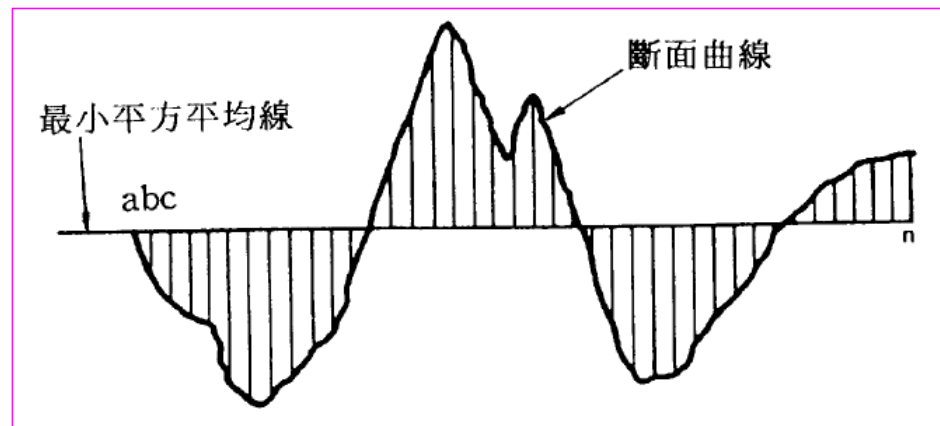
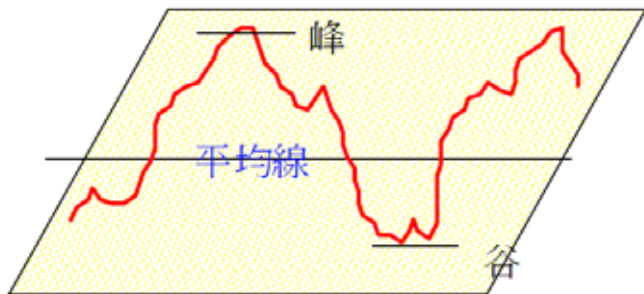
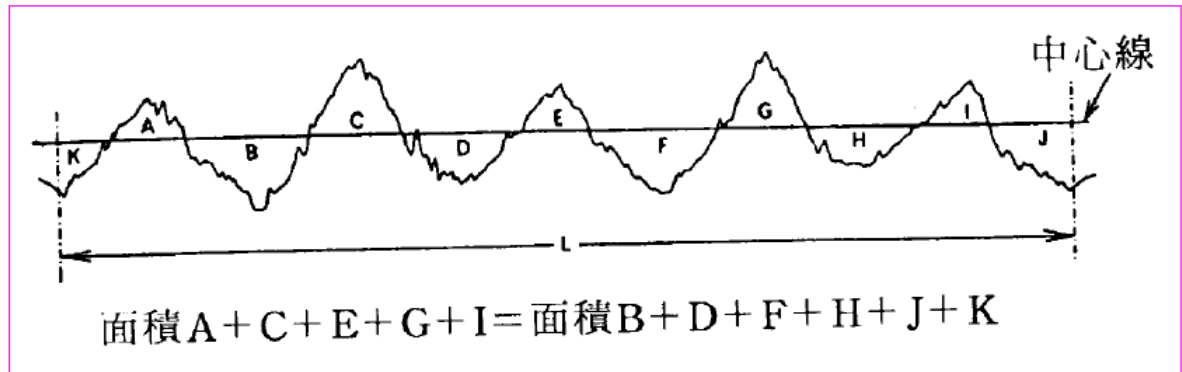
粗糙度—量測長度



樣本長度、評估長度及量測長度的關係

2-3. 粗糙度名詞與定義

- 波峰 & 波谷
- 平均線
- 中心線
- 最小平方平均線



參數	定義	詳細說明
Ra	輪廓的算數平均偏差	在取樣長度L內，被測實際輪廓上個點至輪廓中線距離絕對值的平均值
Rt [Rymax]	粗糙度最大的高度	在輪廓取樣長度L內，最大的峰到最大的谷值之和，即 $R_t = R_p + R_v$
Rz(JIS) [Rtm]	微觀不平度十點平均高度	該參數也成為ISO試點高度參數，在取樣長度L內，五個最大的輪廓峰和五個最大輪廓谷之間的平均高度
	以上三種粗糙度的關係為 $4 Ra \doteq R_{ymax} \doteq R_{tm}$	
R3y	粗糙度峰-谷高度	R3y是靠計算在每一個取樣長度中，三個最高的峰與三個最深的谷之間的最小距離值後，再從這些值中找出最大值。建議至少用5個取樣長度來評定
R3z	平均峰-谷高度	R3z是在整個評價長度L上，在每一個取樣長度上的三個最高峰和三個為深谷之間的垂直距離的平均值
Rv	最大的谷值	在取樣長度L內，從輪廓中線到最低的谷值
Rp	最大的峰值	在取樣長度L內，在平均線以上的輪廓的最大高度
Rc	輪廓要素的粗糙度平均高度	在取樣長度L內，輪廓要素的高度之平均值
Rda	粗糙度算數平均傾斜Slop	在取樣長度L內，輪廓變化速率的絕對值的算數平均
RΔq	粗糙度均方根傾斜	

參數	定義	詳細說明
Rku	粗糙度峰度之概率密度函数	指輪廓峰態
Rlo	粗糙度被測的輪廓長度	在評價長度內，輪廓表面的被測長度L，即是測針在測量其間，滑過表面峰谷的總長度
Rmr	粗糙度材料比曲線	
Rpc	粗糙度峰計數	
Rsm	粗糙度輪廓要素的平均寬度	在取樣長度L內，輪廓要素之間在平均線的平均間距
	Rsm平均寬度指波峰到波谷的平均寬度數值越大，表示越平粗糙度越好（越平）	
Rvo	粗糙度測定體積的油保持力	
Rs	粗糙度局部峰的平均間距	
Rq	均方根粗糙度	
RHSC	粗糙度高點計數	

PS1: 表面粗度的取得是從對象物表面中隨機獲取的算數平均值。

PS2: 中心線平均粗度（Ra75）之定義請見JIS B 0031和JIS B 0601

PS3: 粗糙度幾何平均值又稱為均方根粗糙度(Rms)

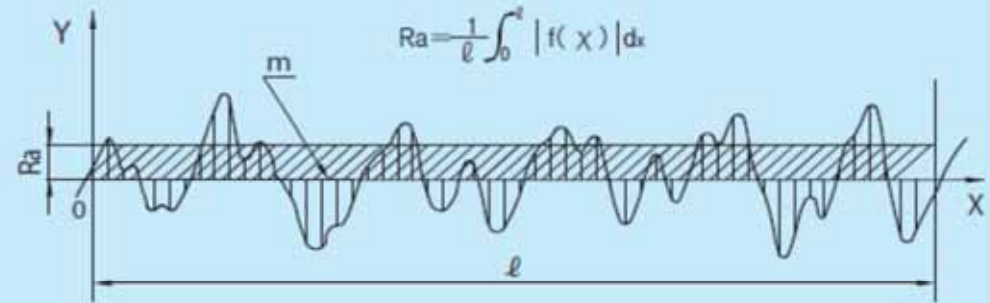
參數評估分類

- 與高度方向有關
→ R_a ; R_z ; R_q ; R_{max}
- 與間隔方向有關
→ S_m ; λ
- 與分佈狀況有關
→ D_q ; T_q

代表性表面粗度求法：

算數平均粗度 Ra

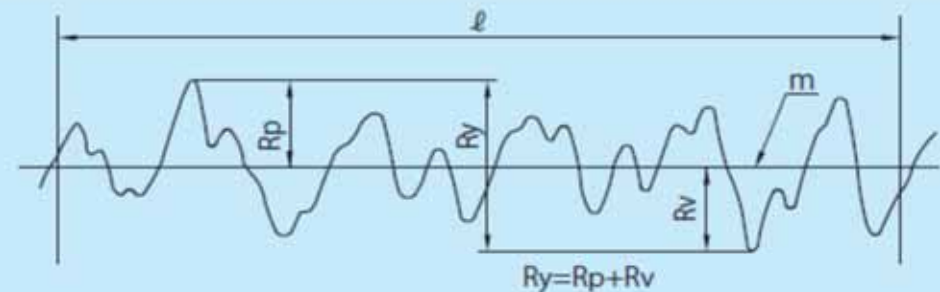
從粗度曲線圖的平均線方向取樣一段標準長度，取樣部分平均線方向設X軸，縱倍率設Y軸，當粗度曲線 $y = f(x)$ 時可由右邊之公式求得其微米 (μm) 值。



最大高度 Ry

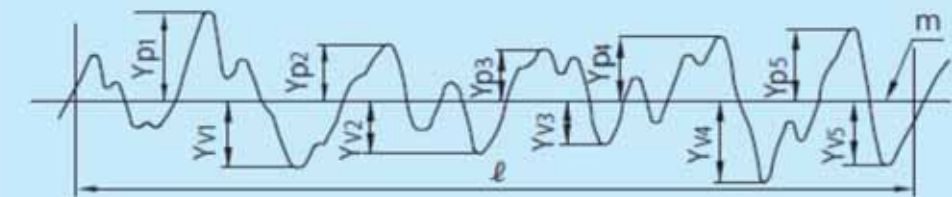
從粗度曲線圖的平均線方向取樣一段標準長度，從樣本線段中的山頂線及谷底線間以粗度曲線的縱倍率方向測定。其單位以毫米 (μm) 計算。

備註 計算Ry值時，取樣標準長度時，應避免取山頂和谷底等過高或過低的刮痕部分。



十點平均粗度 Rz

從粗度曲線圖的平均線方向取樣一段標準長度，將樣本線段的平均線以縱倍率方向測定，求出最高山頂到第5山頂的標高 (Yp) 絕對值之平均值及最低谷底到第5谷底的標高 (Yv) 絕對值之平均值的和，其單位以毫米 (μm) 計算。



$$Rz = \frac{|Yp1 + Yp2 + Yp3 + Yp4 + Yp5| + |Yv1 + Yv2 + Yv3 + Yv4 + Yv5|}{5}$$

$Yp1, Yp2, Yp3, Yp4, Yp5$: 取樣的標準長度 l 中，最高山頂到第5個山頂之標高

$Yv1, Yv2, Yv3, Yv4, Yv5$: 取樣的標準長度 l 中，最低谷底到第5個谷底之標高

2-4. 粗糙度定義與表示一

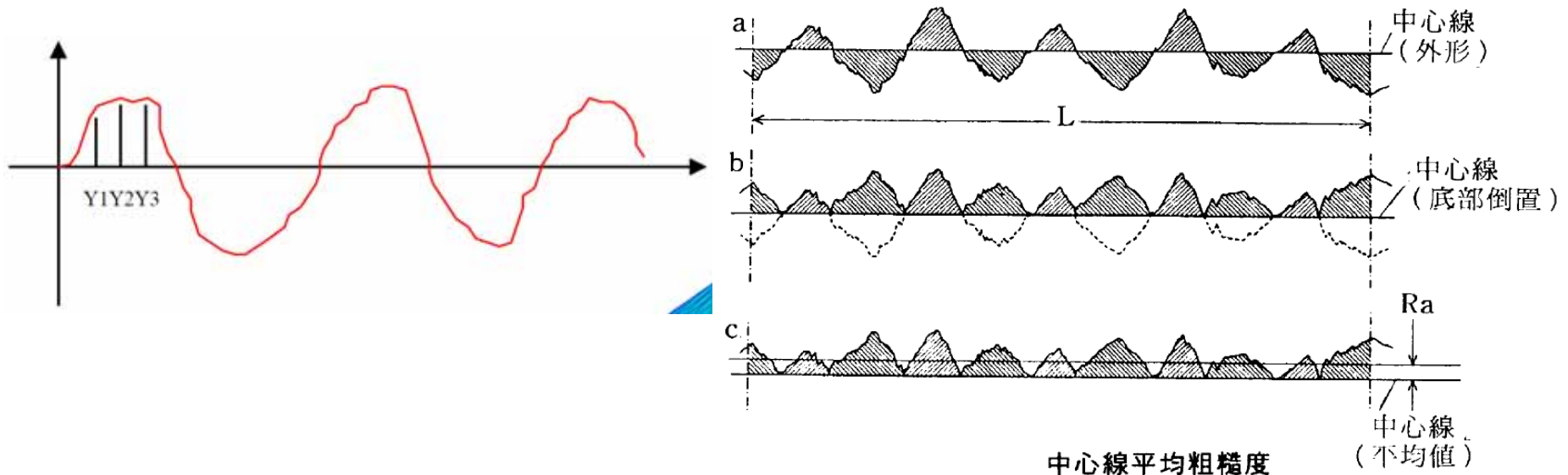
中心線平均粗糙度(Ra)

✓ 整個樣本長度上中心線距離外形偏差值算術平均

$$Ra = (|Y_1| + |Y_2| + \dots + |Y_n|) / n$$

✓ 切斷值選用

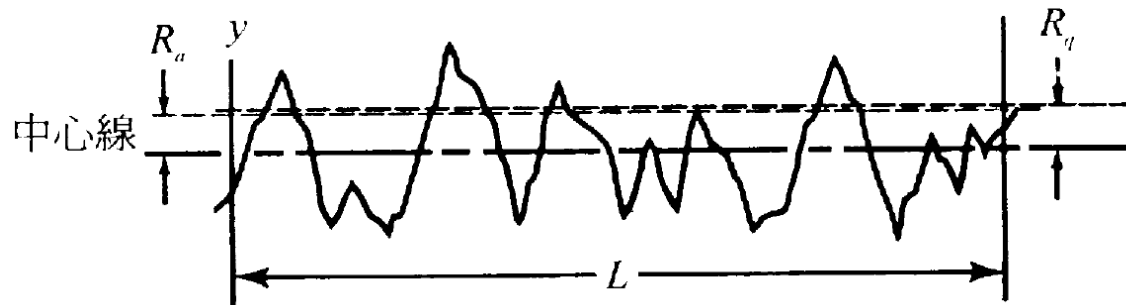
依CNS定Ra=12.5μm以下用0.8 mm (Pitch X_{Y1,2})



粗糙度定義與表示一

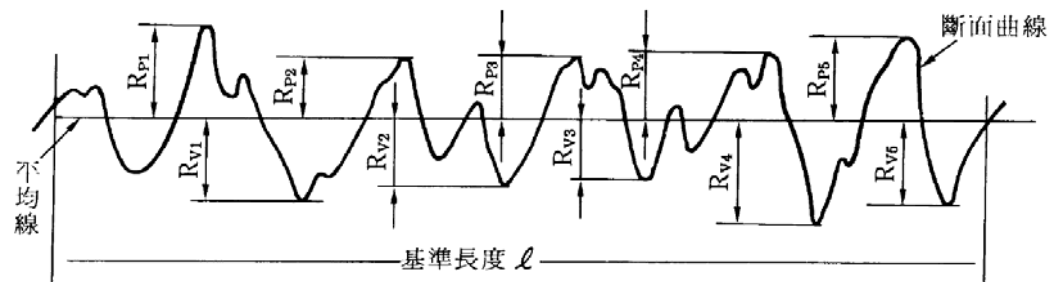
- 平方平均值粗糙度 (**Rq**)
- ✓ 整個樣本長度上中心線距離外形偏差值幾何平均

$$Rq = [(Y1)^2 + (Y2)^2 + \dots + (Yn)^2 / n]^{1/2}$$



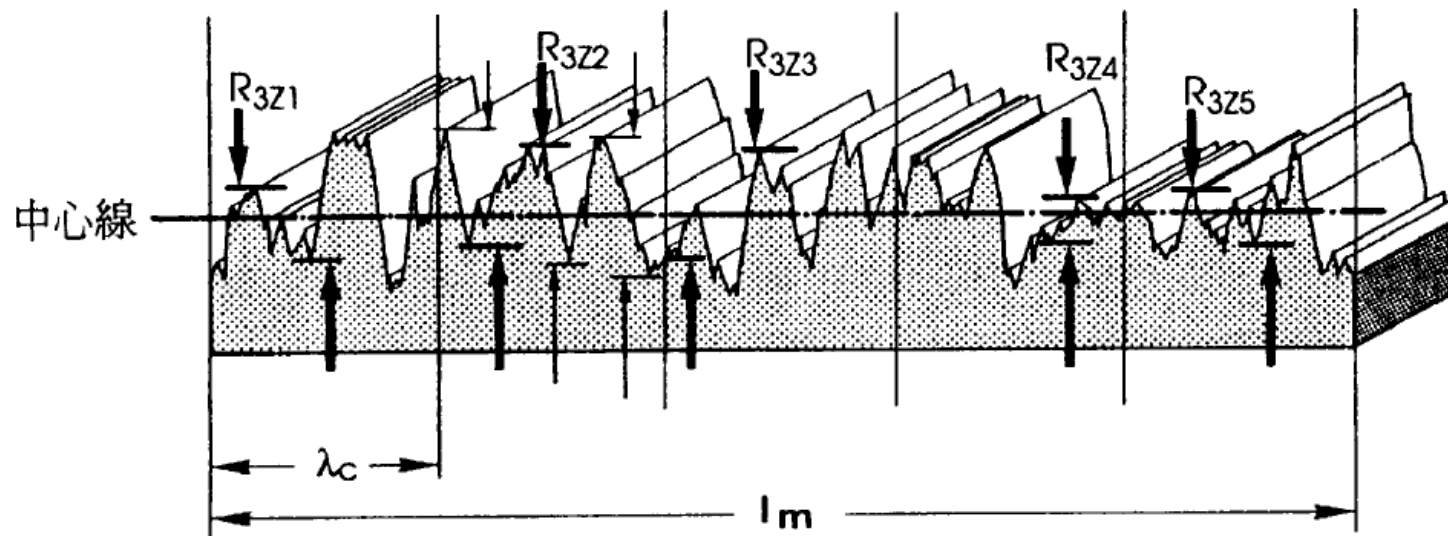
- 十點平均粗糙度 (**Rz**) [ISO; JIS]; (**Rtm**) [DIN]
- ✓ 樣品長度上平行平均線取5點峰值減去5點谷值之平均

$$Rz = [(Yp1 + Yp2 + \dots + Yp5) - (Yv1 + Yv2 + \dots + Yv5)] / 5$$



粗糙度定義與表示一

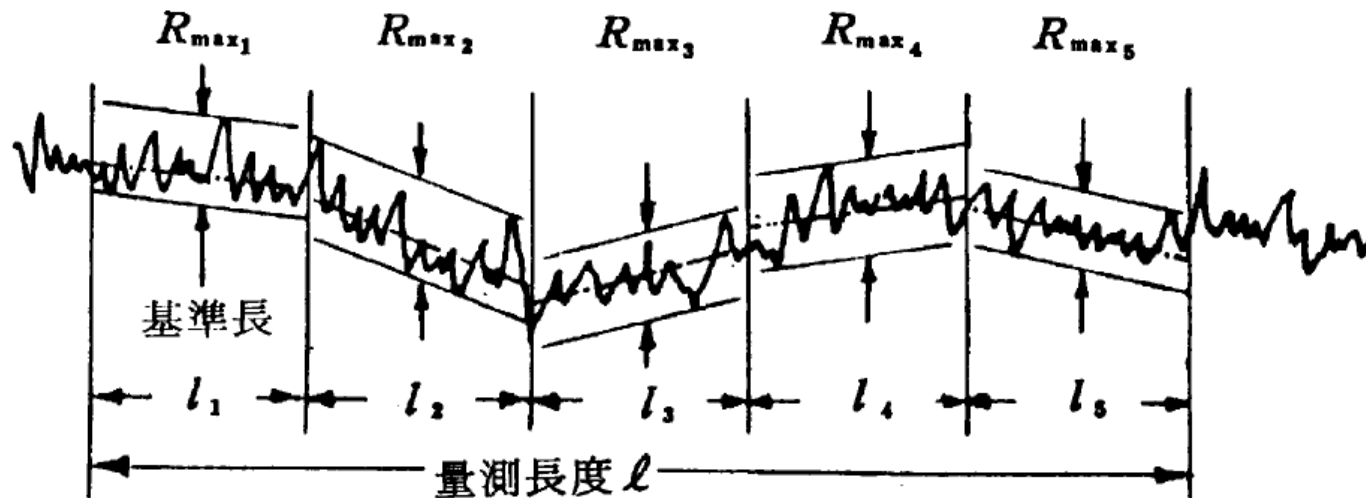
- 第三平均粗糙度(**R3z**) [CNS]
- ✓ 樣本長度上平行平均線取取5點第3高峰值減去第3低谷值
 $R_{3z} = [(Y_{p3}) - (Y_{v3})]$



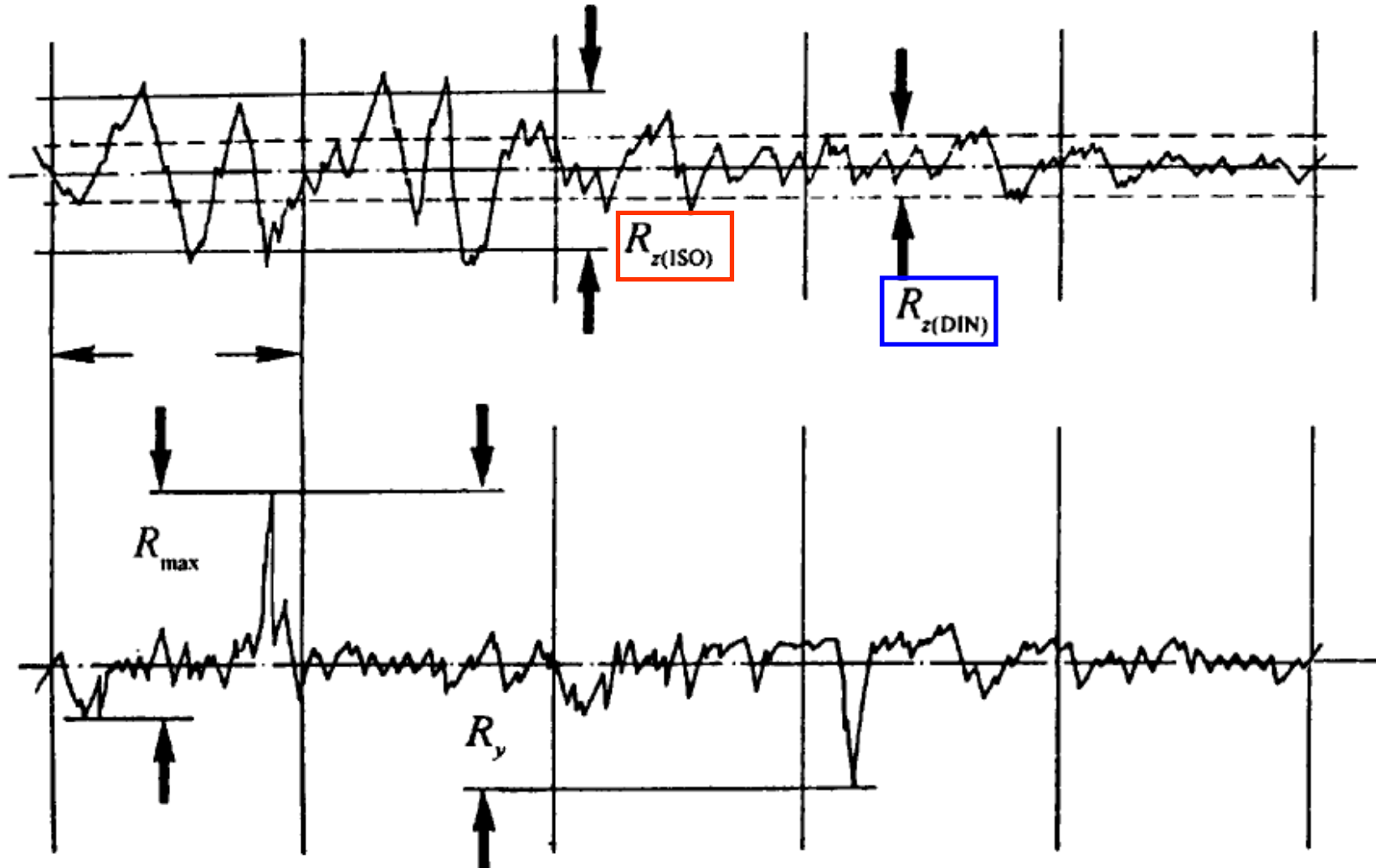
$$R_{3z \text{ (DIN)}} = \frac{R_{3z1} + R_{3z2} + R_{3z3} + R_{3z4} + R_{3z5}}{5}$$
$$R_{3z \text{ (JAPAN)}} = R_{3zi}, \text{ 此處 } i = 1, 2, 3, 4, 5$$

粗糙度定義與表示一

- 最大高度粗糙度(**Rmax** [DIN]); (**Ry** [ISO; JIS])
- ✓ 樣品長度上各基準長度內最高峰與最低谷之和
[$R_{max}=(R_{max1}+R_{max2}+.....)/N$; $R_y=Y_{max}-Y_{min}$]
- >粗糙度值比較: **4Ra Rz Rmax**
- >>粗糙度值表示: CNS [Ra; R3z; Rmax];
JIS [Ra; Rz; Ry]



Rz(Rmax)在[DIN]和[ISO]之差異



各國粗糙度表示範例

項目	ISO	阿根廷	澳大利亞	奧地利	比利時	加拿大	捷克	丹麥	芬蘭	法國	東德	西德	匈牙利	義大利	日本	荷蘭	波蘭	羅馬利亞	西班牙	瑞典	瑞士	英國	美國	蘇俄	南斯拉夫
1 中心線平均粗糙度	R_a	h_m	R_a	R_a	R_a	$R_a(1)$	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	R_a	h_m	R_a	R_a	R_a	$R_a(1)$	R_a	R_a
2 粗糙度幾何平均值		R_G										R_{oq}	h_q						h_{me}						
3 最大波峰至波谷粗糙度 (2)	R_y			R_t	R_{max}		R_{max}	R_{max}	R_{max}	R_t	R_t	R_t	R_{max}		R_{max}			R_{max}		R_{max}				R_{max}	R_{max}
4 十點平均粗糙度	R_z				R_z		R_z	R_z	R_z		R_z				$R_z(3)$			R_z		R_z		R_z		R_z	R_z
5 平均波峰至波谷粗糙度		h_{pl}								R				R					H						
6 平均波峰間距										A_R	A_r	A_r												S S_m	k
7 瑞典不規則高度								R												$H(4)$					
8 承壓比值				t_{ap}						$(T_r)_c$		t_p					t_c t_p			K_B				t_p	P_n
9 水平高度								R_u		R_p	R_p	R_p	R_i	R_c											
10 波紋高度				W						W		W	W				W_2								

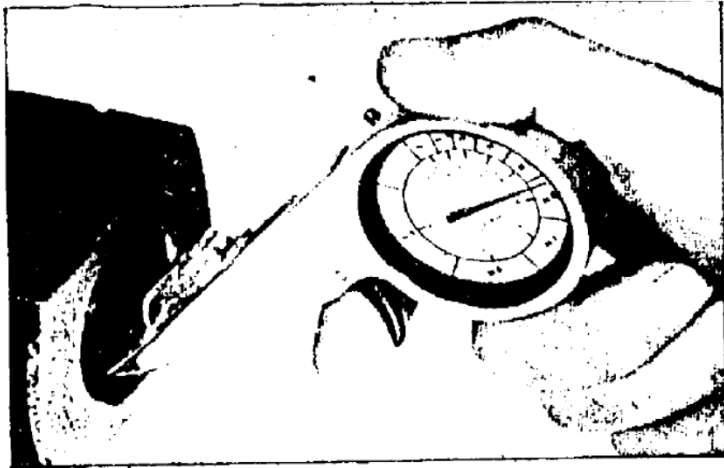
注意：(1) 以前稱之為 AA 或 CLA。
(3) 第三點高度。

(2) R_{max} 最近可能被 R_y 所取代。
(4) 為以前主要參數，現今仍採用。

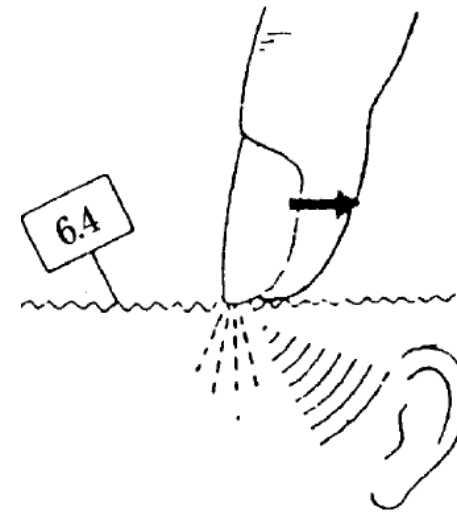
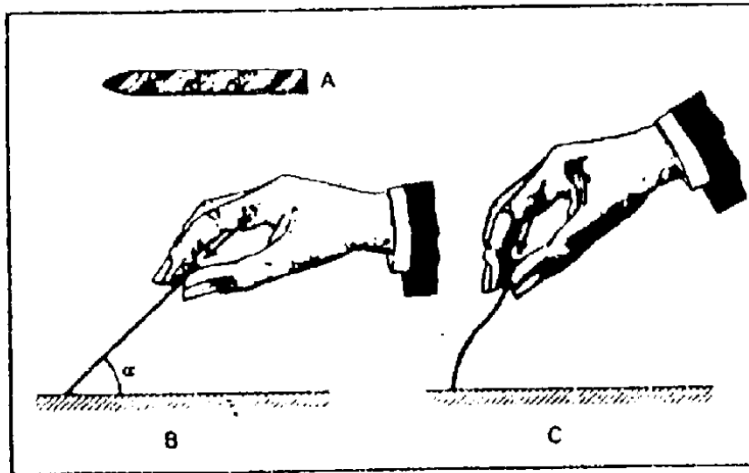
2-5. 粗糙度量測方法

- 接觸式：
 - 比較樣品法---刮磨法 & 感覺法
 - 粗糙度儀
- 非接觸式：
 - ✓ 光線切斷法
 - ✓ 光線反射法
 - ✓ 光波干涉法

比較樣品法---刮磨法 and 感覺法

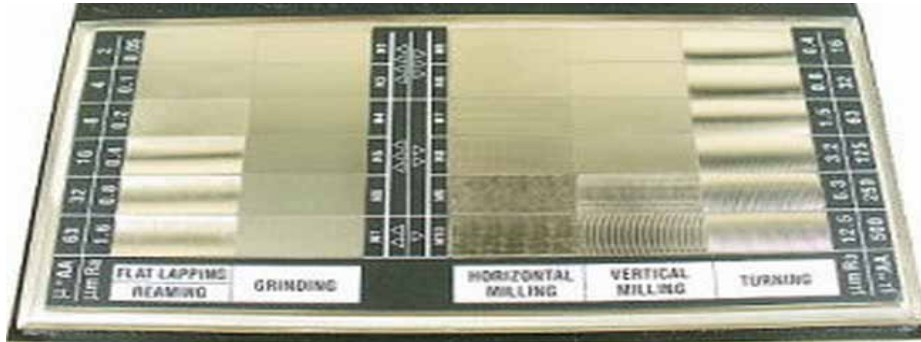


(a)手指頭觸覺法



(b)指甲刮覺法

刮磨法和感覺法---粗糙度比較板



公制
 拋光 Ra : 0.05、0.1、0.2μm
 圓磨 Ra : 0.4、0.8、1.6μm
 平面研磨 Ra : 0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.6μm
 臥銑 Ra : 0.4、0.8、1.6、3.2、6.3、12.5μm
 立銑 Ra : 0.4、0.8、1.6、3.2、6.3、12.5μm
 車削 Ra : 0.4、0.8、1.6、3.2、6.3、12.5μm
 全部共30片合一

➤粗糙度標準片量測範圍(CNS10793)

粗糙度區分値		0.025 a	0.05 a	0.1 a	0.2 a	0.4 a	0.8 a	1.6 a	3.2 a	6.3 a	12.5 a	25 a	50 a
表面粗糙度範圍 ($\mu m R_a$)	最小値	0.02	0.04	0.08	0.17	0.33	0.66	1.3	2.7	5.2	10	21	42
	最大値	0.03	0.06	0.11	0.22	0.45	0.90	1.8	3.6	7.1	14	28	56
粗糙度編號		N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12

粗度儀

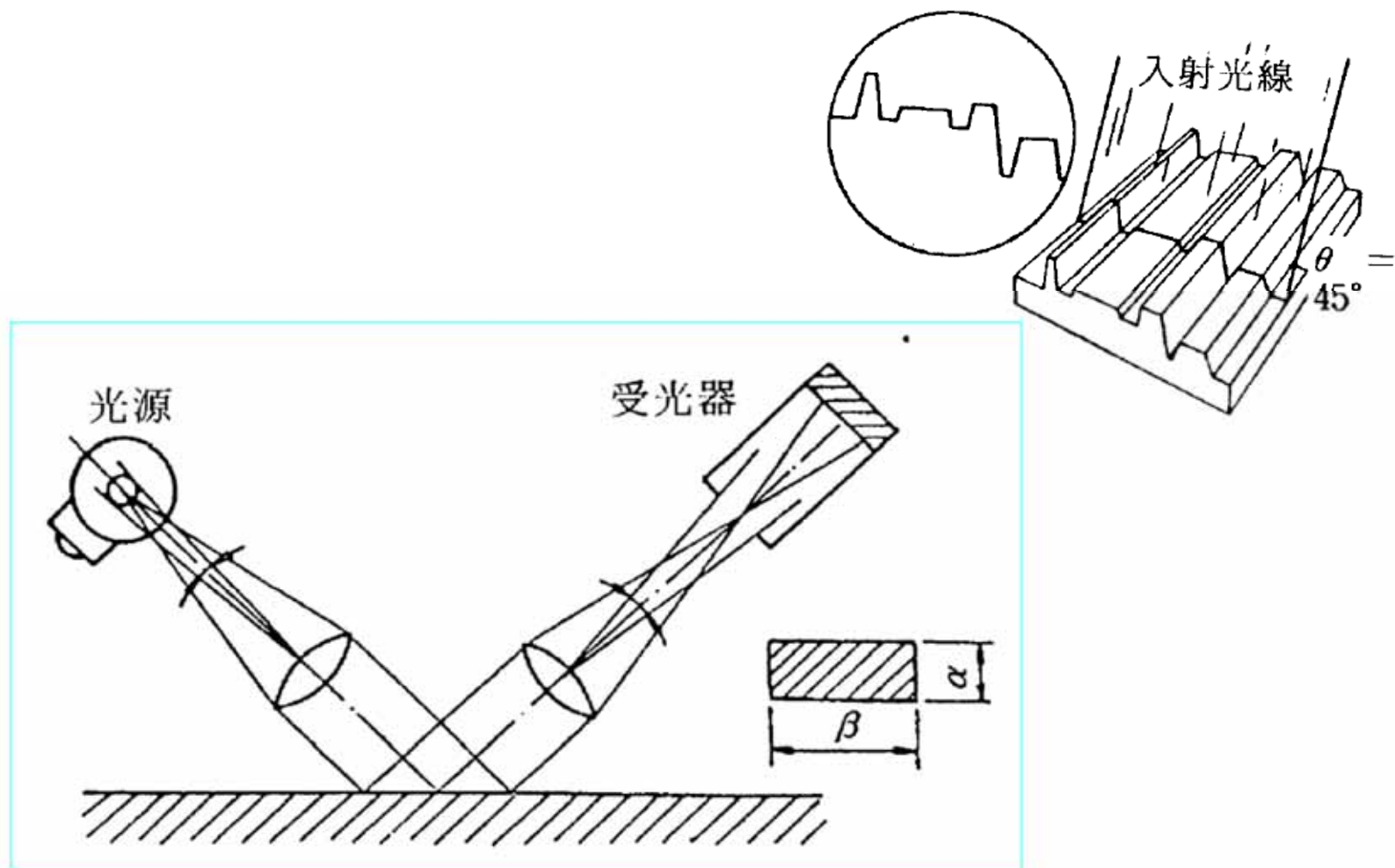
粗糙度儀



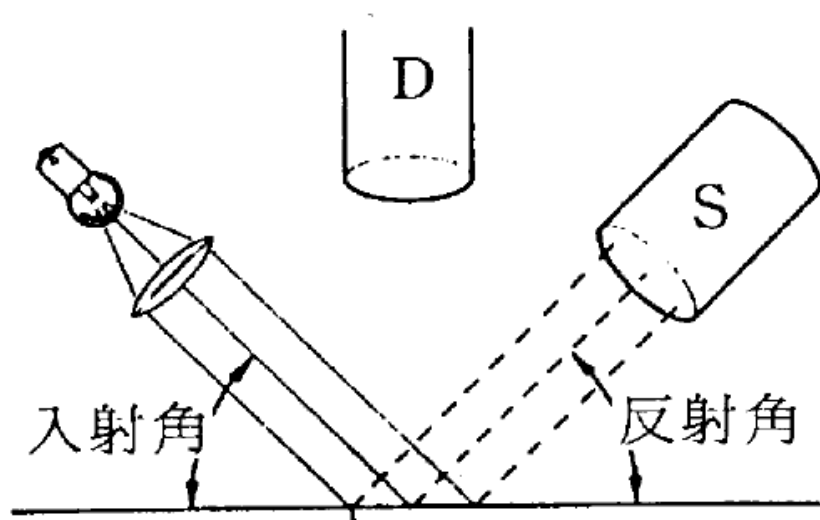
噴砂粗度儀



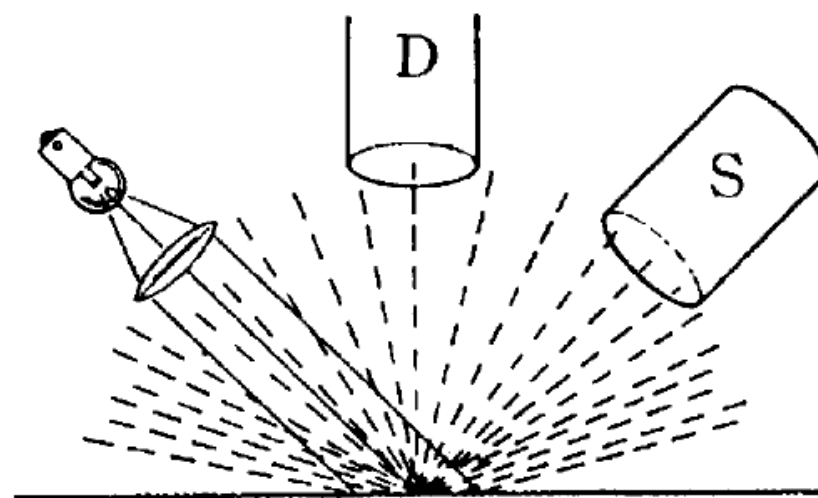
光線切斷法



光線反射法

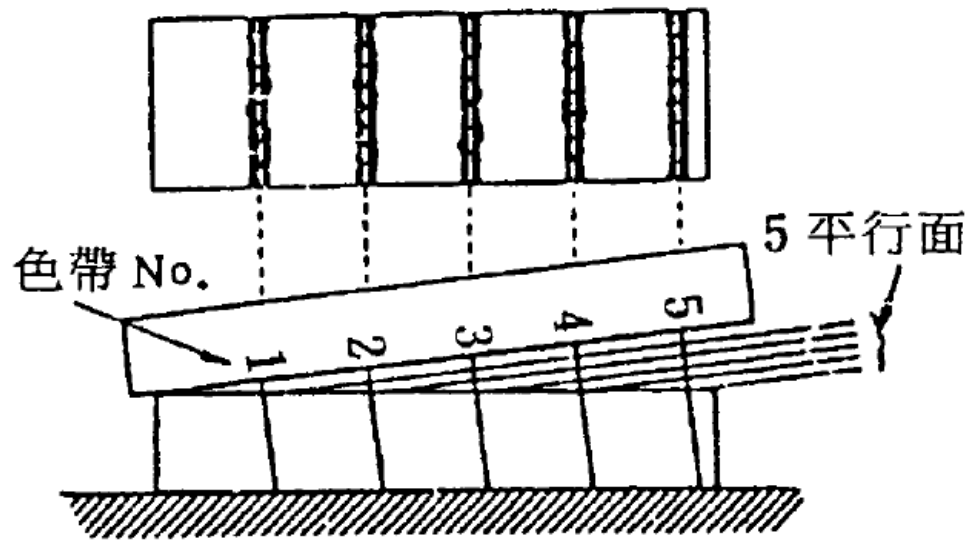


(a) 鏡面反射

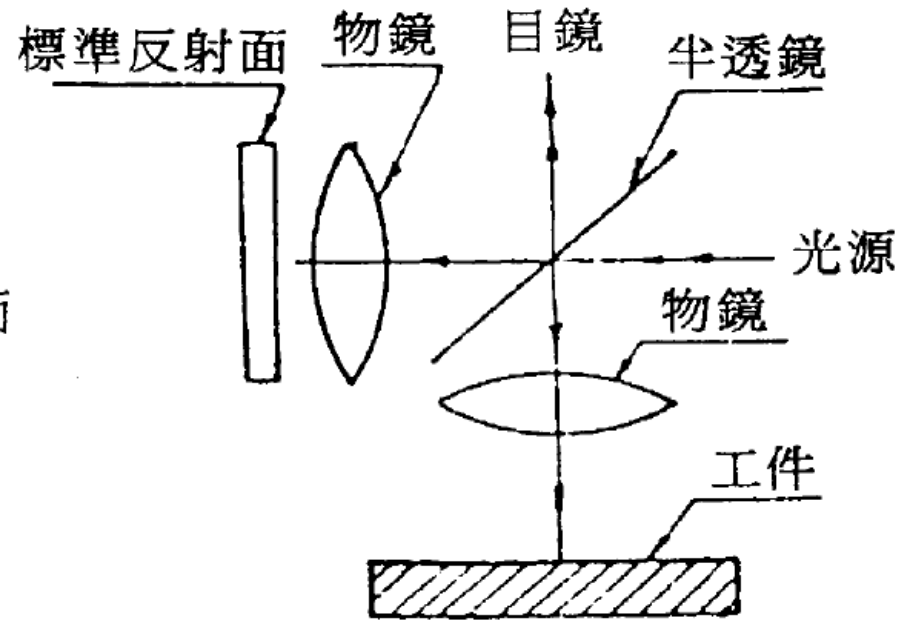


(b) 擴散反射

光波干涉法



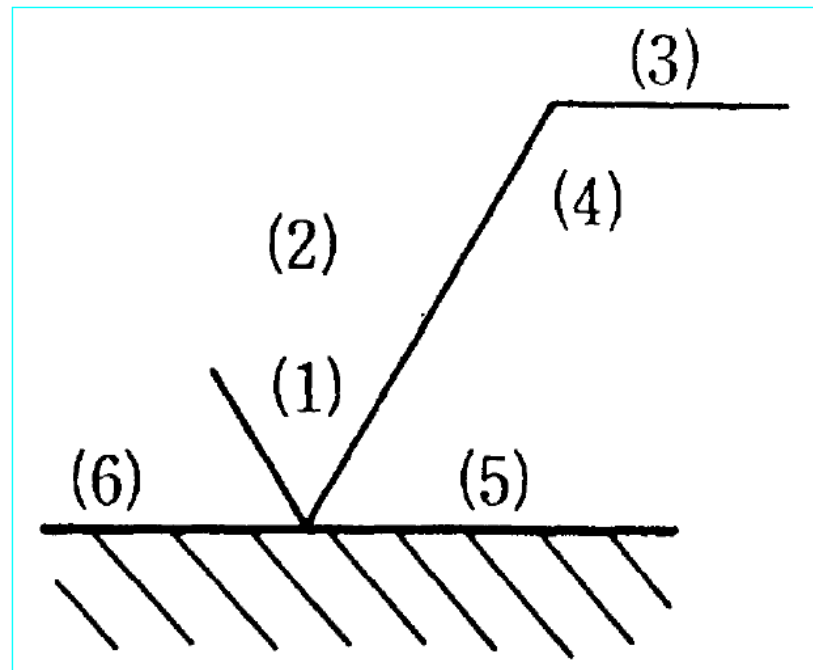
(a) 光波干涉原理



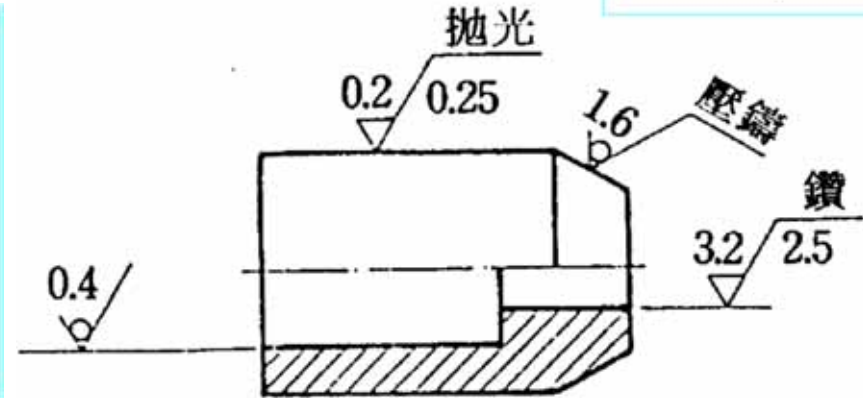
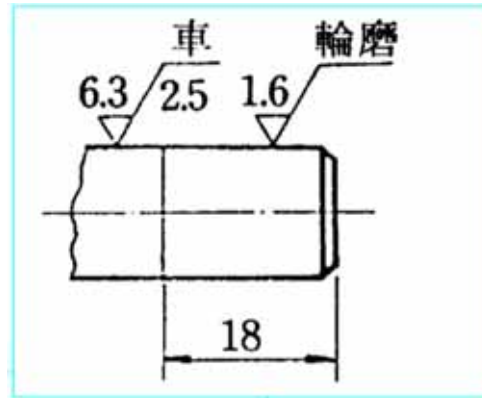
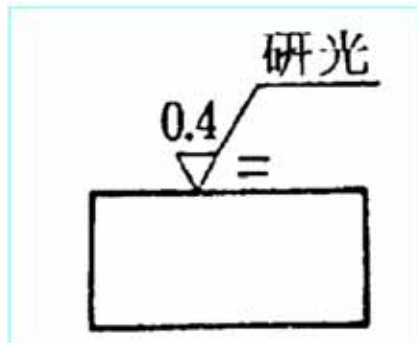
(b) 二光線干涉方式

工作圖標示

- 1) 切削加工符號
- 2) 表面粗糙度
- 3) 加工方法代號
- 4) 基準長
- 5) 刀痕方向符號
- 6) 加工裕度

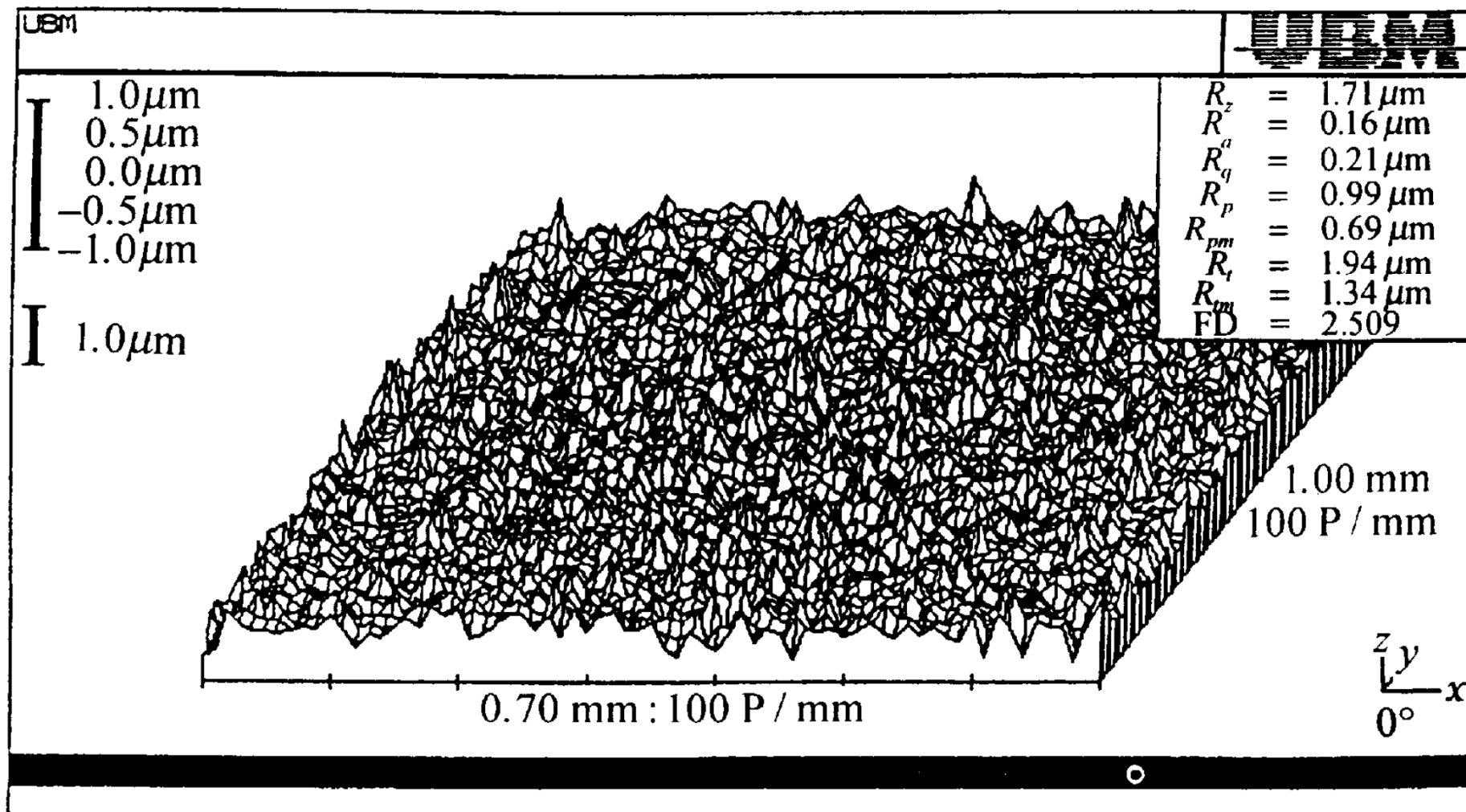


工作圖標示方法



形別(符號)	紋向	圖示	形別(符號)	紋向	圖示
平行 (=)			多重方向 (M)		
垂直 (⊥)			圓形 (C)		
十字 (×)			輻射 (R)		

粗糙度3D圖形



2-6. 粗糙度參數之 應用

粗糙度相關機能-氣密度 表面粗糙度間の間距造成的洩漏

對於無相對運動的密封表面，微觀不平度的波谷過深，則受預壓後的密封材料不能完全填滿而留有縫隙，造成洩漏，表面越粗糙，洩漏越嚴重。對於有相對運動的密封表面，其微觀不平度一般為 $4\sim 5\mu\text{m}$ ，用以儲含潤滑油較為有利，如表面太光滑，不利於儲存潤滑油，反而會引起摩擦磨損。此外，密封性的好壞也和加工紋理方向有關。相對應的參考粗糙度參數： R_p 、 R_{pk} 。



相對應的參考粗糙度參數： R_p 、 R_{pk}



粗糙度相關機能-**摩擦力**

表面粗糙度局部波峰所引起的阻滯力



相對應的參考粗糙度參數：**R q**

粗糙度相關機能-**摩擦**

物件滑動運轉時對於粗糙度區域集中消滅負荷需求



加工後的零件表面，由於存在峯谷，使接觸表面祇是一些波峯接觸，因而減少了實際接觸面積，使得壓力強度增大，磨損加劇。相對應的參考粗糙度參數 R_{mr} 、 R_{sk} 、 R_{vk} 、 $R\Delta q$ 。



相對應的參考粗糙度參數： **R_{mr}** 、 **R_{sk}**

粗糙度相關機能-潤滑性

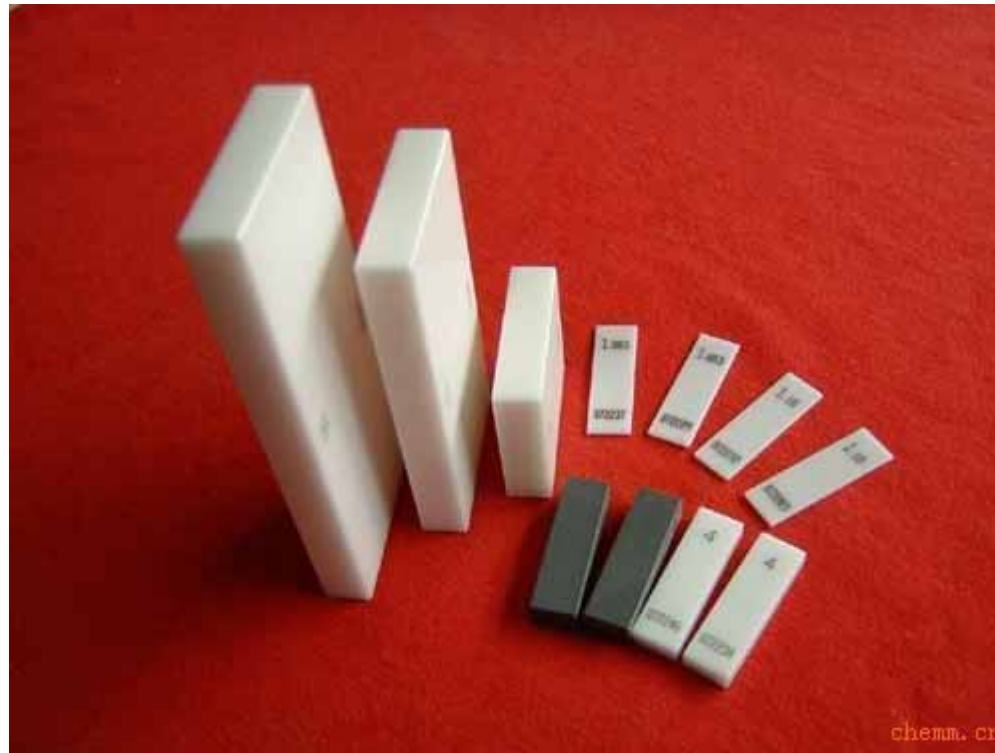
物件的表面需要潤滑運作時波谷區域的儲油性能



相對應的參考粗糙度參數： R_{mr} 、 R_{pk} 、 R_{sk}

粗糙度相關機能-附著性

物件的表面需要最佳的平整度進行一些標準件的組立



相對應的參考粗糙度參數：平面度、Rz、Rmax

粗糙度相關機能-粘著性

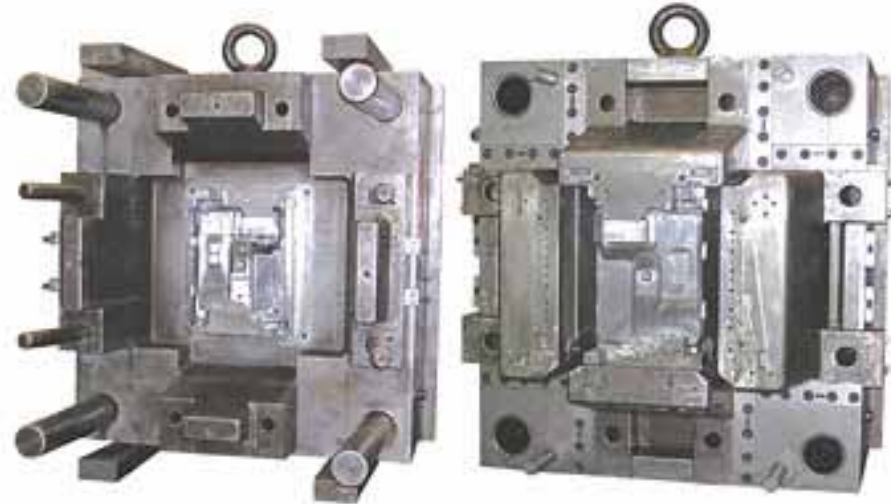
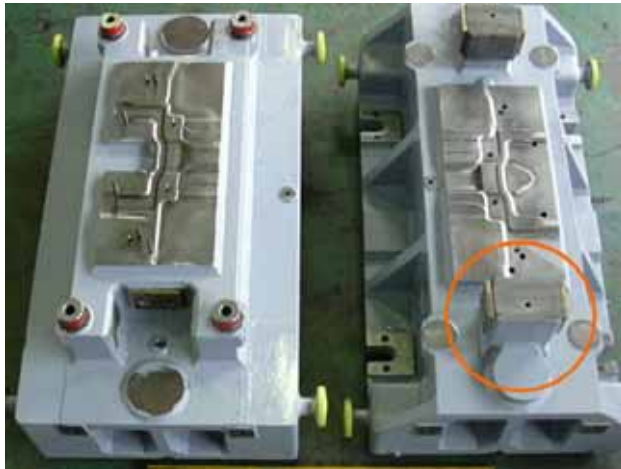
對粘著劑來說，最難的是形狀塗飾或接點鍍金脫落的適合粗糙度



相對應的參考粗糙度參數： R_z 、 R_q

粗糙度相關機能-脫模係數

工件從模具脫離時的難易與完整性



相對應的參考粗糙度參數： R_z 、 R_q

粗糙度相關機能-外觀 & 光澤

物件表面產生光澤所表現的高級質感



相對應的參考粗糙度參數： R_q 、 R_{ku}

粗糙度相關機能-外觀 & 光澤

亮麗的烤漆表面



粗糙的表面能吸收噴塗金屬層冷卻時產生的拉伸應力，故不易產生裂紋，會使物件表面產生光澤所表現的高級質感。所以在噴塗金屬前須使其表面有一定的粗糙度。相對應的參考粗糙度參數： R_p 、 R_c 、 R_{ku} 、 $R_{\Delta q}$ 。



相對應的參考粗糙度參數： R_a 、 R_p

粗糙度相關機能-觸感

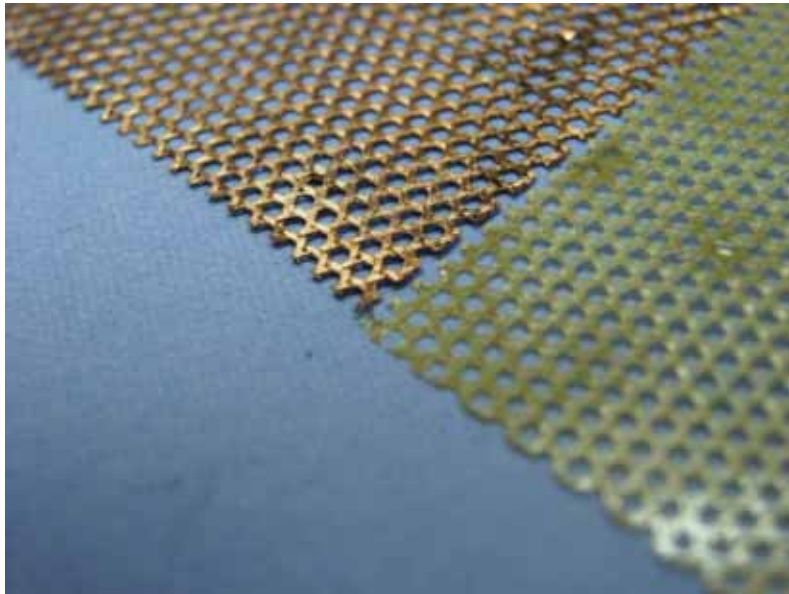
材料因為表面處理增加部品的質感與觸感



相對應的參考粗糙度參數 :Rz、R q、Pc

粗糙度相關機能-抗腐蝕 絕緣性

表面上的氣孔產生的毛細現象



零件表面粗糙則表面上的腐蝕性氣體或液體易於積聚，會沿零件表面層滲透，加劇腐蝕。因此，在有腐蝕性氣體或液體條件下工作的零件表面的粗糙度值要小。相對應的參考粗糙度參數：Ra、Rv、Mr2。

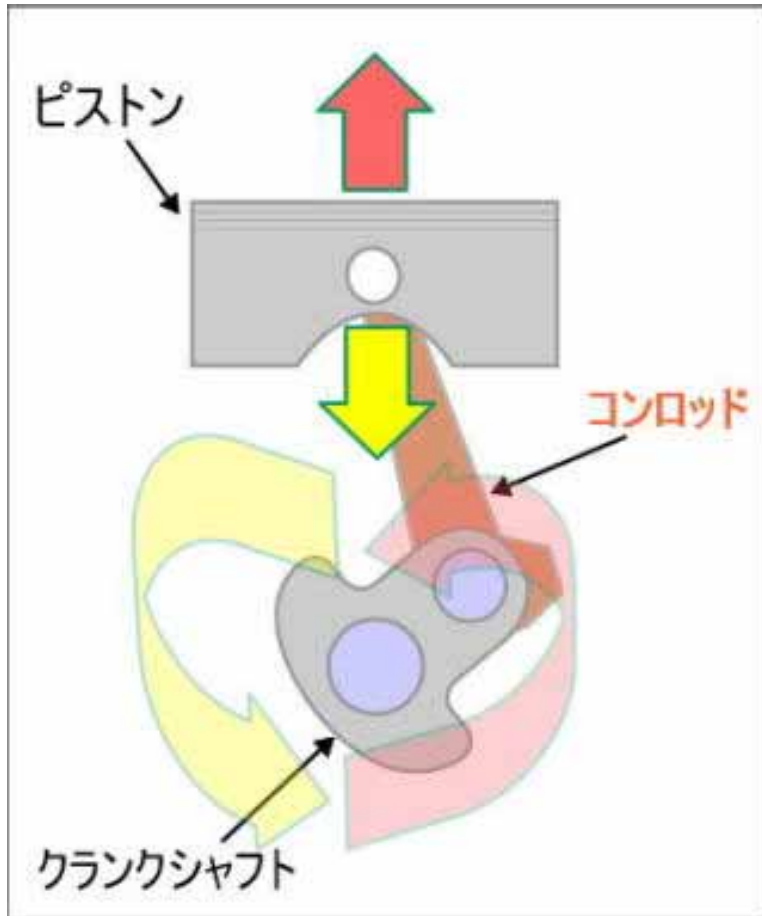


相對應的參考粗糙度參數：Ra、Rv、Mr2

粗糙度相關機能-疲勞破壞強度

應力集中所形成的疲勞破壞現象

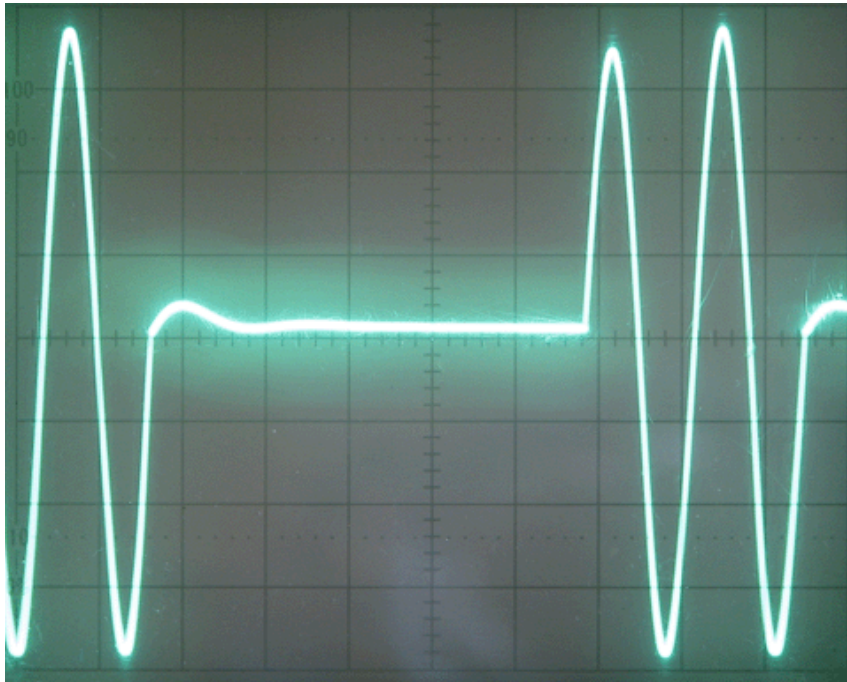
零件表面越粗糙，對應力集中越敏感，而導致零件疲勞損壞。因此承受循環負荷的表面易引起應力集中。表面粗糙度對疲勞強度的影響程度隨材料不同而異，對鑄鐵件的影響不甚明顯，對於鋼件則強度越高影響越大。相對應的參考粗糙度參數： R_z 、 R_v 、 Rvk 。



相對應的參考粗糙度參數： R_{max} 、 R_v 、 Rvk

粗糙度相關機能-電磁特性

材料表面特質所產生的一些遲滯現象



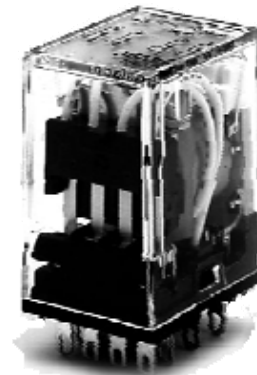
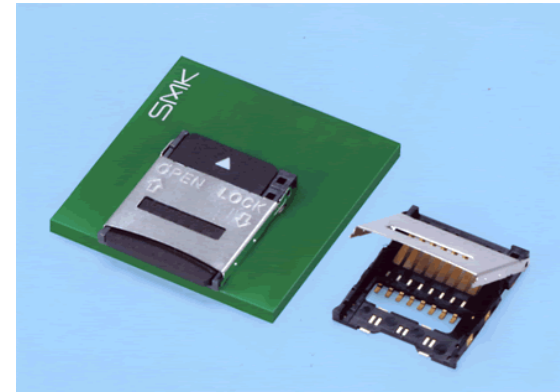
當高頻電流在導體表面流通時，電流聚集在導體表面 $1\mu\text{m}$ 深的薄層中，由於表面粗糙度的影響，表面電阻的實際值會超過理論值，所以會有產生遲滯現象或產生傳熱抑制現象。相對應的參考粗糙度參數：Ra、Rz、Rmr。



相對應的參考粗糙度參數：Ra、Rz

粗糙度相關機能-熱阻現象

材料因為接觸面的粗糙度產生的傳熱抑制現象



相對應的參考粗糙度參數 : R_{mr} 、 R_a

粗糙度相關機能-剛性

材料因為接觸面集中應力增加造成撓度變形波峰接觸面積不足



兩表面接觸時，因單位面積壓應力增大，亦即集中應力增加，受外力時，材料造成撓度變形，而使波峯接觸面積不足。相對應的參考粗糙度參數：Rz、Rmr(c)、Rpk。



相對應的參考粗糙度參數：平行度、Rmr、Rz、Rpk

粗糙度相關機能-光學性能

光學元件所產生的折射繞射散射



相對應的參考粗糙度參數： R_q 、 R_q

粗糙度相關機能-印刷品質

待印刷物表面紋理狀態



相對應的參考粗糙度參數 : R_v 、 R_{vk}

粗糙度相關機能-噪音震動

因表面狀態再高速運轉時的震動與噪音

機械設備的運動對表面粗糙不平，運轉時會產生振動和噪音。尤其高速運轉的滾動軸承、齒輪、曲軸、凸輪軸等零件，這類現象更為明顯。所以這類零件的參數值要小，才會平穩靜音。相對應的參考粗糙度參數： R_a 、 R_z 、 R_{sk} 、 $R_{mr}(c)$ 。



相對應的參考粗糙度參數： R_z 、 R_{max}

➤ 對流體流動阻力的影響：

流體在管道中流動時，會受到阻力，當管道內發生擾流時，摩擦阻力就大。摩擦阻力和微觀不平度的波谷深度有關，也和微觀不平度輪廓形狀有關，特別是和微觀不平度峰谷側面的區域斜率有關。相對應的參考粗糙度參數： R_z 、 R_a 、 $R_{\Delta q}$ 。

➤ 對配合性能的影響：

影響配合性能的可靠性和穩定性。對間隙配合，由於初期磨損，峯頂會很快磨損，使用間隙加大。對於過渡，過盈配合時，也會擠平波峯，減少實際有效過盈量，尤其對小尺寸配合影響更為顯著。相對應的參考粗糙度參數： R_a 、 R_p 、 R_z 。

三、總結— 平面度 vs. 粗糙度 比較

平面度和表面粗糙度是兩個不同的概念，**平面度**是以**宏觀**角度描述表面的幾何形狀誤差，而表面**粗糙度**是指表面**微觀**幾何形狀誤差；兩者雖然有所區別但也是有關聯性，**一般平面度好**(平面度愈趨於0 [理想平面]指此平面愈接近平整)，**表面粗糙度也要求高**(表面粗糙度[**沒有真值**]，且數值愈低代表愈平滑)，**但粗糙度要求高，平面度不一定好。**

Ps: **平面度**有所為“**真值**”，愈接近0，則邏輯理論上愈趨近**真平面**；但是**粗糙度**“**無真值**”是因為實際上或邏輯上對工件表面的要求並非是粗糙度愈小愈好，而是“**適當的粗糙度**”。