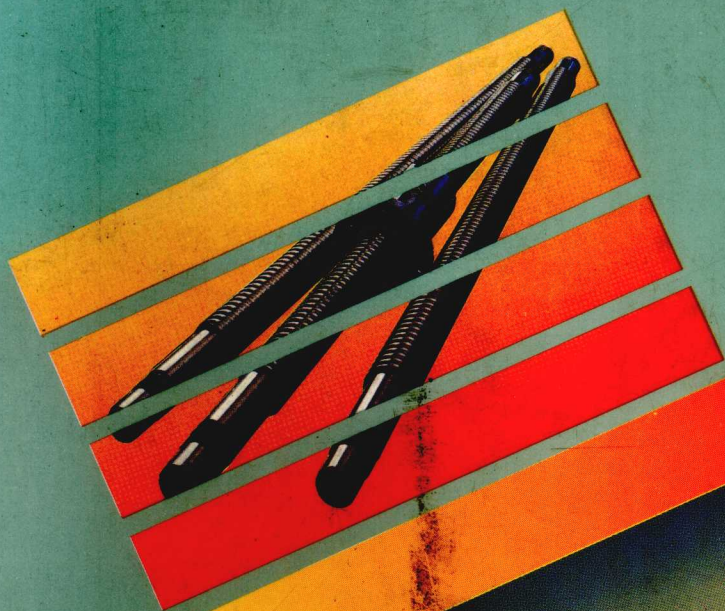


工程科技叢書

機械精密加工

蔡欣正編著



機械精密加工 / 蔡欣正編著. -- 臺北市：聯經，
民74

[4], 341面：圖；24公分. -- (工程科技叢書)

附錄：1. 參考書籍；2. 索引

新臺幣250元(平裝)

I. 蔡欣正編著

446.89/8494

序

由於工業、科技的進步對機械零件精密度的要求，日益高度化。例如電腦的發明使工業起了第三次革命，而電腦的能夠有今日的成就，其硬體方面需求的高精度零件是機械精密加工的進步的成果。又如汽車工業的發達，能夠製造性能良好、價格低廉的汽車，也是機械精密加工能配合大量生產方式的結果。

科技的進步，工業的升級，有賴於廉價的精密機械零件的供應。而這些廉價精密度的高的機械零件之生產，必須依靠機械精密加工技術及優良的工具機與工具、刀具才能達成。

然而機械精密加工方法，有精密切削、研磨、超級精加工、搪磨、磨光等多種，必須根據材料特性，零件規格，生產數量及經濟效益來選擇最適當的方法。因此對各種精密加工方法之原理及理論，必須要有充分的了解，才能做正確的判斷與實用。

一般機械加工法已有很多著述，但對精密加工法只做簡單的介紹。本書對切削理論及研磨理論做詳細的論述，引用東西方有名學者之研究資料及論說，使讀者對精密加工有更深入的了解，而能學以致用，進而培養其對生產技術的實力。

本書收錄了很多實際的資料，除可做大學的教材外，更適合高級工職、工專畢業的技術人員作參考。

蔡欣正於淡江大學
民國73年元月

目錄

序

第一章 精密加工之概念

1-1 機械精密加工之意義·····	1
1-2 機械精密加工之分類·····	1
1-3 機械精密加工之效果·····	4
1-4 機械精密加工之原則·····	8

第二章 切削理論

2-1 切削之概念·····	17
2-2 切屑形成·····	25
2-3 切削阻力·····	29
2-4 切削溫度·····	44
2-5 刀具之磨損·····	52
2-6 切削性·····	54
2-7 振動與切削關係·····	75
2-8 切削加工面·····	77

第三章 精密切削加工

3-1 精密車削與精密搪孔·····	85
--------------------	----

3-2 精密拉孔·····	105
---------------	-----

第四章 其他機械精密加工法

4-1 表面輥壓·····	115
4-2 抽光加工·····	120

第五章 研磨理論

5-1 研磨加工之概念·····	127
5-2 研磨輪之性質·····	129
5-3 研磨理論·····	148
5-4 研磨輪的選擇·····	166
5-5 研磨加工之一般事項·····	201

第六章 一般研磨加工法

6-1 平面研磨·····	215
6-2 外圓研磨·····	219
6-3 內孔研磨·····	225
6-4 無心研磨·····	229
6-5 刀具研磨·····	233
6-6 其他研磨加工法·····	238

第七章 磨料加工法

7-1 搪磨加工·····	245
7-2 磨光加工·····	259
7-3 超級精加工·····	277

第八章 特殊加工法

8-1 放電加工.....	291
8-2 超音波加工.....	297
8-3 電解加工.....	299
8-4 電子束加工.....	302
8-5 雷射加工.....	306

第九章 機械精密加工實例之一（螺釘之精密加工）

9-1 概念.....	309
9-2 螺紋之研磨.....	310
9-3 螺釘之滾製.....	320

第十章 機械精密加工實例之二（齒輪之精密加工）

10-1 概念.....	327
10-2 齒輪之研磨加工.....	328
10-3 齒輪之磨光加工.....	332
10-4 齒輪之刮製加工.....	334

參考書籍	341
------------	-----

索引.....	343
---------	-----

第一章

精密加工之概念

§1-1 機械精密加工之意義

製造機械零件時，應該注意兩個主要事項。一、如何使生產價格較廉。二、如何提高品質。生產廉價的機械零件，有賴於大量生產及自動化等合理手段，以降低生產成本。而提高零件品質，即包含了改進材料之機械性質，及提高零件本身之精密度兩點，亦即使零件在使用時得以更耐久。

如何提高機械零件之精密度，就是機械精密加工所要探討的內容。近代文明之各類機械之生產，都是由於機械加工之精密度能提高而獲成功。例如搪孔機 (boring machine) 之發明，使 James Watt 發明的蒸氣機得以實用，而 Johanson 根據 Whitworth 之完全平面理論原理而發明了規矩塊 (gauge block)，使零件獲得互換性。機械之大量生產，低廉的價格，改善了人類的生活。因此吾人可以說，機械精密加工技術是近代文明發展之母亦不為過。

§1-2 機械精密加工之分類

機械精密加工是指容易獲得精密度高，加工面平滑的加工方法而言。例如平面刨削，無論加工如何精密也不能算為機械精密加工，因為平面刨削，不容易得到尺寸精度高，且精細平滑的表面。

表 1-1 機械加工之分類

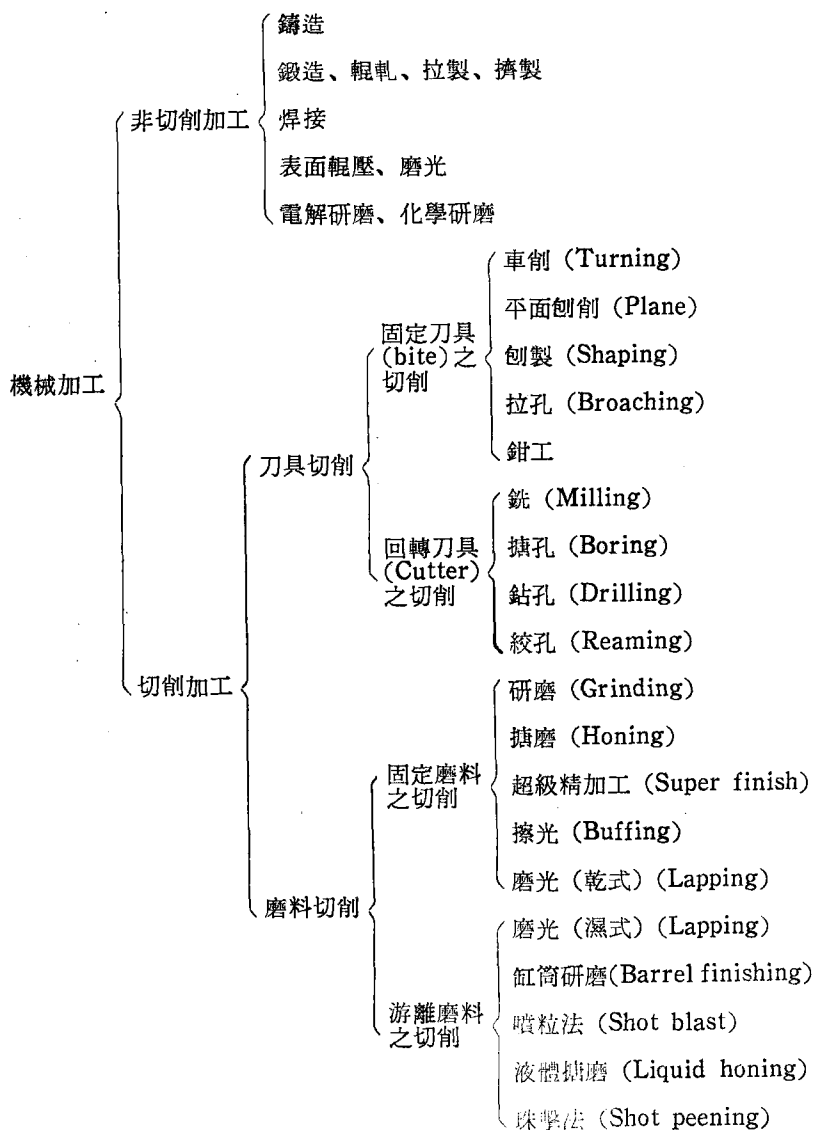


表 1-2 各種加工法之表面粗度

[illegible]

機械加工法有表 1-1 的分類。這些加工法可獲得的加工面粗度可參考表 1-2。在各類加工法中分別以粗加工、普通加工、精加工來表示其表面粗度的範圍。一般來說，大體上能獲得表面粗度 1.5μ 以下的加工方法就可稱為機械精密加工。

§1-3 機械精密加工之效果

機械精密加工的直接效果在於提高機械零件的精度，發揮零件的機能而得以保證零件的互換性。而其間接效果即在於耐磨性的增強而延長其使用壽命。為何有此間接效果呢？其原因有下列幾點：

1-3-1 接觸面的增加

機械零件兩個面的接觸面積大小，要看兩個面的幾何形狀及尺寸是否正確，以及加工面是否平滑精細。例如兩個半圓的面配合，因加工時其半徑尺寸有誤差，配合時接觸面較小。當把加工面放大查看時，有凹凸的山與谷，凹凸情形小，接觸面就增加。經過機械精密加工的零件，其幾何形狀尺寸正確，加工面平滑精細，當然接觸面會增加。

圖 1-1 是工作母機床面採用超級精加工（super finish）時加工時間與加工面粗度及接觸面大小的關係。長度 1000mm 寬 80 mm 之滑動面，在超級精加工前接觸面只有全部的 40% 以下。超級精加工 35 分鐘，其接觸面增加為 95%，而加工面粗度由 2.0μ 減少到 0.3μ 。因為接觸面的增加，當然能承受更大的負荷而不易磨耗。

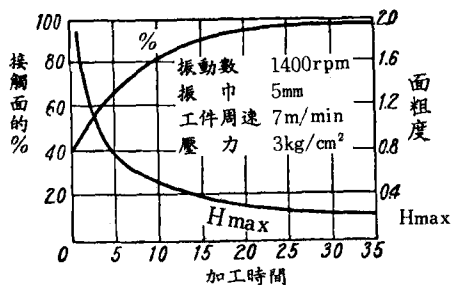


圖 1-1 加工時間與表面粗度的關係

1-3-2 增加軸承負荷能力

機械精密加工使零件的接觸面積增加，因此使軸與軸承的負荷能力增大。圖 1-2 是比較以普通內孔研磨加工得到平均表面粗度 $20\mu\sim 30\mu$ 之軸承與超級精加工表面粗度 1.5μ 兩者承受負荷的大小以及空轉 1 小時後增加負荷時軸承溫度的變化情形。內孔研磨加工面 (30μ) 158 分鐘後加上 $500kg$ 之負荷時，溫度達到 250°C 。面粗度 20μ ，200 分鐘後加上負荷 $725kg$ ，溫度上升到 230°C 。如果經過超級精加工，在此負荷範圍下，溫度不會超過 50°C 。負荷在空轉 280 分鐘後增加至 $1175kg$ ，溫度才到達 200°C 。軸承能承受的負荷大小，視其溫度上升情形而定，如圖中可看出，普通研磨加工只能承受較小 $500kg$ 或 $725kg$ 之負荷且短時間內溫度就開始很快的上升。而超級精加工後之軸承不但能承受較大 $1175kg$ 之負荷，且經過長時間運轉 200 分鐘溫度才開始上升。從這個實例，可以看出精密加工的效果竟如此的大。

1-3-3 疲勞強度之增加

機械材料受反復負荷時，如果材料表面有凹痕，其疲勞強度顯著降低。凹痕的深度愈大，形狀愈尖銳，疲勞強度減弱，程度愈

大。機械加工面，經放大觀察時可看出凹凸的波形，這些凹凸的痕跡會產生凹痕影響 (Notch effect)。因此加工面愈粗，愈容易疲勞。換言之，如果經過精密加工，加工面愈細其疲勞強度愈增加。圖 1-3 是比較各種機械加工的疲勞強度百分比，並以磨光加工為 100% 做比較的基準。圖中 $a (\nabla \nabla \nabla P)$ 表示磨光 (lapping)， $b (\nabla \nabla \nabla G)$ 表示研磨， $c (\nabla \nabla \nabla)$ 表示搪磨 (honing)， $d (\nabla \nabla$ 或 $\nabla)$ 表示切削而 e 即表示無加工時的各種情形。加工程度愈粗糙，其疲勞強度的減低愈顯著。

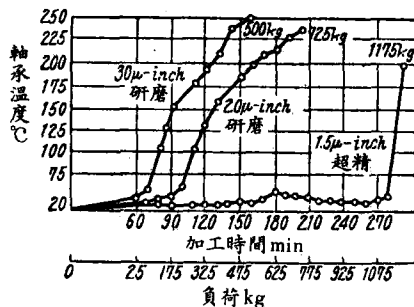


圖 1-2 表面粗度與軸承溫度的關係

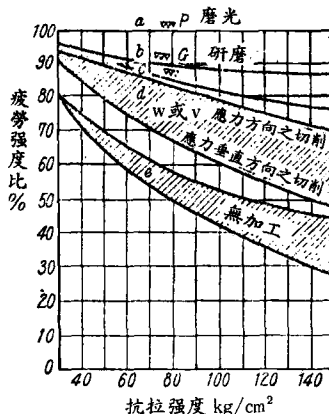


圖 1-3 材料加工程度對疲勞強度之影響

1-3-4 耐磨損性之增大

材料經過機械精密加工，加工面平滑精細，零件的形狀尺寸正確。用此類零件裝配成的機器，當然可以增加耐用時間。因為精密加工的面，凹凸的情形小，而面與面的接觸面積大，零件單位面積所受壓力較小，結果可以減少磨損量。圖 1-4 是黃銅軸承經過不同方法的加工所測得的磨損量比較圖表。試驗的條件為：摩擦壓力 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 、摩擦面相對速度 $0.45\text{m}/\text{s}$ 、試驗時間 $30,000\text{rev}$ 。由圖中可看出超級研磨作業，可得平滑精細的加工面，軸與軸承的磨損量最小。

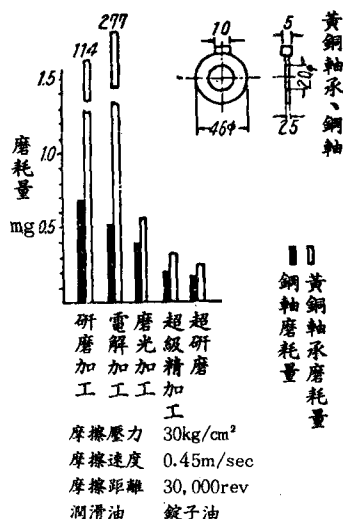


圖 1-4 各種加工軸承磨耗量比較

1-3-5 耐蝕性之增強

金屬的表面光滑時被腐蝕的程度就少。因為腐蝕是由凹凸面的谷底開始，且內部應力大腐蝕亦大。機械精密加工不但可得較平滑精細的加工面，亦即凹凸程度小，谷底淺，且存有內部應力的加工變質層較薄，當然耐蝕性就大了。

1-3-6 變質層厚度的減少

加工後金屬表面的結晶構造與內部相異。順着加工方向結晶粒變細，而呈現內部應力。這種加工變質層有加工硬化與方向性，且有很大的內部應力，經年累月後會有變形之虞。故精密加工後要再施行退火或時效（aging）以除去內部應力。加工變質層的厚度在重切削時愈大。機械精密加工每次削去的部分較薄，加工變質層也會變薄，因此可獲得品質較佳的零件。

§1-4 機械精密加工之原則

實際進行機械精密加工時，必須注意以下各項原則，否則不能得到理想的結果。

1-4-1 基準面

一切加工之尺寸都是以基準面為根據而測量出，故基準面的精度最為重要。基準面有時候是一個點，有時候卻是一條線或者是一個孔，但通常是平面為多。基準面又常做為加工物件的固定面，因此需要有足夠接觸面積的平面為當。

基準面的選定及其精度影響往後的加工精度甚大，故機械精密加工首先要注意的原則是先做出精密度高的基準面；同時如何選定基準面也是一件重要的關鍵，選擇的基準面如果適當，便可使加工容易，且可獲得良好的精密度。

車床的刀架，加工時可以選擇底面、側面或頂面來做基準面，亦可選擇中間四個孔的任何一個做為基準。但是基準面必須是精密度最高的面，選擇不甚重要的側面做為基準面是不適當的。而且刀架中間部分的孔，在平面加工完畢時加工才容易得到

正確，當然也不能做為基準面。所以像車床刀架的加工順序，先把底面用研磨或超級精加工獲得十分精密度的加工面，做為基準面，然後其他部分的加工，如兩側面、頂面及各個孔都由此基準面以規定的尺寸來加工。有時基準面亦當做固定面，但是大片平面的精密加工很困難，可以把中間部分的材料除去，加工就容易多了。

有了精密正確的基準面、頂面、側面及刀具的固定面都可以對此基準面做平行或垂直方向上的加工，而各個孔以基準面為基準，向垂直方向加工，這樣就可做出形狀正確而尺寸精度很高的零件了。但如果基準面的平面不正確，則以此面為基準進行其他工程的加工，零件的精度當然就不良。由此可知精密正確的基準面是機械精密加工的第一步。

1-4-2 工具機

零件的製造皆依靠工具機來加工。若是精密的機械零件就必須要用精密度高的工具機來加工，工人的技術再好，如果工具機本身精密度不夠，當然不能製造品質優良，精密度高的零件。因此，機械精密加工，對工具機的選擇當然要十分重視，茲分述如下：

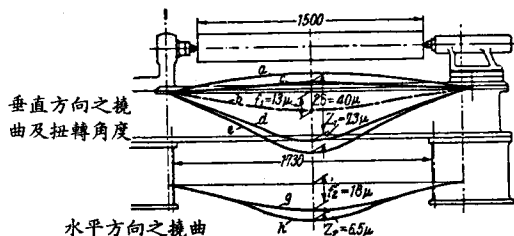
(1) 採用精度高的工具機。已如上述，精密加工必須採用高精度的工具機。但是本來精度已很高的工具機，長久使用之後，各部分可能因磨損或變形，而不能維持原來的精密度。因此必須進行定期檢查，有缺陷時（精度不合規定值），立刻要維護或整修以確保工具機無論任何時間都保持其應有的精密度。

工具機特別要求精密度高的部分是主軸、滑動面（如底床、工作臺及其他滑動的面）、傳動用螺桿（如車床的導螺桿、進給

桿、齒輪等)。這些主要部分更應常常檢查磨損的情形，裝配時亦需特別小心，以確保機械的精度。

(2) 採用剛性大的工具機。工具機精度的檢查要在無負荷、靜止狀態下進行。但實際操作時，機械受切削阻力而輕微的變形，故工具機除了靜的精度外，更要在操作時維持着十分高的精密度，即在加工進行時各部分的變形小且不起振動，也就是要有大的剛性。

圖 1-5 表示車床車削圓鋼時，由於切削阻力產生底床 (bed) 的撓曲及扭曲變形的情形。工件為直徑 180mm ，長度 1500mm 的鎳鉻合金鋼，切削阻力為 1200kg 。圖中所示，中央部分的變形量達到了 0.05mm 之鉅。



- a. 由於進刀方向分力底床中央部分的撓曲
- b. 由於進刀方向及主分力的合成阻力之中央部分撓曲
- c. 由於扭力底床後側面之上升
- d. 由於扭力底床前側面之下降
- e. c-d 項與撓曲之合成變形量
- f. 由於背分力引起的水平撓曲
- g. f 項與前導背面撓曲之合成變形量

圖 1-5 切削阻力與底床變形

像這樣，各部分產生變形時，機械加工精度就顯然地降低。剛性大的工具機除了操作時變形小外，且因各部分堅固，在高速轉動時亦不致於發生振動之現象。近年來機械加工的精密度能提高，實應歸功於工具機的剛性增大，而能耐高速回轉及強力切削，不起變形，不發生振動的結果。圖 1-6 是舊式的車床，其四

腳及座床一看就知道很軟弱，而圖 1-7 是最近生產的強力車床，四腳已演變為箱形之底床，且有多數的補強樑之設計以防止變形。且主軸臺 (head stock) 及車床尾座 (tail stock) 也很堅固。

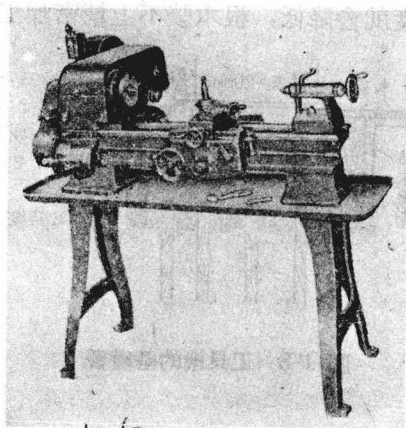


圖 1-6 舊式車床

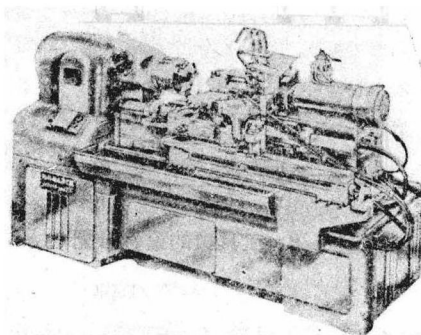


圖 1-7 剛性強的箱形新式車床

(3) 應注意工具機安裝的基礎。精度最高，剛性最大的工具機，如果安裝在防振不良及水平面不平的基礎臺上時，就不能發揮其性能。基礎臺不能因工具機本身的重量或外部傳來的振動而變形。圖 1-8 是一種精密加工工具機基礎臺的構造圖，其基礎臺特別大而且深，同時有用以吸收振動或衝擊的吸收劑部分。同時