

研 磨

〔民主德國〕W·勒 席 著



科 学 技 术 出 版 社

研 磨

[民主德國] W·勒 席 著

趙 學 銘 譯

科 學 出 版 社

內 容 提 要

本書系根據民主德國勒席 (Walter Lätzig) 所著“研磨” [Läppen] 一書譯出。

研磨是一種精密的切削加工方法。本書對於金屬材料的研磨工作，除了刀具的刀口研磨以外，都作了比較詳細的說明；並且對於雖不直接屬於研磨的範圍，但是與完成良好的研磨工作很有關係的其他精密加工方法，也附帶作了討論。

本書適合於一般金屬精密加工的技術人員及技術工人參考之用。

研 磨

Läppen

原 著 者 [民主德國] Walter Lätzig

原出版者 Carl Hanser Verlag

1950 年版

譯 者 趙 學 錄

*

科學技術出版社出版

(上海延平路 366 弄 1 號)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九號

大東印刷廠印刷 新華書店上海發行所經售

*

統一書號：15119·74

(原機電版印 2,500 張)

開本 850×1168 1/32 · 印張 5 9/16 · 字數 128,000

一九五六年三月第一版

一九五六年六月第二次印刷，印數 1,021—2,520

定價：(10) 一元

序

本書是根據民主德國勒席（Walter Lätzig）所著的“研磨”[Lappen (Carl Hanser Verlag, 1950)]一書編譯而成的。

研磨是一種精密的切削加工方法。在祖國正進行着大規模工業建設的今天，它的應用範圍將日益廣泛；但是目前有關這一方面的書籍還不多見，所以本書的內容嚴格地說來雖然還不夠豐富和深入，然而對於引起大家的注意和研究來講，深信是有它的作用的。

本書對金屬材料的研磨工作，除了刀具的刀口研磨以外，都已作了比較詳細的討論；並且對於雖不直接屬於研磨的範圍，但是和完成良好的研磨工作很有關係的其他精密加工方法，也附帶作了討論。書中的數字和說明大都是根據實際工作的經驗得來的，因此可供從事這一工作的同志們作為參考。

譯者從事翻譯工作的時間還很短，在學識和經驗方面都很不夠，因此錯誤難免；還希望讀者能提供寶貴的意見。

在編譯的過程中承姜助昭同志校閱並提出許多意見，謹在此致以衷心的感謝。

趙學銘 1954年5月

導 言

定義 研磨是比磨更進一步的精密的切削加工方法。但需要研磨的面形狀不同、尺寸不一，或者用單一或者用大量生產的方式進行加工；因此就有許多適應需要的研磨方法。它們在某些部份上差別很大。爲了這個原因很難下一個完美的定義。

德國經濟加工協會對於在研磨機上研磨平面、圓柱面和球面曾經作過如下的定義：

“研磨是一種加工方法，在工件和工具之間無強制導引，利用研磨劑，在不斷變更方向的情況下相互滑動”。

“工具的表面形狀和工具的運動方式要選擇得使工具儘可能長久地保持它的理想形狀，使能用以加工大量的工件，並且在加工後獲得極近似理想的幾何形狀”。

“用這個加工方法將預先經過適當加工的工件作最後加工，使它獲得極高的幾何形狀上的準確度和表面精度，而且能保持極小的尺寸公差”。

此外該會對於使用得很普遍的——尤其在驗規製造中——手工研磨規定稱爲“尺寸研磨”，另件配合的研磨稱爲“配合研磨”。

以後研磨一詞是作爲一個總的概念，既適用於手工研磨，也適用於機械研磨，因此上述定義可作爲準繩。

應用範圍 通常對工件的尺寸準確度和表面精度的要求特別高時才進行研磨。研磨所能達到的精密程度可參閱第二章第一節。其他常用

的精密加工方法（例如精磨），並不能達到研磨所能獲得的最後準確度和精度。精車、鏜和絞也是這樣，而且這些加工方法對淬硬的或者極硬的材料都不適用。旋磨或精旋磨主要是在大量生產的一定條件下才適用。相反地研磨却具有通用性的優點。它是現代最準確的加工方法，所需要的工具和設備也是比較便宜和簡單。

目 次

序	
導 言	
第 一 章 基本原理	1
一、研磨過程 二、研磨速度 三、研磨壓力 四、所需要的能量 五、研磨運動	
第 二 章 工件	9
一、準確度和表面精度 二、便於研磨的設計 三、材料 四、預加工和研磨裕量	
第 三 章 研磨工具	28
一、材料 二、加工	
第 四 章 研磨劑	35
一、研磨粉末 二、研磨液 三、研磨混合劑 四、塗敷研磨劑	
第 五 章 手工研磨	54
一、研磨平面 二、研磨圓形 三、研磨圓錐體 四、研磨球形 五、研磨螺旋紋 六、研磨複合形狀 七、配合研磨	
第 六 章 機械研磨	95
一、雙盤研磨機 二、在雙盤研磨機上研磨平面 三、在雙盤研磨機上研磨圓形 四、在雙盤研磨機上研磨圓錐 五、在單盤研磨機上研磨平面 六、研磨大工件的外圓 七、在內圓研磨機上研磨內圓 八、用光學玻璃研磨機研磨平面和球面 九、研磨齒輪	
第 七 章 研磨工時	123

第八章 施工錯誤所產生的毛病及其改正方法.....	124
第九章 輔助工作.....	126
一、清潔和上油 二、檢驗和量度	
第十章 車間.....	131
第十一章 研磨運動學.....	135
一、平面研磨運動 二、圓柱面研磨運動 三、圓錐面研磨運動 四、球面研 磨運動 五、螺紋研磨運動 六、齒輪研磨運動	
第十二章 類似的加工方法.....	162
一、旋磨 二、精旋磨 三、精磨和超精磨 四、研磨式的精磨 五、金相學 上的精磨和拋光 六、圓球的精磨和拋光	
譯名對照表.....	169

第一章

基本原理

一 研磨過程

工件在研磨的時候，它的被研磨面在研磨工具的對應面上滑動，這樣，在兩者之間的研磨劑就起了磨的作用。研磨劑中的磨粒在兩個面之間滑動，滾動和刮動，於是便產生磨擦、擠壓和搓動的作用。一部份的磨粒嵌入和固着在工具或工件面上（有時僅很短的時間），於是就在對應面上刮和切削^①。研磨劑中的輔助材料如油脂、油及其他潤滑劑促進這個作用。

研磨的時候，工件上磨掉的材料是需要的磨耗，相反地工具上磨掉的材料是不需要的工具損耗。如果工件和工具以同樣的材料製成，那末二者的磨耗量相等。倘使以不同材料製成，那就不會相等。一般說來比較硬的材料磨耗也比較少，因為它對於磨粒有較大的耐磨抵抗力；不過不僅是由於硬度的關係，而材料嵌住磨粒的性能也很重要。後者以性質軟的材料比性質硬的材料強得多。由於這個原因用鑄鐵工具研磨淬硬的工具鋼時，工具的磨耗量僅為工件的 $1\frac{1}{2} \sim 2$ 倍。但工具表面往往比工件表面大，因此這個比值實際上將更小。

① 我們可以在兩塊玻璃之間放些研磨劑，例如鋼玉粉末，並且像研磨時一樣地把它們對磨，然後用顯微鏡觀察，因為它們的運動情況是和研磨的時候一樣的。但是必須注意，玻璃的磨削過程自然和金屬不同。

嵌在工具面上的磨粒僅為半圓形的狀態，如果受到的負荷太大時，就會滑去，所以磨粒只能在工件上切削很細的屑，同時磨粒有滾動的現象，因此各稜邊也順次地起着磨削作用。

有人認為研磨還有使表面緊密的作用。研磨的時候表面的金屬薄層確實有些塑性變形的變形，但是這一點並不能證明，表面是否也像壓光或軋光時——當然在程度上高得多——一樣變得緊密了。這種表面緊密的現象在使用相當高的表面壓力研磨時（例如在雙盤研磨機上磨圓柱），當然可能有些作用。

上面的粗淺說明並不能將研磨過程解釋得很圓滿。如果使用極細的研磨劑加工時，我們可以假定研磨工具本身中比較硬的組織會直接和工件發生磨的作用。當兩個面接觸到足夠近，工件和工具之間的分離力會相互作用，而產生像半液體狀態磨擦一樣的磨耗過程。在使用不同的研磨液時，雖然條件相同，會獲得不同的磨耗量。關於這一點就不能僅僅以力學來解釋，而已經涉及分子物理學或者化學上觸媒作用的範圍了。

拋光的時候是否產生所謂熔解過程（精細地研磨時也一樣）是一個爭論得很厲害的問題。有些學者假定拋光時由於磨擦熱的緣故，工件表面上的薄層在一瞬間熔解了，於是高低不平的現象由於互相補勻而消失，就產生拋光作用。有些學者却完全否定這一假定。根據最新的說法所謂熔解過程是不存在的，而是晶體被研碎以後完成拋光作用的。

從上面的簡略敘述中可以看出研磨的過程是很複雜的。大概在用較粗的研磨劑時，它的作用也較強而去除的切屑要佔總量中的絕大部份，以後研磨劑用得愈細，作用也愈小，所去除的切屑也愈少，最後在用最細的研磨劑或拋光劑時，由於分子物理學的，甚至化學的作用對去除切屑也起着重要的影響。

二 研磨速度

研磨作用隨着研磨速度而增強（圖1）。因為隨着研磨速度的增加，在單位時間內工件面上通過較多的磨粒，於是切削下較多的切屑。至於研磨速度對磨削量的其他影響在研磨試驗中不能確定。在不同的研磨速度下，單位滑動路程的磨削量是近於常數的^①。

研磨速度通常在10到150公尺/分之間，所以是相當低的。相反地普通用砂輪磨的時候速度要達到它的100倍。過份提高研磨速度往往並沒有益處，反而會引起不容許的發熱現象，使得工件的表面精度和準確度降低。對於非常準確的工件通常不超過30公尺/分。至於怎樣才算最適當的研磨速度，還得在討論各種研磨方法時再加以研究。

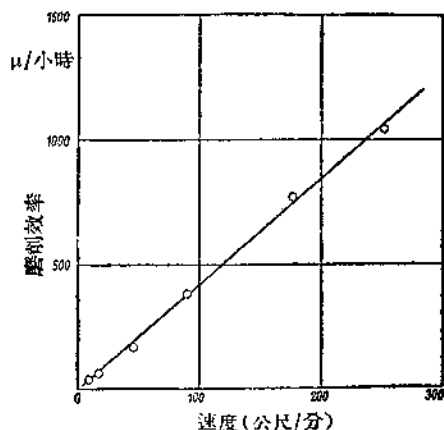


圖1. 研磨速度對磨削效率的影響。機械的滑動研磨，63度洛氏硬度的工具鋼試件在96公厘直徑的錫鐵滾筒上，研磨劑用顆粒大小10~30 μ的鋼玉和油，研磨壓力為0.85公斤/平方厘米。

當然，研磨速度低的時候發熱現象少。除了很少的例外情形以外，工件由於發熱而引起的變形或尺寸上的改變不大，所以實際上這種影響完全可以忽略。這裏當然並不指磨粒直接切削着的點，因為那兒的溫度可能高到

① 研磨和半液體狀態磨擦的磨耗過程（滑動軸承的情況），頗有相似之處；而半液體狀態磨擦的情況早經學者確定，其磨耗量是隨磨擦路程的增加而直線上升的，和速度並無多大關係。

幾百度攝氏溫度。

三 研磨壓力

研磨作用隨研磨壓力的提高而增強。因為研磨壓力增加後，磨粒嵌進工件比較深，切削下來的切屑也就較大了。在實際應用的研磨壓力範圍內；研磨作用和研磨壓力是可以假定為直線上升的。圖 2 表示研磨平面的過程。研磨壓力是用人力或用機械方法通過重量、彈簧、液體壓力等產生。

研磨平板也可以製成電磁的；研磨壓力由磁力產生。這樣壓力可以作精細的無級調節，並且在整個面上分佈得很均勻。此外，力只在工件面和工具面之間作用，還可能避免工件變形。

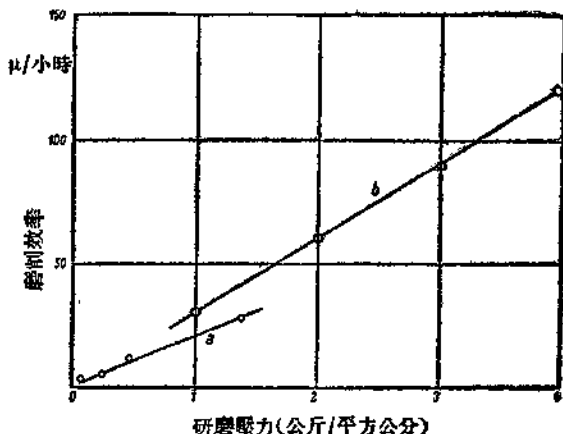


圖2. 研磨壓力對磨削效率的影響。機械的平面研磨，勃氏硬度 200 的鑄鐵研磨盤，顆粒大小 $10 \sim 30 \mu$ 的鋼玉和油以及煤油。a. 單盤研磨機，研磨速度 7 公尺/分，工具鋼的試件（1.5%Cr, 1.2%C）直徑 25/16 公厘，洛氏硬度 Rc62.5。b. 雙盤研磨機，研磨速度 2.7 公尺/分，5 根工具鋼試件 35 x 40 公厘，洛氏硬度 RC 63。

使用機器研磨平面時，常用的壓力為 0.1~3 公斤/平方公分。這個數值和手工研磨平面時相近。不過我們要注意這一點，就是手工研磨時工件面如果增大，研磨壓力就降低，因為人力所能產生的總壓力不能超過一定的數值（圖 3）。用研磨桿或螺絲環研磨內圓和螺絲時，壓力一般要比上面所說的稍微高些。

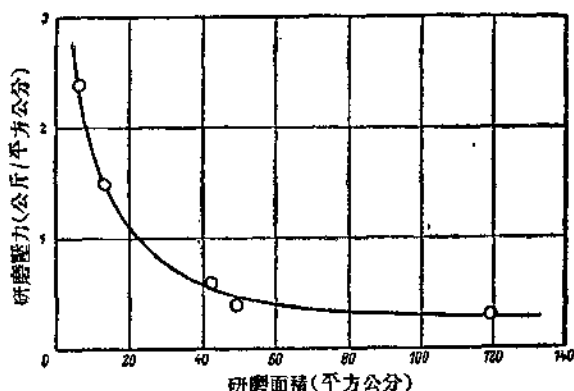


圖3. 在研磨平面上手工研磨時研磨面積對研磨壓力的關係

實際作用的表面壓力當然比研磨壓力高，它決定於工件面上支承點的多少。隨著研磨的進行，支承點的數目漸漸增加，而表面壓力却在同樣的總壓力下相應地減低。

在雙盤研磨機上研磨圓柱時，工件和工具之間的接觸面是一條直線。這時候所加的負荷和工件的長度有關，約為 0.5 到 2 公斤/公分。這比研磨平面高得多。

四 所需要的能量

切削一定數量的材料需要一定的能量，要把材料切削得愈細，則所需的能量愈大。如果把粗銑所消耗的能量和研磨相比可以得到這樣的

比例：毛銑削：研磨=1：500。這個數值是從主動馬達上量得的。研磨和其他精密加工的方法一樣，在能量的消耗上的確是不經濟的。研磨所需要的能量相差很大，要看是初研磨還是精細的最後研磨而定。

表1. 鋼料在粗銑和研磨時所需要的能量

加工名稱	切削功率(立方公分/千瓦小時)	所需能量(瓦特小時/立方公分)
銑	400—800	1—2
研 磨	0.5—50	20—2000

五 研磨運動

研磨的成績和研磨運動進行得是否正確具有關係。因為它對表面精度、形狀準確度、研磨工具的壽命和研磨工時的影響很大；尤其機械研磨時，研磨過程是自動進行的，工人不能隨時直接校正，所以正確的研磨運動更為重要。

如果我們研究研磨的定義，就可以知道研磨運動應該包括哪些要點；現在歸納如下：

1. 工件和工具不受強制導引。
2. 研磨運動的方向必須不斷變更。
3. 當工具面形狀一定時，研磨運動應該儘可能地使工件近似於理想的幾何形狀。
4. 研磨運動必須使工具面的幾何形狀儘可能地保持得長久不變。

對於第一點，這裏所謂不受強制導引的意思是指在力作用的方向以及切削的方向沒有強制的、外力的導引。當然在這個方向工件和工具自己形成的導引還是存在的。這樣研磨就沒有由於特殊機械導引所引起的誤差和缺點。研磨比其他方法便利，可以任意中斷加工，隨時可把工件取下來檢驗，然後再裝上去繼續加工，毫無問題。這種優點對於準

確度高的工作尤為重要。

對於第二點，研磨運動可以理解為工件和工具間的相對運動。方向的變更通常是由許多重疊的無週期性運動而得到的，其結果就是所需要的研磨運動。不斷改變方向使研磨劑一直在新的方向起作用，磨粒不會有一定的軌跡，而是每次切削時在工件上造成一條新的紋路，所以不至於漸漸地造成很深的磨痕，研磨過的面上也就看不出有規則的加工紋路。此外變換方向使研磨劑分佈均勻，達到所希望的良好而均勻的磨削。當然也有些工件的形狀特殊，根本不可能使研磨運動的方向改變。在這種情況中，便形成加工紋路，就是所謂有紋研磨。

對於第三點，研磨時最凸出的部份首先被磨去，然後漸漸達到儘可能接近的幾何形狀。在將要達到規定尺寸的時候，就不能再讓已經獲得的形狀變壞。所以從這時候起，應使面上各點的磨削相等，即在工件的整個表面上均勻地磨削。

假定相互滑動的工件面和工具面上每一點的研磨壓力，以及研磨劑的種類、數量和性質等都一樣，那末如果工件材料均勻的話，工件面上任何一點的磨削量與研磨時該點對於工具面所經過的相對路程（滑動路程，磨擦路程）成正比。滑動速度對磨削量的影響，在通常的研磨速度範圍內的試驗中還不能確定。

要達到工件的每一點上磨去同樣多的材料，必須在研磨的時候，使工件面上每一點對於工具面的滑動路程相等。

對於第四點，工件面上所產生的幾何形狀的準確度和工具面的幾何形狀準確度有關，因此它必須儘可能長久地保持其準確度，在研磨時不能有明顯的改變。因此工具面的磨耗應該均勻。

如果工具面上每點對工件面通過相同的滑動路程，那末就可達到均勻的磨耗。但是實際上這一點往往做不到，因此工具必須時常修整或

調換新的。

滾動運動 由於前面三、四兩點中的先決條件，無待贅言，在研磨的時候要求純粹的滑動運動。如果工件和工具以一個平面互相接觸，那末它的情形就是這樣。倘使接觸的是一條線或一點，那末可能既有滾動又有滑動。事實上有些研磨曲面的方法：例如在研磨機上研磨圓柱，就不再是純粹的滑動，而是既有滑動又有滾動。這個特點很值得注意，今後擬將一般在工件和工具之間，僅有純粹滑動的叫做滑動研磨，而帶有滾動運動的叫滾動研磨。

純粹的滾動實際上不能應用，必須結合滑動。其實這個滑動也可以看作滾動的特殊情形。根據非完全肯定的實驗得出，滾動和滑動路程相同的時候，滾動磨削量和滑動磨削量之比為1:100。但是磨圓形工件時，滾動路程往往是滑動路程的許多倍，所以滾動部份的磨削量也佔一個相當大的比例。例如在一定條件下，用雙盤研磨機研磨圓形工件，其滾動路程是滑動路程的4倍，滾動磨削量佔總磨削量的5%。

滾動磨削量的直接部份雖小，但是要考慮到間接的影響，因為工件和工具僅以線或點的形式接觸，所以壓力很高，其應力情況和滑動研磨的應力情況不同，並且還受不斷的反覆負荷。這種反覆負荷會使工件發生表面疲勞現象，不過由於研磨時間不長而尚無甚影響。但是這時候研磨劑中磨粒壓緊，刮削和使表面變形的作用要比滑動研磨強，所以實際工作中磨削量往往是高於5%的。

第二章

工 件

一 準確度和表面精度

通常祇有在對工件的尺寸準確度、形狀準確度和表面精度的要求特別高時才進行研磨。

a) 尺寸準確度

關於研磨究竟可以達到怎樣的準確度和保持何種公差，這一個問題可以簡單地回答：研磨是現代最精密的加工方法，使用最細的研磨劑時切屑極細，去屑極慢。因此可能達到最近似的尺寸。在加工過程中量度問題比研磨本身更為重要，基本上總是由於量具的精確性無法再予以提高而限制了研磨的準確度。沒有特殊困難的情況下通常能照驗規公差的準確度製造。對於中等的尺寸可以達到的準確度為 2μ 。

爲了照顧經濟的原則，應該避免對研磨的準確度提出過份高的要求，而應在設計上設法採用比較低的準確度來解決。此外也可以將公差分類，採用選擇配合。

b) 形狀準確度

工件和它的理想的幾何形狀之間總是有誤差的。這個誤差範圍尚使很大。肉眼便看得出來（不平、不圓、球形等）。研磨所能達到的形狀