

出版者的話

苏联國立机器制造書籍出版社出版「机床工人科学普及叢書」的目的是为了帮助机床工人提高他們的理論知識和实际知識。这套叢書有系統地講解了金屬切削加工的基本原理。每一小册深入淺出地敘述一个問題，文字通俗易懂，插圖多用立体圖，很適合工人閱讀。我們認為这套叢書对我國机床工人系統地提高理論水平有很大帮助，所以決定把它陸續翻譯出版。

这套叢書分成三組，共 26 輯。第一組敘述有关金屬切削的一般問題，共 10 輯(1~10)；第二組說明金屬加工的各种方法，共 10 輯(11~20)；最后一組介紹各种金屬切削机床，共 6 輯(21~26)。

本書是介紹磨削加工过程、砂輪的組織和使用、合理使用磨削方法的基本原則和磨削工作中的一些知識。可作为磨床工人的學習材料。

苏联 П. И. Ящерицын 著 ‘Шлифование’ (Машгиз 1954 年
第一版)

* * *

著者：雅舍利臣 譯者：寒 松

書号 1093

1956 年 4 月第一版 1956 年 4 月第一版第一次印刷

787×1092 1/32 字数 36 千字 印張 1 5/8 0.001—6.000 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(7) 0.21 元

机床工人科学普及丛书

雅舍利臣著

磨 削



机械工业出版社

目 次

一	前言.....	3
二	磨料.....	5
三	砂輪就是切削工具.....	6
四	砂輪的規格.....	8
五	砂輪的使用.....	13
六	在磨削時金屬是怎樣被切下的.....	14
七	在磨削時所產生的熱.....	16
八	使用砂輪時的切削深度.....	18
九	切削力和磨削精確度.....	19
十	在頂針上的外圓磨削.....	21
十一	外圓無心磨削.....	26
十二	內圓磨削.....	35
十三	內圓無心磨削.....	37
十四	平面磨削.....	39
十五	經過磨削的零件的質量為什麼高.....	45
十六	快速磨削.....	48
十七	結語.....	51

一 前言

你們每個人都看見過表面加工得像鏡面一樣光亮的金屬零件。這樣的零件，在縫紉機、汽車、掘土機以及許多其他機器上都可以碰到。究竟爲甚麼要把這些零件加工得這樣精緻呢？原來是在各種機器上有很多零件是需要這樣好的表面質量的。這些零件的表面加工得越好，它不需要修理的使用壽命也越長。

零件的磨損、耐蝕性以及勝過摩擦力所消耗的能量，甚至零件本身的強度都與零件的表面質量有關。

關於這些問題，在本叢書的第八冊中已詳細地敘述過了。可是關於使表面達到所要求的質量的方法問題還未得到解決。究竟用甚麼加工方法才能使某種零件的表面達到我們所需要的質量呢？

零件的鏡子般光亮的表面，用各種不同的機械加工法都能製出。最常用的機械加工法之一，就是磨削。這種加工法，在很古的時候就已知道。當時（九至十三世紀）俄國鐵匠對鋼鐵製件，是用手工傳動或足踏傳動的磨輪加工的。磨輪的材料便是天然的砂磨石、金剛砂或鋼玉。

後來發現了用硬岩石微粒和黏結劑的混合物製造人造磨石的方法。人們就學會了更好地加工零件表面，開始了使用較精細的磨削方法。這就使在製造武器時，能夠進行表面拋光。拋光並已成爲預磨加工後的必要工序。拋光是在光滑的木器上塗上油脂和淤泥的混合物來進行的。

近來磨削方法逐漸得到改進。人們學會了製造更完善的現代人造磨具（砂輪），發明了第一台磨床。

由於機器的出現，尤其是零件精細加工的必要性，使得磨削的應用範圍日益廣泛。因而就要求有新的更好的磨床和磨具。這種要求，經過了很久的時候到底是被滿足了。

現今在蘇聯工廠裏，使用着不同性能 的各種磨床。磨削過程，都是快速自動化的。蘇聯的磨料工業，出產着各種牌號的高強度砂輪。

甚麼是磨削過程？

磨削過程，就是使用製成砂輪的磨料顆粒，劃削被加工表面的過程。每一磨料顆粒在被加工表面上刻出劃痕，從金屬表面上磨掉很小的碎屑。

磨料顆粒是具有很高的硬度和耐熱性的細小砂粒，因而能夠磨削硬質材料。用砂輪可以很容易地磨下鋼鐵鑄件的硬表皮，和加工淬硬鋼。這種硬表皮和淬硬鋼，甚至用硬質合金刀具切削都很大的困難。就是硬質合金刀具一般都得使用砂輪來刃磨。

用磨削方法可使被加工零件的表面光滑和形狀精確。磨削工序，經常作為最後一道工序。因此，金屬的磨削加工應用得很廣泛。例如，在大批生產和大量生產的機械製造業中，磨削工序在全部金屬切削加工工序當中佔很大的比重，約為30~40%。

磨削的主要類別有：外圓磨削、內圓磨削和平面磨削。磨削的發展前途很大，尤其是在機械製造業中。當製造機器時，要儘量地減少零件的加工餘量，縮小到僅靠磨削和光整工序來完成機械加工。而且磨削和光整工序，在不斷提高生產率方面，具有無限的可能性。同時，提高生產率主要是靠改進切削用量：切削深度，切削速度和進給量。

一般在工廠中磨削時，要進行三次至十次砂輪的工作行程。如果加大磨削深度呢？顯而易見地就要減少砂輪的工作行程的次數，

縮短每個零件的加工工時，因而生產率就必然提高。至於進給量，在不降低表面光潔度的條件下，是可以大大提高的。這一點我們今後是可以看到的，特別是在高速磨削時就更容易實現。磨削速度，目前已可以从每秒 80 公尺提高到 50 公尺或更多。

在機械製造業中戰後時期的特點就是：更多地提高機器的精確度，更廣泛地運用零件和部件的互換性，大量地使用淬硬材料和硬質材料，儘量地減少零件的加工餘量。在這些條件下，不斷地提高磨削作用，即用磨具加工金屬的作用。

在這本小冊子裏，我們所講的是：磨具是什麼，金屬磨削過程中發生些什麼物理現象，以及在機械製造廠中採用哪些主要磨削法。

二 磨料

人們在很早以前就知道了磨料。古代的獵人還在用天然金剛石刃磨自己的武器時，就發現這種石頭可以割削很硬的材料，包括金屬在內。

如果拿普通的石英砂和氣流調配在一起，經過特製的噴咀噴向硬鑄件或淬硬零件的表面上，則每顆砂粒由於衝擊作用，會把零件表面上擦出劃痕。表面上的很多劃痕，是由於鬆散砂粒（實際上就是磨料顆粒）的作用而產生的。由於零件被砂粒的「噴吹」，它的表面就得到了加工。

目前，已經使用特製的噴砂机加工鋼鐵鑄件以及淬硬零件等。從特製的噴咀中以高速噴出的砂流，能很快地把具有高硬度的玻璃吹穿。當配磨活門座時，往配磨面上撒上磨料粉。鬆散的也就是互不結合的微細顆粒，由於它本身的運動，能切下極薄的金屬層。兩配磨表面互相磨合。

由於磨料具有高的硬度和劃削其他材料的性能，因而可把它當作刀具使用。同時磨具的切削部分就是磨料的顆粒。磨料顆粒有鋒利的邊緣，這是在塊狀磨料壓碎時所形成的。

磨料分為兩種：天然磨料和人造磨料。天然磨料為礦石——鋼玉和金剛砂，這種礦石的主要組成部分是氧化鋁（礬土）。人造磨料中有：人造金剛石、碳化矽和碳化硼。

三 砂輪就是切削工具

用鬆散的磨料顆粒加工零件時，可以更充分地利用顆粒的切削性能，在這種情況下，每一顆粒都在旋轉，用任一切削邊緣來劃削零件表面。但是鬆散的磨料顆粒，不能修正工件的形狀。例如使用噴砂機加工時，不能修正橢圓形或圓錐形。正因為這樣，所以必須把很多磨料顆粒互相結合起來，並製成便於作為刀具使用的形狀。這樣便出現了砂輪。

砂輪中顆粒的排列順序是不規則的，用硫化橡膠黏結劑、人造樹膠黏結劑、黏土黏結劑、氧化鎂黏結劑或矽酸鹽黏結劑等結合起來。黏結劑並沒有把顆粒之間的所有孔隙完全填滿，所以便形成了很多鬆孔。由於有這種鬆孔的存在，使得砂輪表面能更好地容納磨屑。當砂輪迴轉的時候，這些磨屑便被冷卻液沖掉，並清洗了部分的鬆孔。砂輪工作表面上的顆粒，磨削工件表面。由於進給運動，而使工件獲得所規定的形狀。

我們看一下在工作時的砂輪1（圖1）。假如把砂輪的工作面放大，就不難看出圖1上部所表示的各種形狀的許多磨料顆粒。這些顆粒中的每一顆粒，都能劃削零件2的表面（見圖1右圖）。把每一顆粒的工作比作一把普通車刀的工作縮影。但是顆粒的工作條件有它自己的特性。由於磨料顆粒在砂輪中排列得不

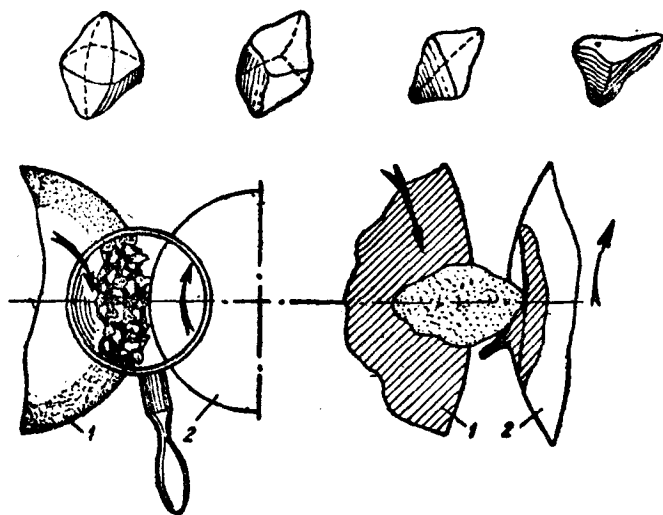


圖1 工作中的砂輪。

規則，所以顆粒的切削角度是不利的。大多數顆粒的前角都是負的。

正確選擇的砂輪，具有自動刃磨的性能，這是它比其他刀具有有利的地方。在磨削過程中，作用在顆粒上的力，隨着顆粒的磨鈍而逐漸增加，當黏結劑不能黏結住顆粒時，顆粒便自行脫落。下面露出來的是以前從未參加過磨削的、新的銳利的顆粒。砂輪的自動刃磨現象，是由於衝擊負荷作用在顆粒上而產生的。這時，顆粒碎裂而出現新的鋒利的磨削尖角（或面）。

砂輪的自動刃磨過程，實際上是由於很多顆粒的脫落和顆粒碎裂成小塊，出現新的磨削面而形成的。根據工作條件的不同，每一種自動刃磨各有各的優點。可是，在某些磨削條件下，必須強制地使顆粒碎裂或脫落。在這種情況下，便使用金剛石或金剛石代用品（砂輪修整刀、修整盤、砂輪等）來刃磨和修整砂輪。

大部分的磨削工序，都是在砂輪的局部自動刃磨情況下完成的。

當使用金屬工具（切刀）工作時，可用改變切削用量和切刀工作部分的形狀，來控制切削過程。磨削時磨削用量可以改變，但起切刀作用的顆粒的幾何形狀是不能改變的。可是在磨削時磨削過程，也可以由磨具來控制。因此，就必須學會正確地選擇砂輪的規格。

四 砂輪的規格

砂輪的規格有哪些標誌呢？砂輪的規格標誌如下：1) 砂輪的幾何形狀和尺寸；2) 磨料的種類和等級；3) 顆粒的尺寸；4) 黏結劑的材料；5) 砂輪的硬度；6) 砂輪的組織即砂輪的結構。下面我們就來研究一下這些標誌中的每一種標誌。

要想完成各種磨削工序，就須備有不同形狀和尺寸的磨具：砂輪、磨削頭、磨塊和鑲片砂輪。實際上都使用直徑為10公厘至600~700公厘的砂輪。磨具的形狀和尺寸，在蘇聯國家標準（ГОСТ）中都有規定。在標準中規定的砂輪形狀如下：

- 1) 圓形平面砂輪 ПП (ГОСТ 2425-44)；
- 2) 錐形平面砂輪 2П (ГОСТ 2426-44)；
- 3) 單面圓槽平面砂輪 ПВ (ГОСТ 2427-44)；
- 4) 雙面圓槽平面砂輪 ПВД (ГОСТ 2429-44)；
- 5) 直口杯形砂輪 ЧЦ (ГОСТ 2436-44)；
- 6) 敞口杯形砂輪 ЧК (ГОСТ 2437-44) 等。

砂輪的主要尺寸有：外徑 D ，厚度 H 和孔徑 d 。

製造砂輪用的材料，使用最廣的是人造磨料：人造金剛石、碳化矽和碳化硼。人造金剛石具有很高的硬度，它的硬度僅低於碳化矽、碳化硼和金剛石。此外，人造金剛石的韌性也很大，在

破裂之後，顆粒上形成鋒利的切削刃，它可用來磨削原鋼、淬硬鋼、可鍛鑄鐵、軟青銅等。

碳化矽的硬度也很高，它的硬度僅低於碳化硼和金剛石。此外，它能耐熱（至 2050°C ），並具有強大的磨削性能。碳化矽有兩種：黑色碳化矽和綠色碳化矽。綠色碳化矽有較大的硬度，使用綠色碳化矽砂輪磨削時有高的生產率。綠色碳化矽可用來加工鑄鐵、青銅鑄件、鋁鑄件、硬質合金等。碳化矽的缺點，就是脆性較大。

碳化硼的硬度，接近於最硬的材料——金剛石的硬度。同時它很脆。可用來進行研磨硬質合金和進行配磨等工作。

砂輪的粒度，決定於磨料顆粒的尺寸，表示的號數是8~700。砂輪粒度的號數越大，則顆粒的尺寸越小。例如：粒度號數為8時，顆粒的尺寸為1680~2330公忽（1公忽等於0.001公厘）；粒度的號數為325時顆粒的尺寸為28~44公忽等等。

在一個砂輪中含有不同尺寸的磨料顆粒，但是大部分顆粒的尺寸都是相同的。要想得到同一尺寸的顆粒，就得用篩孔為規定尺寸的篩子來篩磨料粉。同時，過篩時所使用的篩子，它的篩孔，要一次比一次小。從規定尺寸的篩子篩下的，並留在下一號篩子裏的磨料，它的粒度就用上一號篩子的號數來表示。這樣分類的顆粒，它的粒度可達200~230。粒度的號數，大約和每一吋長度內的篩孔數相等。

顆粒的分類，也可以用磨料粉浸在水中以沉澱分離法來進行沉澱分離。這樣來進行顆粒分類，粒度可達325。實際上，這種磨料粉也叫做分計磨料粉。因為粒度是根據磨料粉通過一公尺高的水柱沉澱時所消耗的時間（以分計算）而定的。

磨料中還有一種所謂細磨料粉。細磨料粉的顆粒大小，一般

不用粒度号数表示，而用以公忽计算的颗粒尺寸表示。这是粒度最细的一种磨料粉，用字母M和单位为公忽的颗粒极限尺寸的數字來表示。

实际上通常使用的，有11个粒度号数：8、10、12、16、20、24、36、46、60、80、100。同时粒度100是这组磨料粉中最细的一种。

普通磨料粉分有下列粒度：100、140、170、200、230、270、325；而细磨料粉的表示方法如下：M28、M20、M14、M10和M7。

经过粉碎和按粒度分类的磨料颗粒，用黏合物質——黏結劑結合。黏結劑能把颗粒黏結在砂輪表面上，直到颗粒磨钝为止。

实际所使用的黏結劑，有下列数种：黏土黏結劑、矽酸鹽黏結劑、氧化鎂黏結劑、人造樹膠黏結劑和硫化橡膠黏結劑。其中使用最廣的是黏土黏結劑、人造樹膠黏結劑和硫化橡膠黏結劑。

黏土黏結劑能使砂輪鬆孔多、强度大和耐濕性强。使用一般方法製造的这种砂輪時，磨削速度每秒不超过35公尺。特製的砂輪可容許用大的速度。

人造樹膠黏結劑結合的砂輪，鬆孔較少。这种黏結劑具有高的强度和足够的彈性。这种砂輪可用來進行高速（60公尺/秒以內）磨削。在磨削过程中，多半不需要冷却。

硫化橡膠黏結劑有比樹膠黏結劑更大的彈性和强度。用硫化橡膠黏結劑結合的砂輪，最適用於精加工工序中使用，因為这种砂輪不僅能够很好的磨削，而同時还能把被加工表面少許拋光。使用这种砂輪磨削時，可利用冷却液。

砂輪应具有一定的硬度。所謂砂輪的硬度，就是砂輪工作面

抵抗由於磨削力而引起破裂的能力。當黏結劑材料和粒度一定時，硬度的各種等級，主要是根據結合磨料顆粒用的黏結劑的數量不同而定。

砂輪根據硬度，分成數類（見表1）。

表1 按硬度區分的砂輪類別

硬 度 等 級	代 号	硬 度 細 別
1	2	3
軟	M	M1—M2—M3
中軟	CM	CM1—CM2
普通	C	C1—C2
中硬	CT	CT1—CT2—CT3
硬	T	T1—T2
極硬	BT	BT1—BT2
最硬	4T	4T1—4T2

表1第3欄中的數字1、2、3，是按硬度的遞昇順序，表示磨具硬度，即數字越大，硬度越高。

磨削硬質材料時，磨料的顆粒磨鈍得較快。因此，爲了保持砂輪的切削性能，就要使用硬度較小的砂輪，以便經常修整它的工作面。磨削淬硬鋼時，最好用CM砂輪；磨削原鋼時，用C和CT砂輪。青銅、黃銅、紫銅、鋁等材料，用M和CM砂輪加工。

所謂砂輪的結構，應該把它理解爲砂輪的內部組織，也就是在砂輪中，顆粒、黏結劑和鬆孔的比率和相互間的位置。

砂輪的組織分有十三個號數。號數小的就是結構較緊密的（顆粒間的距離小）；而號數大的就是結構較疏鬆的（顆粒間的距離大）。砂輪的結構，每增大一號，就是砂輪中磨料顆粒的體

積減少2%，而黏結劑的體積增大2%。這時砂輪中鬆孔的總體積仍舊不變，但是鬆孔的大小，要變大一些。這種情況在磨削過程中能夠改進磨屑的容納條件，也就是砂輪不易膩塞。

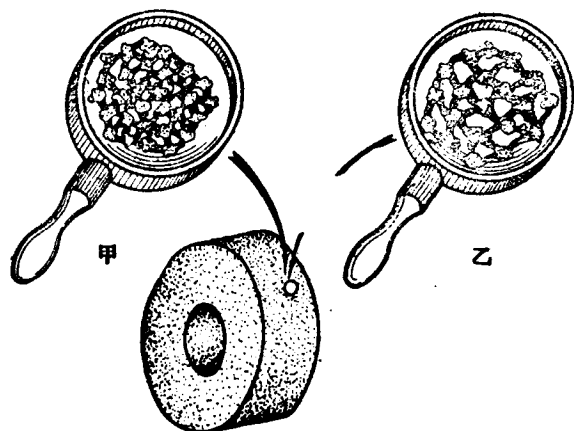


圖 2 砂輪的結構。

圖 2 所示為不同結構的概略形狀。圖 2 甲為砂輪的緊密的結構，而圖 2 乙為疏鬆的結構。不同種類的磨削工作，採用不同的砂輪結構（見表 2）。

表 2 按工作種類區分的砂輪結構

小鬆孔砂輪	中鬆孔砂輪	大鬆孔砂輪	大鬆孔(疏鬆的)砂輪
4~5 號結構	6 號結構	7~8 號結構	9~12 號結構
磨削表面光潔度高的硬質和脆性金屬 定形磨削	磨外圓和刃磨工具	磨削軟質和韌性金屬 磨平面	高速磨削

五 砂輪的使用

任何一個砂輪都有一定的技術規格，標註在砂輪的一個端面上。這就是所說的砂輪牌號。磨工應當看得懂牌號。例如，下面所列的砂輪牌號上的各項代號表示些甚麼呢？

工廠〔依里奇〕

346CM25K

ΠΠ500×150×305

35公尺/秒。

從這些代號可以確定，這個砂輪是〔依里奇〕工廠出品，砂輪形狀為ΠΠ（圓形平面），外徑為500公厘，厚度為150公厘，孔徑為305公厘，製造砂輪用的材料為人造金剛石，粒度為46，硬度為CM2，砂輪的結構序號●為5，用黏土黏結劑結合；允許轉速為35公尺/秒。

在使用新砂輪之前，應對砂輪進行張力試驗和平衡試驗。

張力試驗是在專用機床上進行5~10分鐘，試驗時的圓周速度應超過砂輪的技術規格中規定的速度的75~100%。為了讓砂輪工作得穩定，就必須使砂輪的重心與迴轉軸線相重合。這樣可使砂輪在專用平衡裝置上平衡。所有直徑在150公厘以上（包括150公厘在內）的砂輪，都應使之平衡。

進行精密磨削時，應定期地修整砂輪。修整砂輪是為了使砂輪恢復它的切削性能，使砂輪具有正確的幾何形狀、尺寸和外形。此外，修整砂輪對於砂輪軸線與磨床主軸軸線相重合來說也是必要的。進行特別精確的磨削工作時，需要用金剛石來修整砂輪。在其他情況下，用在支架上迴轉的淬硬修整盤或硬質合金修

● 實際上在牌號上並不標註結構序號。——著者

修整一類的金剛石代用品來修整砂輪。有時用小尺寸的砂輪來代替修整盤。

金剛石代用品的構造，主要分成兩種：1) 接觸類型的，屬於這種的修整盤或修整輪，是由於和砂輪的工作面相接觸而迴轉；2) 用磨削方法工作，這時修整用的金屬輪或砂輪是迫使它迴轉的，與砂輪的迴轉無關。

六 在磨削時金屬是怎樣被切下的

砂輪的工作，有它一定的特點。所有的金屬刀具，都具有連續的切削刃。譬如，當銑刀工作時，是按它的寬度從被加工表面上切下連續不斷的切屑。

砂輪沒有連續的切削刃。在砂輪的任意一條母線上，都有一些相互距離不等的顆粒，同時每一顆粒都能從被加工表面上切下切屑。當工件和砂輪母線接觸的瞬間，只能在這條母線上有顆粒的地方產生切削，而所產生的是斷續切削。這種情況能完全改變已加工表面的圖形。

我們來研究一下，砂輪 2 在極其緩慢的切削過程中和工件 1 的接觸瞬間（圖 3）。為此，我們將大顆粒的砂輪逐漸地迴轉到很小的角度 α 。這時便可得到砂輪和工件接觸的各種不同瞬間（見圖 3 甲、乙、丙）。

現在我們注意一下和砂輪接觸的工件表面上的一小塊面積。假定面積的尺寸為 1×1 公厘。在圖 3 上把這塊面積用小圓圈圈起來，並標出三個順序瞬間（甲、乙、丙），在研究時使用放大鏡。

當砂輪迴轉第一轉之後，在我們圈定的面積上出現幾道劃痕 3。這些劃痕是在圈定面積範圍內的砂輪顆粒劃出的。在圖 3

(上部)上能很清楚地看見這些劃痕的橫斷面積。當砂輪迴轉第二、第三轉之後，又將出現怎樣情況呢？那時在圈定面積內的劃痕數量，將會不斷地增加。要想把圈定面積內的全部金屬層完全削掉。就得使該面積和砂輪所接觸的時間必須能够在該面積上劃出連續的劃痕。

磨料顆粒在砂輪中的排列順序，正像我們所知道的那樣，是不規則的。因此，在磨削過程中，在絕大多數的情況下，磨料顆粒都是在劃削〔新的〕表面，只有一部分顆粒才在已劃出的劃痕上劃削。這種情況也直接影響磨屑的形成過程。縱向的磨屑形狀，好像兩個逗号對接起來的一樣（中間粗）。

在圖3所示的圖形中，工件是不迴轉的，而砂輪是用手迴轉不大的角度。實際上磨削過程是在砂輪和工件同時迴轉的情況下進行的。並且砂輪的轉速相當於工件轉速的80~100倍。因此，許多劃痕都出現在工件的迴轉方向上，並在工件的整個表面上逐漸地佈滿了劃痕。然後才能進到削去金屬表層的瞬間。

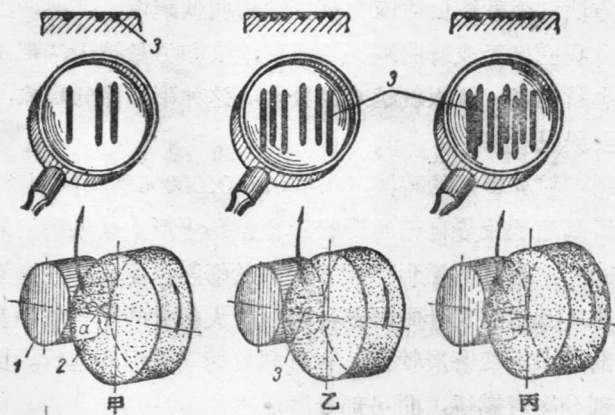


圖3 磨削表面的形成圖。

很明顯，在單位時間劃痕產生得越多，從工件表面上金屬層削去得也越快。如果砂輪工作上的磨料顆粒的數量多，也可以說在使用小顆粒砂輪時，就能達到這一點。但是使用這種砂輪工作時，會降低磨屑的容納條件，砂輪容易膩塞。

所以要想提高磨削生產率，就必須選擇顆粒較小而又不易膩塞的砂輪。

可是，磨削生產率不僅是和砂輪的選擇有關。增加砂輪的轉速，能够在單位時間內加快劃痕的產生，因而要想提高磨削生產率，還得要增加砂輪的轉速。

七 在磨削時所產生的熱

在磨削過程中所產生的熱，可以使磨屑甚至工件劇烈地燒熱。這種熱是由於磨料顆粒和黏結劑材料對被加工表面的摩擦，而主要是在削下磨屑時金屬碎屑互相之間的摩擦而形成的。

因內摩擦而產生的熱，不僅在磨削時可以覺察出來。如果用錘擊的方法打平軟鋼板或依次反復地彎曲軟鋼板，那麼軟鋼板就會發熱。我們打平或彎曲鋼板的速度越快和力量越大，那末所產生的熱也就越多。鋼板就越來越發熱。這種形成熱的現象，在磨削時也會發現。

磨料顆粒在很短的時間（ $0.0001 \sim 0.00005$ 秒）內削下磨屑。同時磨屑劇烈地改變自己的形狀，也就是變形。結果磨屑的溫度達到 1000°C ，有時竟達到 1500°C 。由於切削速度高，在磨屑中產生的熱來不及傳到工件的內部。因而絕大部分的熱都集中在一部分的磨屑中，使磨屑軟化，和有利於切削過程的進行。由於溫度高，部分磨屑燃燒，而另部分磨屑熔化。

切去同體積的金屬時，用砂輪和用車刀所產生的熱是不一樣