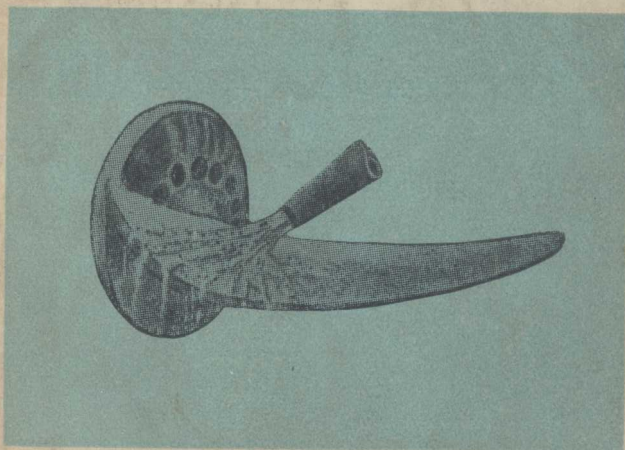


機床工人科學普及叢書

賴 鮑 金 著

機器零件精加工



機械工業出版社

蘇聯 А. Н. Работин 著 'Чистовая обработка деталей машин'
(Машгиз 1952 年第一版)

著者：賴鮑金 譯者：龔 毅 書號 0533 (工業技術)

1954 年 8 月第一版第一次印刷 0,001—7,000 冊

787×1092^{1/32} 37 千字 1^{11/16} 印張

機械工業出版社(北京盛甲廠 17 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價 2,200 元

出版者的話

蘇聯國立機器製造書籍出版社出版「機床工人科學普及叢書」的目的是爲了幫助機床工人提高他們的理論知識和實際知識。這套叢書系統地講解了金屬切削加工的基本原理。每一小冊深入淺出地敘述一個問題，文字通俗易懂，插圖多用立體圖，很適合工人閱讀。我們認爲這套叢書對我國機床工人系統地提高理論水平有很大幫助，所以決定把它陸續翻譯出版。

這套叢書分成三組，共 26 輯。第一組敘述有關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種方法，共 10 輯(11~20)；最後一組介紹各種金屬切削機床，共 6 輯(21~26)。

本書譯自蘇聯機械工人普及科學叢書第二組第 9 輯。本書把現代機械製造業中廣泛應用的各種金屬精加工的基本方法都作了詳細的講解。對於將被廣泛採用的精加工方法也作了介紹。

本書可供四、五級以上各工種機械工人作必要的學習材料。

目 次

一	前言	3
二	精車	5
三	細車	12
四	精鉋	15
五	精銑	18
六	鉸孔	22
七	拉削	25
八	輪磨	28
九	研磨	36
十	鏜磨	40
十一	超級精加工	44
十二	拋光	47
十三	最新的機械精加工的方法	49
	1 表面的陽極-機械精磨法——2 液體噴砂的表面加工法	
十四	結語	52

一 前言

當你們經過機械加工車間的時候，一定會見到各種各樣由鋼、鑄鐵或其它各種金屬製成的零件，一定會很自然地注意到閃閃發光的精加工過的零件表面。在進行精加工的機床附近，能夠看到尚未精加工的和已經精加工的零件，你們一定能很方便地把比較光潔的零件表面跟較差的區別開來。

當你們觀察過機床附近的零件後，如果再看一看機床的話，那末就能見到許多用銑、車、磨以及其它一些可能為你們還不熟悉的方法加工出來的表面，這時你們一定能辨識這些表面的光潔度的不同。並確信加工過的零件表面比沒有加工過的要光潔些。

當你們靠近某些進行細磨或精磨機床的時候，你們的注意力一定被非常光滑的、幾乎閃光的零件表面所吸引住，這種表面呈現出非常良好的光滑。

不過我們都知道，用任何一種機械加工方法，要想得到十分良好的光滑表面是不可能的，因為在切削工具的作用下，加工面上總有凹陷和梳狀的不平現象；這些不平現象是在所有類型的機器零件切削加工中都存在着的，無論是粗車、精車、銑、輪磨、精磨等等都是這樣。有時候加工面不平的現象可以用肉眼看出來，但是有時候必須通過放大鏡或顯微鏡才能看出來。

我們知道，即使小到非用儀器才能看出來的粗糙度，但對於機器的工作却有着很大的意義，因為它是密切地跟表面的耐磨性、配合精度、機器的效率、零件的疲勞強度、表面的化學破壞和熱破壞等（如在內燃機的汽缸中）都有關係。

金屬往往在切削加工的過程中受到所產生的溫度和變形的影響而使它的表面層變更了原來的結構、機械性能和物理性能。而最重要的工作是要把零件的這個金屬表面層做成僅僅幾十公忽厚。

越是粗糙的加工，這個表面層的變化的深度也就越深，因此也就是使金屬的加工性變得不好了。

因此，精加工的任務不僅要得到較精密的和光滑的表面，而且要使在加工時發生變化的表面層能有最高級的機械性質和物理性質。✓

隨着人們對於現代的機器無論在精度、高速行程、堅固性、壽命等方面的日益增長的要求越來越高，這就促使機械製造者要去探求零件表面精加工的新方法。有些精加工方法如鉸、輪磨、細車等在許多情況下已不能滿足機器上重要零件的要求了。

即使是輪磨，儘管加工面上的尖刺高度只有 $0.2 \sim 0.4$ 公忽，但還是不能保證高速行程和馬力強大的機器零件的摩擦表面上所需要的光潔度和質量。

✓對於加工許多飛機和汽車發動機上的零件——如汽缸、活塞、活塞桿、活塞環和凸輪軸等，應當採用新的精加工方法（尖刺的平均高度在 0.01 公忽以下），這就是用精磨的方法——鏜磨、研磨和超級精加工。✓

在機械製造中所採用的許多加工方法，基本上是用來加工表面的，由此可見表面質量是具有怎樣巨大的意義。這些表面要精加工的零件數量不斷地在增長着，不久以前蘇聯的學者和工程師們研究出了一種完全新的零件精加工方法，那就是陽極-機械精磨和液體噴砂加工。

在現代的機械製造中，粗加工是一種因為毛坯不完整而不得不有的工序。

技術發展的道路就是改善毛坯形狀，減小加工餘量，使得可以免去粗加工而機械加工只是做一些精加工和修整加工的工序。而非工作表面也就可以完全不再機械加工了。

我們從工藝過程中也已經知道了很多預加工的例外情形了，經過調直拋光軋鋼機的鋼材，表面光潔度有▽▽▽7，精度可達到第3級，用圓形軋鋼來製造軸可以不需任何加工，用六角鋼製造螺帽和螺栓也不需加工，特別是長方型鋼用來製造精密鍵等的時候也不需要加工。

許多壓力澆鑄的零件，具有良好的光潔表面，不需要什麼加工。

粗加工在工藝過程中的比重逐漸降低，而零件表面的精加工却一天天地具有更為重大的意義了。

在這本小冊子裏，我們把各種精加工的方法的實質介紹給讀者，這些方法有的已經廣泛地應用在機械製造中了，有的將在不久以後就要採用的。

二 精 車

當機器零件還在用手工加工的時候，如果要加工一個正確的圓柱形表面是非常困難的，所以人們首先造出加工軸的車床來，以後才造出加工圓柱形內面的鏜床來。

從那時候起，在很長時期內就認為車工是精加工圓柱形表面的唯一方法。隨着車床和工具的改進，光潔度和精度也不斷地提高，到現在為止，雖然在精加工圓柱形表面上已有許多完善的方法——如輪磨、鏜磨、超級精加工等，但精車在機械製造中仍有相當的地位，在許多工廠裏，精車現已成為精加工機器零件圓柱形表面的主要方法，例如，在重型機械製造廠；農業機械和築路機械製造

廠；車廂製造廠和機車製造廠裏都是這樣。

可是在大量和大批生產的工廠裏，精車多半是作為修整加工（例如輪磨、研磨、鏜磨和其他方法）之前的準備工序。它的任務就是製造出足夠光潔和精確的表面，同時帶有進一步加工的最低限度的餘量。

餘量的大小是根據前面一道加工的光潔度和精度來決定的，也就是根據刀具切削所留下的尖刺高度和前一個尺寸的公差而定（圖1）。如果粗糙度越低、粗車的公差越小，那末為以後的加工所留下的餘量也就可以越少。

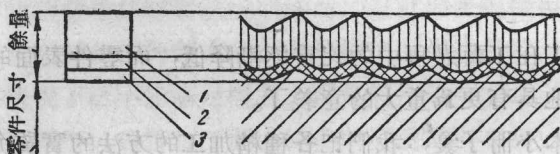


圖1 預加工的粗糙度和精度對於加工餘量的影響：

1—公差；2—預加工後的粗糙度深度；3—金屬冷作硬化層。

但是如果準備工序的加工精度和光潔度不好，那末整個企業中的勞動生產率就會降低。

為了使輪磨後的表面達到7~9級光潔度，那末必須在預加工時就達到4級或5級光潔度。對於比較粗糙的表面，要增加輪磨的餘量，於是也就降低了輪磨的生產率。除了為以後的精加工工序打下基礎而用車削預加工表面外，如果精度不需要超過3級，表面光潔度不需超過▽▽▽7的時候，車削也就可以作為最後的加工。

當零件精度不超過4級、表面光潔度低於▽▽▽7時，照例不用輪磨而只用車削加工就可以了。

在某些情況下，特別是在修理工場裏，用車削來進行加工的光潔度往往在▽▽▽9以上，不過還要用銼刀、砂布來進行修飾加

工，或用金剛砂粉來研磨。這時雖能得到很高的精度，但必須化費熟練工人巨大的勞動力。

這些精車方法的特點，在於只要用跟粗車同樣的車刀也能得到很好的加工精度。

✓ 加工面的光潔度和精度是跟許多條件有關係的，主要的有：走刀量、切削速度、刀具幾何形狀、吃刀深度、冷卻等。✓

每個車工和鏜工都知道這點，如果車刀的走刀量越大，那末加工面的光潔度越壞。✓

✓ 當刀尖沿加工表面漸次向前移動時，在它後面就留下了一定粗糙度的表面，這種粗糙度的深度是跟走刀量有關係的（圖2，甲）。

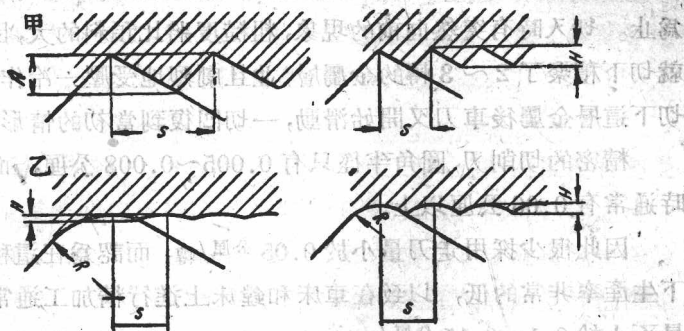


圖2 加工後的表面上的尖刺高度：

甲—各種走刀量；乙—各種尺寸的刀尖圓角半徑。

如果走刀量 S 越小，那末，尖刺的高度越低，加工表面的光潔度也就越高。✓

✓ 但是在某些走刀量很小的情況下，所得到的結果也並不好，表面光潔度仍然很差，這是因為車刀切削刃（不管鋒利與否）的前面和後面間有着太大或太小的圓角半徑 R 的緣故（圖3）。✓

當走刀量小時，切削刃圓角半徑壓擠下面不太厚的金屬層（跟

半徑 R 比較起來), 正像滑雪板在運動時, 它的圓端壓擠下面的雪一樣。但是雪究竟是要壓壞的, 而金屬却具有很強的彈性, 在車刀走過以後, 又恢復到原來的狀態。

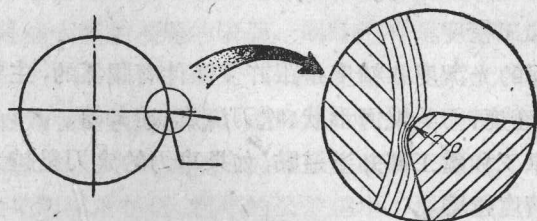


圖3 當切削層厚度小於切削刃圓角半徑時的金屬彈性恢復。

✓壓擠金屬的情形是這樣的, 車刀將在金屬表面上滑過而不切入, 一直到車刀積聚相當厚的金屬層, 它的切削刃已經可以切入時為止。切入時有突然向前的現象, 粗糙度將比預料的大, 因此這時就切下積聚了 2~3 轉的金屬層, 並且劇烈地受壓—冷作硬化。當切下這層金屬後車刀又開始滑動, 一切回復到當初的情形。✓

精密的切削刃, 圓角半徑只有 0.005~0.008 公厘, ✓而在磨礪時通常有 0.06 公厘以上。

因此很少採用走刀量小於 0.05 公厘/轉, 而認為在這種走刀量下生產率非常的低, 以致在車床和銼床上進行精加工通常用走刀量不小於 0.1~0.15 公厘/轉。

如用普通的車刀以各種不同的走刀量來車削, 可以得到如下的表面光潔度: 走刀量 $S=0.3\sim0.7$ 公厘/轉——▽▽4; 走刀量 $S=0.15\sim0.5$ 公厘/轉——▽▽5; $S=0.1\sim0.4$ 公厘/轉——▽▽6。

✓吃刀深度幾乎不能說是影響粗糙度的, 但是必須指出, 當吃刀深度太大時, 切削力較大, 機床、工件和工具要變形, 車刀要磨損, 於是加工精度和光潔度就會降低。

當吃刀深度非常小, 走刀量又很小的時候, 車刀在切削層上滑

過引起彈性變形。✓

在精加工時，車刀切下的金屬層厚度通常自 0.2 到 1 公厘。

✓ 切削速度對加工表面的光潔度具有最重大的影響，還在很久以前，車工的實際工作中就說明了只要切削速度越小，那末所得到的表面也就越光潔，於是當速度近乎 0.1 公尺/分時，就能得到如鏡面一樣的光潔，這時閃閃發光的切削加工的表面，幾乎不可能在它上面挑出某些粗糙的地方來。當稍許提高切削速度時，閃耀的表面便將消失。很明顯這是由於粗糙度而消除了光線，可是只憑肉眼是不能看出來的。✓

實際上，當切削速度為 1~2 公尺/分時，表面光潔度已經很好了。但是在這樣低的速度下，很不適宜於進行生產，所以自然要利用速度較高的精加工，✓ 不過在進一步提高速度時，加工表面的光潔度就會顯著地變壞，這是因為車刀前面上會形成切屑瘤（又叫附屑）。

在當時，用碳鋼刀具進行金屬切削加工時，切削速度沒有超過 30 公尺/分，某些研究者得出了一個不正確的結論，認為切削速度非常低的時候，大約在不超過 1~2 公尺/分的情況下才能得到光潔的表面。所以有一部分機械製造者探求新的，生產效能較高的精加工方法，於是就在這個時候出現了輪磨，而精車隨即喪失了原有的地位。

✓ 只是自從有了高速鋼刀具以後，才說明了切削速度在高於 20~25 公尺/分時，加工表面的光潔度能逐漸增進，而在切削速度為 60~80 公尺/分時（根據加工材料而定），認為跟低速度加工一樣。✓

✓ 而再進一步增加切削速度幾乎不大會影響表面光潔度，反而使生產率更加提高，可是高速鋼車刀不能承受這般極高的切削速度，只能用新的金屬燒結的硬質合金來擔當起精加工工序的生產

任務。

在機械製造中，有些零件如曲軸、非常沉重的軋輥軸頸等，它們不可能高速加工，這時，可以用低速，而以加大走刀量來進行精車，這時可以用寬車刀或刀尖圓角半徑較大的車刀來加工。如果把刀尖圓角半徑增大，而走刀量不變，就會減低尖刺高度（圖2，乙）。事實上如果刀尖半徑 $R=10$ 公厘時，走刀量可以達到 1.5 公厘/轉，而表面光潔度將跟用走刀量 0.35 公厘/轉並用刀尖圓角半徑為 0.5 公厘的車刀來工作一樣。

用寬車刀進行精加工的原理也是一樣的，寬車刀的直切削刃就是很大的半徑曲線。寬車刀可以用 2~40 公厘/轉的走刀量來加工工件。在用寬車刀和刀尖圓角半徑很大的車刀切削時，徑向力要增大很多。徑向力是垂直於零件中心線的，這樣會產生震動，這對於加工表面的精度和光潔度是極其有害的，因此如果用寬車刀來精加工的話，最好應用在非常結實的車床上加工大型的堅固的零件。

寬車刀的另一個缺點就是調整困難，萬一在調整刀具時，切削刃跟加工工件的中心線不平行的話，那末零件的表面將要形成波紋（圖4）。

切削刃和工件中心線間的夾角越大，波浪紋深度就越大，加工表面精度也就越低。

寬車刀在切入金屬時產生了巨大切削力使車刀變彎，這樣車刀就自然會切入加工表面。

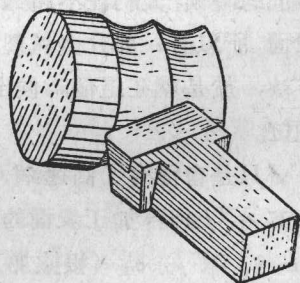


圖4 因調整寬車刀不正確而造成表面的波浪紋現象。

因此寬車刀不論在何種情況中，都不應當將它調整得高於工

✓ 件的中心線（只能低於加工物的中心線）而且必須用彈簧刀夾（圖5）。

✓ 刀夾應做成使它的彎曲中心高於切削刃的水平線。刀夾在這樣的彎曲之下，切削刃就不會切入加工面了。

車刀一般是製成鑲嵌式的，這是便於取下刀頭和當它遲鈍時可以掉換。

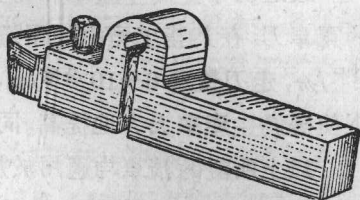


圖5 寬車刀用的彈簧刀夾。

✓ 車刀切削刃應當特別尖銳，因為通常是在切削深度小的情況下（0.05~0.15公厘）進行切削的，所製成的切削刃面應當研磨到鏡面般光潔。

在碳工具鋼製成的刀具上能製出最鋒利的切削刃，所以在某種情形下，就是當需要特別光潔的表面時，即使是妨害生產率，但還得採用碳鋼刀具。

寬車刀我們用來加工中等硬度的結構鋼和灰鑄鐵，在加工鋼材時，應用潤滑冷卻液，如果使用煤油混合物、松節油和乾性油的話，一定能有較好的效果。

如因某種原因不能利用其他方法來精加工表面時，或不可能用硬質合金刀具進行高速切削時，那末用寬車刀來加工表面可以算是最有利於生產的了，這種加工在重型機器製造中是時常應用的。

當用普通車刀以小的走刀量精加工寬的表面時，車刀要走過很長的路程，有時達10公尺以上，在車刀走到最後已經磨損的情形下，所得到的表面光潔度將很差，同時在車的時候會使零件尺寸增大，而在鏜的時候會使零件尺寸變小。

用寬車刀在這方面可以得到比較固定的表面光潔度和尺寸，因為在用大走刀工作時，它在同樣的一個表面上所走過的路程要小十幾倍，以致磨損較小，所以得到的表面光潔度可在▽▽▽8以上。

最近爲了提高生產率和刀具壽命，加工鋼料時採用硬質合金的寬車刀，在某些工廠中使用這類車刀的切削速度已達到80~150公尺/分，走刀量爲6~10公厘/轉，把這種車刀運用到生產中去，就促使勞動生產率大大地提高。同時也大大地提高了精加工的技術。

以上所說的精車均適用於加工各種硬度的結構鋼。

隨着技術的發展，機器零件要求應用新的材料來製造，例如，在飛機和汽車製造中廣泛採用輕合金，但這類合金的機械加工的性能特別壞，阻礙車刀進行切削，在輪磨時很快地使砂輪打滑，在鉸孔時使孔損壞。

總而言之，用一般的方法來精加工新的合金是絕對不會順利的，因此在機械製造發展的技術過程前面已經提出了新的任務，那就是要尋找新的、完善的方法來爲這類「棘手」的合金加工。

在二十世紀初期，這種圓柱形表面的加工方法，後來就叫做細車。

三 細 車

細車的特點就是走刀量很小(0.02~0.12公厘/轉)、吃刀深度不大(0.05~0.3公厘)而切削速度很高(120~1000公尺/分以上)。

這種切削用量需要採用非常耐磨的、帶有非常鋒利的切削刃的刀具。起初就利用金鋼石的天然尖銳刃口來切削，而在不久以前細車被稱爲「金剛石加工」。金剛石車刀在某些情況下可以工作三個月而不需重磨。

在機械製造中也有用稱做[維齊埃] (Видиа) 的硬質合金的，它跟金剛石的效用一樣，但是如果還沒有學會研磨硬質合金刀具的切削刃時，不要改用它。

現在使用硬質合金來細車、細鏜，雖較金剛石脆些，但較金剛石便宜得多，不過在加工砂合金時，刀具會很快地磨損，目前還沒有找出跟金剛石相當的代用品來。近來出現了一種新的金屬切削工具的材料——熱鋼玉，它可以代替金剛石並在用刀具切削的金屬加工中佔僅次的地位。

細車能達到較高的加工精度(到二級和一級精度)，而就表面光潔度來說能達到▽▽▽ 8 和▽▽▽ 9，幾乎不比輪磨加工差。

當走刀量和吃刀深度小的時候，所產生的切削力是不大的，所以在細車時壓到加工件上的力不會太大，(薄壁的零件除外)。這一點對加工容易變形的薄的工件來說，是十分重要的，細車能保證有着很高精度的表面幾何形狀的正確性，舉例來說，在細鏜直徑為 100 公厘的孔時，橢圓度是 0.003 公厘，甚至還要小；而圓錐度在長 100 公厘內是 0.003~0.004 公厘。

✓這種方法較之其他許多方法優越的地方，就因為細車時的表面層幾乎是不會損壞和發熱的，因而表面層的結晶組織幾乎毫無變動，冷作硬化也不會很大。所有這些就大大地延長了工作面的使用期限，而同時也就延長了整個機器的使用期限。

軟的黑色、有色金屬或合金具有高度的韌性，很難加工，這類金屬在磨削時就會很快地使砂輪表面[打滑]，而磨料砂粒却深深地陷到較軟的零件表面中去，實際上這些零件表面上的砂粒就變成研磨工具，當機器工作時它們就很快地把跟這個面接觸的面磨損，終於把機器搞壞。

在用鉸、拉等來加工較軟的金屬或合金時，金屬切削層的變形

一定很大，因為在用這種方法來加工的時候，切削速度很低，這時的被加工的金屬受到牽引、撕裂而粘附工具，使刀具斷裂。當然加工面的光潔度是壞的。為了減輕刀具的工作和得到好的表面光潔度，必須創造條件，使得切削層的變形不太大。大家知道，當增加切削速度和減小吃刀深度（切削層的深度）時，切削層的變形（切屑收縮）減小，因此只有在細車時由於切削速度高和切屑較薄才有可能使得較軟金屬製成的零件能得到質量很好的加工表面。

在工業中細車應用最廣，這是首先因為要以旋轉工件來得到高速切削要比從刀具方面設法要困難些，特別是那些不均衡的、龐大的、笨重的工件，更是困難；其次是由於用有色金屬、合金或鑄鐵製成的零件一般是澆鑄的，而有着複雜的形狀。

細車需要在行程特別快速的、結實且精密的車床上進行。調鐵這類車床總要化費很多時間，特別是把車刀調整到需要的尺寸就得化很多時間。在車削的時候如果吃刀深度很小和精度很高時，必須很仔細地調節，把刀子安裝到一定的尺寸。如果車刀磨損較快，那末很顯然，更應當常常調整車床。因此，為了減少調整機床上的時間損失所以就要採用比較堅固的硬質合金以及金剛石。由於這個原因，就目前說，在大量生產的工廠中細車已經廣為應用了。

通常細車用的車床是專門為了做一個工序而製造的，這種車床往往有很多軸，可在同一時間裏加工好幾個面。它和一般車床不同的地方就是主軸旋轉時有良好的精確度，徑向偏差不超過0.005公厘，轉數能達2000~4000轉/分以上，很平穩，走刀很小而往往是用液壓的，走刀量為0.02~0.2公厘/轉，機床各個構成部分十分牢固；除非是在很高轉數的時候才有震動的現象。

第一批細鏜用的鏜床出現在1928~1930年。目前蘇聯工業正在製造為細車所需要的一切機床和裝備。細車的操作法需要有較

高的文化程度和生產技術。如要精確地安裝工件，以及把車刀調整到所需尺寸精度能達到 0.005 公厘，這就非得應用特殊的設備不可，這時就需要極好地精磨車刀的切削刃，並非常勻稱地把車刀送進到工件。

細車用的車刀鑲有硬質合金或金剛石，它們是由黃銅鉚在刀體的特殊凹槽中的。

車刀的形狀最好是圓形的，這種形狀最便於安裝和緊固在刀夾上，但主要是這樣能夠製出精度非常高的工件來。緊固車刀用的刀夾時常製成能精密地把車刀調整到一定尺寸。

把車刀安裝到一定尺寸是用千分表或千分比較儀來進行的(圖 6)。

我們也時常採用能裝數把車刀的刀夾，以便供粗銼和精銼或同時銼階梯狀的表面之用。

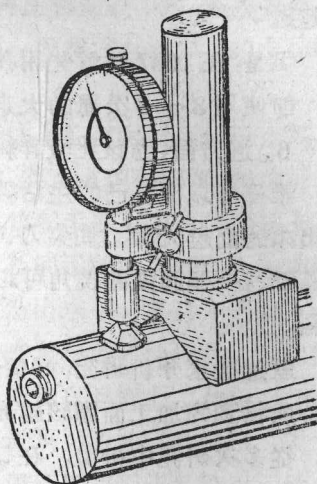


圖 6 根據千分表將車刀安裝到一定尺寸。

四 精 鉋

鉋床用於精加工不太適合，它的往復運動機構和鉋刀的衝擊工作使得在精加工時難以採用足夠高的切削速度，特別是當切削較軟的和堅韌的鋼料零件時更為困難。鉋床的切削速度一般是 6~25 公尺/分。在這種切削速度的範圍中，切削屑非常的高，所以加工面的質量一定不會好的。此外，在較大的龍門鉋床上的鉋刀進給機