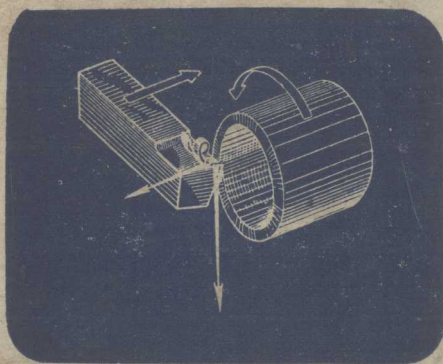


馬里科夫著 劉金鉞、金奎譯

金屬切削的阻力



機械工業出版社



工業技術

*

本書根據蘇聯 Ф. П. Маликов 著 'Сопротивление Металлов
Резанию' (Машигиз 1952 年第一版) 一書譯出

*

*

*

著者：馬里科夫 譯者：劉金鉞、金奎

文字編輯：顏一琴 責任校對：崔一

1953 年 11 月發排 1953 年 12 月初版 004001—10,000 冊
書號 0431-8-133 31×43¹/₃₂ 23 千字 17 印刷頁 定價 1,400 元(冊)

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(北京泡子河甲 1 號)印刷

中國圖書發行公司發行

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。爲了使新工人能够很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了「機械工人活葉學習材料」。

這套活葉學習材料是以機器工廠裏的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉚、焊等工種的工人爲對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的「活葉」出版。

這本小冊子譯自蘇聯 МАШИНИЗ 出版的「機床工人普及科學叢書」第3輯。爲了使書的內容適應「活葉」編例，在章節的順序上及內容上作了適當地修改。原書作者把金屬切削的原理，結合工作中和日常生活中的實例來說明金屬切削阻力產生的原因、它在不同工作情況下的變化以及怎樣用可能的辦法消滅它。對於提高四級到六級機工技術水平，增加他們的理論和實際知識有很大幫助。

目 次

一	切削時所作的功·····	3
二	切削金屬的力·····	6
三	怎樣的金屬容易切削·····	12
四	怎樣磨刀具使它容易切削·····	17
五	用鈍刀具切削是非常困難的·····	22
六	切下厚的切屑比較薄的切屑容易·····	24
七	切削速度和切削力·····	26
八	爲什麼滑潤液會減低金屬切削阻力·····	28

從很早的時候人們就知道金屬了。俄國鍛鐵工人的祖先不僅能用鐵與鋼來製造武器，並且還能製造生產器具，如斧子、大鐮刀、小鐮刀和剪刀等。但是人們在經濟生活中開始廣泛的使用金屬却不很早——僅僅不過是在150~200年前。

製造金屬的東西總是有困難的。大家都知道，金屬的加工比木頭的加工要困難得多。即使是從金屬上切下很薄的切屑也要費不小的力量。金屬跟木材以及其他材料比較，它的強度是很高的，所以它對切削發生的阻力也很大。

在十八世紀以前，金屬或其他材料的切削加工都是利用人力的（圖1）。在那個時候還沒有機械傳動的機床，這就是當時金屬用

途不大的基本原因之一。

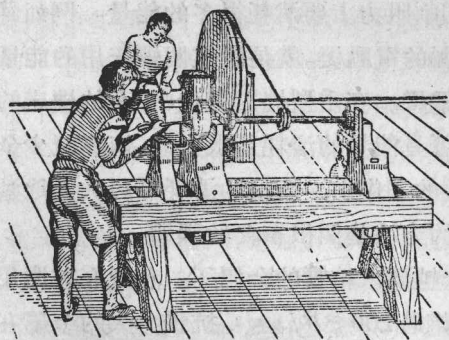


圖1 用人力搖動的車床。

現在金屬製件的加工是在用電動機帶動的完善的機床上進行的。要克服金屬對切削的阻力，完全不再用人力了。人只做管理機床的工作。

現在有的機床能經得起幾十噸的對切削的阻力（圖2）。雖然如此，但是在機器生產中，金屬對切削的阻力這個問題仍然起着很重要的作用。為什麼呢？第一，因為在設計時是要計算機件加工用的機床、切削工具和夾具的強度的。設計者為了這個，必須要知道

被加工金屬作用在切削工具上的力。第二，因為機床在工作時是不可以超過負荷的。超過負荷會引起機床零件過早磨損。極度超過負荷會使機床、工具或夾具損壞。爲了避免機床超過負荷，技師要根據機床所能負擔的最大負荷來計算切削規範。爲此技師也必須知道被加工金屬作用在切削工具上的力量。

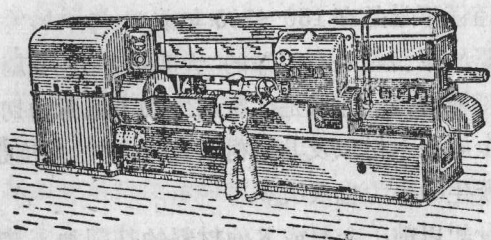


圖 2 現代強力車床。

在克服被加工金屬的切削阻力上要消耗很多的能量。例如蘇聯 200 號車床，它有 5.8 仟瓦的電動機。就是說這個機床用的能量足夠同時點 145 盞 40 瓦的電燈。在重型機器製造中，有的機床的電動機馬力達到 100 仟瓦，可見能量的消耗是很大的。依靠減少金屬切削的力量，在完成同樣的工作中，能量的消耗可以大大地減少。所以研究降低這些力量的方法是個很重要的課題。

機器製造隨着發展越來越要求結實的金屬了。在現在被應用的各種鋼中，有的抗張極限超過 200 公斤/公厘²。抗張力大的金屬在加工時發生大的切削阻力。現代機床完全可以克服這種阻力，但是切削工具在由這種力量所引起的大壓力下，會很快地變鈍。在相同情況下減少切削工具上的壓力是提高工具壽命最有效的辦法，也就是延長了兩次磨刀中間刀具的工作時間。

由此可見，金屬切削阻力規律的知識在機械製造中有着很大

的意義。自然，在金屬切削科學發展的初期，沒有碰到研究一個像研究金屬切削阻力這樣全面的問題。

俄國學者是金屬切削科學的創造者和發揚者的先鋒。基米、斯渥雷金、哥德林、阿發納斯耶夫和其他俄國學者的工作是舉世周知的。斯渥雷金在研究了全部關於切削的著作後，在他的一部著作中寫道：「理論方面問題的研究，可以說是唯一屬於俄羅斯學者的」。斯渥雷金的研究對金屬切削科學的發展有極大意義，這種研究被綜合在1893年出版的他的著作「切離金屬切削所需的力和功」一書中。關於這本書，基米稱它為「俄國技術著作中珍貴的貢獻」。

在我們國家裏，很多學者研究關於切削本身過程和切削阻力的問題。其中有庫斯涅佐夫院士，別斯波若茲瓦內、卡希林、羅津別格、拉林等教授。他們一步一步地揭露金屬切削過程中的秘密，讓隨着這些過程中所發生的現象的實際情況顯露出來。

金屬切削的阻力對機床和工具的工作有重大的影響。在實際中有不少例子說明，如切削阻力減少，工具磨損也跟着減少，而工件的精度和機床勞動生產率也就提高，工具損壞數量也就降低。切削力越小工作就越容易。怎樣才可以減少這種切削力呢？為了解答這個問題，我們必須先知道這個力量產生的原因。

在這本小冊子裏將說明關於金屬切削阻力發生的原因，在工作情況改變時它如何變化，怎樣用可能的辦法減小它。

一 切削時所作的功

當起重機將重物吊起來的時候，它就在作功（工作）。這種功實際就是克服了東西的重力。如果重物越重，把它吊得越高，那麼起重機所作的功也就越多。

汽車開動時也作着功。這功實際就是克服輪子跟道路間的摩擦力和空氣阻力。修路機掘地時用上面的斗子裝碎石子，抬起來運到別處堆成堆，這時也作了功。除此以外，每部機器爲了克服它自身部件間的摩擦力也要作功。

在機床上切削金屬的時候也要作功。但是究竟切削時的功的本質是什麼呢？

我們的興趣在於切削時工作的物理本質。如果認爲切削工作的本質僅僅在於從工件表面上切下所謂加工餘量的金屬層以得到零件最後的形狀和尺寸，這對我們來說是不夠的，因爲這不是切削工作的物理本質，而是工件加工的目的和任務。

切削功的物理意義是克服被加工金屬對切削的阻力。這定義很接近真實，但還是不夠嚴密的。這跟只說汽車開動時所作的功，它是克服阻礙這種運動的力量，而未說出這些力量的物理性質一樣。

在機床機構傳過來的力量作用下，切削工具的切削部分壓入被切削的金屬裏面而把它切削下來，被加工的金屬在這時自然要抵抗這種壓縮的變形，這樣就產生了力量，在車刀、鑽頭、銑刀、拉刀和其他類似的切削工具等刀前面上造成壓力；這種力量阻止刀具對於加工零件的相對運動。很多的能量就消耗在克服這種力量上。

克服摩擦力也要消耗能量。切削時所形成的切屑在刀前面上以很高的速度流動。這時候產生了摩擦力，它阻礙着切屑的運動。此外，刀刃面跟工件切削面間也產生着摩擦。

這樣，切削時所作的功的物理意義就是克服加工金屬的變形，同時也是克服切屑在刀前面上和刀具的後面在切削表面和加工表

面上的摩擦力。

由此可以得出，切削時所作的功包括兩個基本部分：消耗在被加工的金屬變形上的功和消耗在克服摩擦力上的功。

在變形上要消耗最大的功，特別是在韌性金屬加工的時候。例如用刀子切削時，全部能量的 90% 消耗在被加工金屬的變形上，而只有 10% 的能量消耗在克服摩擦力上。

很多其他刀具在切削時會產生很大的摩擦。例如麻花鑽鑽孔的時候，20% 的能量就花費在克服切屑跟螺旋槽表面的摩擦力和鑽頭本身跟孔壁切削表面的摩擦力上。

當用螺絲攻攻絲的時候，消耗在摩擦上的能量幾乎是攻絲全部切螺絲用的能量的一半。

因此，如果我們希望減少切削阻力的話，那麼我們首先就要用減少切屑變形或者減少摩擦的辦法。

但是用什麼方法才能減少切屑變形和摩擦呢？

用加大刀前角、增加切屑厚度和切削速度的方法可以減少切屑變形。以下我們就要更詳細地討論這些。

減小在切削過程中所產生的摩擦也是可能的。在自然界各處都有摩擦的存在。如果沒有摩擦，那麼，就是最簡單的機器也製造不出來了。機器上的零件全是因為有了摩擦的存在才能固定在某種位置上。如果沒有摩擦，就是極小的振動也會使螺絲、螺栓、螺釘等零件鬆開。可見摩擦對我們有很大的好處。然而當摩擦妨害我們工作的時候，我們就要跟它作鬥爭。摩擦可以減小，但是不能把它全部消滅。增加摩擦是很容易的，例如用卡盤卡着零件加工時，用一點力量使夾工件的卡爪鉗緊一些就能增大摩擦力了。

如何使切屑跟刀具間或者切削面跟刀具間的摩擦減小就是比

較難的問題了。用加大後角和所謂副偏角的方法可以減少刀具跟切削表面及已加工表面間的摩擦。例如爲了要減少鑽頭跟所鑽的孔的摩擦，就要把它磨出錐形來，直徑越到尾部就越小，這樣就可以得到副偏角，它的數值很小——不超過兩分。雖然如此，鑽頭和孔壁之間的摩擦力就可以減小很多了。

工作表面的粗糙程度要起很大的作用。跟光滑的表面接觸可以減少很多摩擦。機械製造者用精細地磨、研磨、細磨刀具前面和後面的方法來減少刀具跟切屑及工件被加工表面的摩擦。

應用滑潤油也是減少摩擦很好的方法。你試試看先沿着乾的床面導軌用手搖動刀架，然後在床面上加了機油再同樣搖一次。第二次刀架就動得非常輕便。這爲什麼呢？因爲摩擦力減小了。當金屬切削時應用滑潤液就可以使作用在刀具上的力量大大地減小。

二 切削金屬的力

金屬的切削阻力可以拿作用在刀具上的一些力量來說明。這力量越大，也就是阻力越大。切削的時候，最少有兩個力量發生。讓我們用鉋刀的自由切削作爲研究這種力量的例子（圖3）。首先得指出，在切削時如果只有主切刀接觸被加工材料的時候，這就叫做自由切削。在這情形下刀刃的寬度超過被切削表面的寬度。

被加工的金屬一面抵抗着刀具切削部分進入金屬，一面給予刀具前面以壓力。由於這種壓力而產生一種力量，能把刀子彎曲以至於折斷。這就是所謂的切削力。在產生切削力的同時產生另一個力量把刀子從切削表面推出來，這力量叫作垂直力，它垂直於切削面。這些力量發生的原因是什麼呢？首先是因爲切屑跟刀前面的摩

擦。帶有摩擦力的切屑從切削面向刀子方向推出(圖4)。

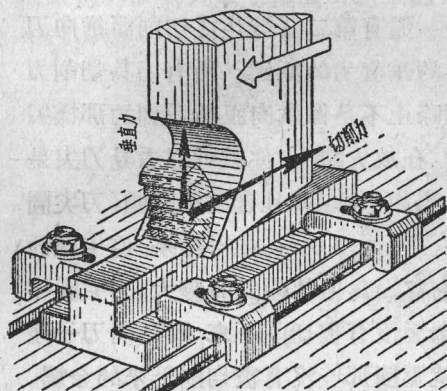


圖3 自由切削時作用在刀具上的力量。



圖4 帶有摩擦力的切屑從切削面向刀子方向推出。

我們可以用以下的例子來說明這種現象；把手按在書上，並且用手沿着書上推動，在相當的壓力下，不是手在書上動而是書在桌子表面上動(圖5)。

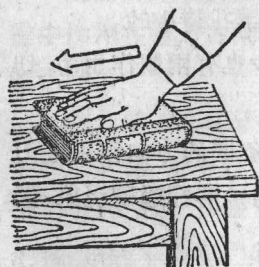


圖5 手跟書間摩擦力勝過書跟桌面間的摩擦力而使書在桌上移動。

什麼力量使書動的呢？這是由於手跟書間的摩擦力。如果在手跟書間沒有摩擦，那麼用這種方法，縱然書跟桌子之間不允許有摩擦，書在桌上也不會移動。在我們的例子裏，手跟書之間的摩擦力大過書跟桌面間的摩擦力，因此不是手在書上移動，而是書在桌上移動。

刀具很結實地固定在刀架上。刀子跟刀架間的摩擦力大過切屑跟刀前面的摩擦力，所以刀子在刀架上保持原位置不動。但是在這時候力量總歸是由切屑作用到刀子上。例如鏜孔時，如果刀頭在鏜刀桿上沒有

上緊，而在鏜刀桿刀頭孔裏動，這樣鏜出孔的直徑就會變小。

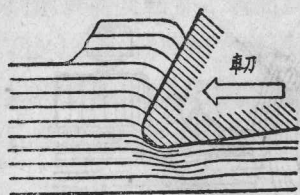


圖6 放大鏡下的刀子切削刃。

還有第二個發生從切削面推向刀具的垂直力的原因。所有刀具切削刀實際上不是像拿肉眼所看到的那樣尖銳。在放大鏡下，你就可以看見刀尖是呈鋸齒形的，並且有點小圓頭（刀尖圓半徑）（如圖6）。量得結果，這半徑的大小大約是0.05公厘，並且它會因為刀具變鈍而變大。刀尖圓半徑阻礙着刀刃切入切屑。有些金屬沒有被切削下來，而是向刀子後面轉過去，於是這刀尖小圓頭就壓擠那些沒有被切削下來的金屬，因此產生了把刀具從切削面推出的力量。

為什麼鉋得的孔常常小於所用的鉋刀呢？因為刀口具有圓頭，有些金屬並未被切削下來而是被擠壓到刀子後面去了。刀子走過以後，這被切削的金屬由於彈性而彈起（微微升起），所以孔的直徑減小，而小於鉋刀直徑了。銳利的鉋刀是不會讓孔變小的。

由此可見，對於任何切削工具來說，最少也有兩個作用力：切削力和垂直力。

垂直力常常可以分成兩個力量，它們以不同的方向作用在刀子上。當刀子主偏角小於 90° 時就是這樣。為了解釋這種現象，讓我們研究一下在車床上車管子的端面的過程。

當刀子的主偏角是 90° 時，垂直力正跟進刀方向相反（圖7），它抵抗着車床刀架的運動。由於這種力量完全被刀架、擋板和其他進刀機構上的零件所承受，所以叫它做進刀力。設計者根據這個力量來計算所有機床進刀機構零件的力量。

同樣，在車刀或其他刀具的主偏角小於 90° 的情況下，那麼，

機床進刀機構只承受垂直力的一部分，其另外部分作用在工件的半徑方向。

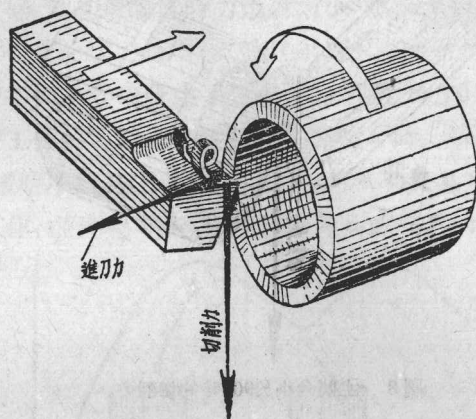


圖 7 主偏角為 90° 時的切削力。

這樣，如果主偏角小於 90° ，垂直力可以分成兩個力量。它們當中作用在進刀方向的叫做進刀力，而作用在工件半徑方向的叫做徑向力。

例如當刀子車管子端面的時候，如果主偏角不是 90° ，而是小於 90° 的話，那麼我們有的不是兩個力量而是三個力量：切削力、進刀力和徑向力（圖 8）。這是不難說明的。例如當車工車又細又長的軸，用的不是 45° 的也不是 30° 主偏角的刀子，而是用 90° 主偏角的刀子，雖然 90° 主偏角的刀子只允許用低的切削速度。這是為什麼呢？這完全由於小於 90° 主偏角的刀子有徑向力，這徑向力越大，進刀力也就越小。例如為什麼具有 90° 頂角（ 45° 主偏角）的鑽頭鑽孔時需要的進刀力小於 130° 頂角（ 65° 主偏角）的鑽頭呢（圖 9）？因為徑向力隨着主偏角變小而增加，而進刀力隨之減小。

用手進刀時很明顯地感覺出主偏角小的鑽頭容易鑽入金屬。

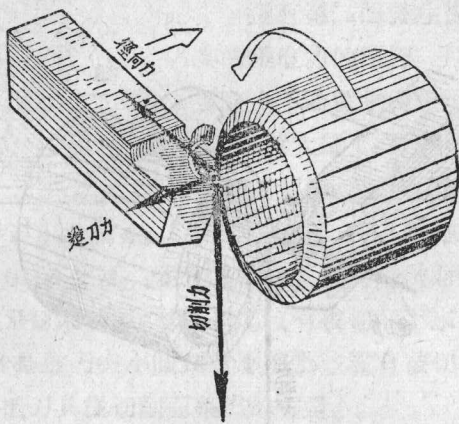


圖8 主偏角小於 90° 時的切削力。

切削力的意義很大。有時稱它爲主力。設計者就根據切削力的大小來計算機床電動機的馬力和機床變速箱所有零件的強度。技師根據切削力計算切屑最大允許斷面和切削速度，以及切削工具和夾具的強度。切削力超過允許量很多，就可能叫刀具、夾具或機

床發生損壞，也可能使電動機發熱或停止轉動。

作用在刀具上的力量的大小不是不變的，它循環地達到一定最大限度和最小限度。這一來就引起了顫動。所發生的顫動對生產率和工件質量都有不好的影響。顫動常常限制

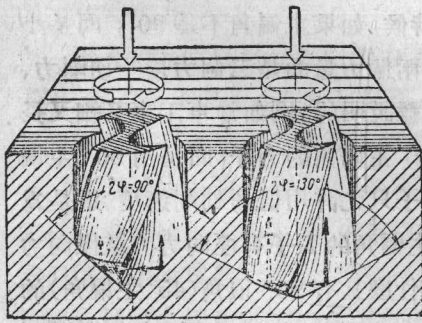


圖9 具有不同鑽頂角的麻花鑽。

住了切削規範的提高，並使機床零件和切削工具的磨耗加快。

發生顫動的原因是不同的。其中有一個原因是切屑的週期性的形成和破碎。當切屑破碎時力量就減小，然後又跟着形成和擠壓下一段金屬切屑而使力量增加，並且重新又在破碎的時候降低。這樣一來，在切削過程中發生了切削力的顫動（圖 10）。如果切削力顫動週率跟工件的所謂自身振動週率相吻合時，那顫動就會很急劇地增大。這時不只是工件顫動，機床、刀具和夾具也振動，於是不可能繼續工作，並且還可能發生機床、刀具或夾具的損壞。

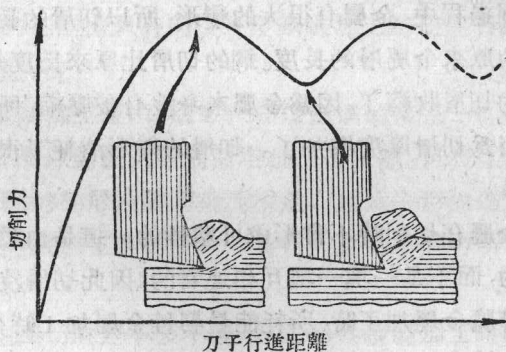


圖10 切削力變化圖。

切削力振動週率也就是單位時間內力量大小變化的次數，可以根據切下的切屑計算。計算方法可按照以下的例子。每一段斷碎的切屑就是切削力一次的改變，如果拿斷碎切屑的長度除單位時間內切下來切屑總長度，便得出切削力振動週率。

顫動跟切削速度有很大關係，因為切削力振動週率跟切削速度有關。當切削速度增加時，振動也隨着增加，所以在實際情況中，時常以減少切削速度的方法來跟顫動作鬥爭。但這不是永遠可靠的，有時大大增加切削速度倒可避免顫動。切削力的振動週率隨着

切削速度的提高而增加。

切削力的大小對顫動有很大的影響。切削力越小，振動也就越小。

三 怎樣的金屬容易切削

每個機工和鉗工都深深地知道不同金屬產生不同的切削阻力。某些金屬要耗費很多的能量，要大的切削力，而有些金屬就比較容易加工。

在切削過程中，金屬有很大的變形，所以切屑的長度永遠短於變成切屑的原來金屬層的長度。鋼的切屑比原來長度短一半多。這就是所說的切屑收縮了。因為金屬本身沒有被壓縮，所以它的長度減少主要因為切屑厚度增加了。切屑的變形消耗了很大部分切削所需的能量。

脆的金屬在切削時不會形成可塑性的。這是由於斷碎的切屑是分離開的，而不是一塊一塊互相連着的，因此切屑沒有收縮。所以像生鐵等脆金屬加工時，所耗能量塑性金屬加工時少得多。因而那些金屬有較大的切削阻力，也就是那些金屬在形成切屑時有大的變形收縮。此外，切削阻力常常跟被加工金屬的機械性質有很大關係。

帶有較高機械性能的金屬，切削時對作用的力量的反抗也越大。它對任何外力也都有較大的抵抗。

影響切削力的被加工金屬的基本機械性質是：抗張力極限、延伸率和硬度。

這些機械性質對切削阻力有很大的影響。有時兩種不同金屬有相同的硬度，相同的抗張力和相同的延伸率，在相同的切削規

範、相同的刀具角度和相同的工作情況下却有不同的抵抗力，這是因為什麼呢？因為切削力也依據許多其他金屬的性質而改變，而以金屬的冷作性能、金屬結構、化學成分等關係比較大。

工廠的實際工作和實驗室的實驗告訴我們，金屬質量越高，切削力也就越大。例如那些容易加工的金屬就只有低的抗張力極限、延伸率和硬度。所以在同樣情況下，切削硬鋼比切削軟鋼時的切削力約大 $1/2$ 到1倍。

脆金屬的加工有它的特殊性。最脆的金屬要算生鐵和青銅了。生鐵加工時的切削力只有同樣硬度鋼鐵加工時切削力的 $2/3$ 到 $1/2$ 。這又因為什麼呢？

第一，當鋼加工時，切屑像一條很堅固的帶子一樣從切刃的地方滑走出來，所以對於刀具前面增加很多摩擦。但在生鐵加工時就沒有這種不斷的切屑沿着刀前面滑過，因為一形成切屑就分成小塊了，因而生鐵加工時切屑對刀具切削面的摩擦力所作的功比鋼加工時為小。

第二，生鐵切屑差不多不變形，而韌性金屬加工時的切屑變形非常大，因此需要較大的力量。

第三，生鐵的抗張力極限比鋼小得多，所以消耗在切削的功也小。

除了這些以外，我們還注意到有一種特殊現象常在金屬切削過程中發生，在切削時產生冷作現象，也就是增加了強度（脆度和硬度的提高）。切下來的金屬切屑和工件加工表面很薄的一層金屬全被冷加工了。消耗在切削的功的一部分就消耗在這冷加工上面。例如你要弄斷軟的銅絲，你就必須要在不同的方向彎曲它幾次。這就是為了完成冷作的工作，也就是為了使銅絲有相當的脆度，這樣