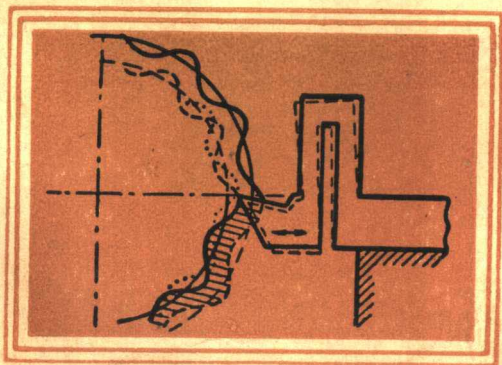


苏联車工革新者叢書

第七册

車床加工的精度、振动 和表面光潔度

阿莫索夫、斯克拉甘合著



机械工業出版社

目 次

前言.....	2
一 車床的加工精度.....	5
1 加工精度和制造誤差——2 由於車床所引起的誤差——3 由於車刀所引起的誤差——4 由於被加工零件所引起的誤差——	
5 刀具按工件尺寸調整的誤差	
二 車削时的振动和防止振动的方法.....	36
6 關於振动的概念——7 車削时的振动——8 防止振动的方法	
三 表面光潔度.....	62
9 粗糙度的形成——10 表面光潔度的標準化和測量粗糙度的儀器——11 切削用量对顯微不平高度的影响——12 刀具的几何形狀对顯微不平高度的影响——13 被加工材料的 影响——	
14 切削刃情况的影响	

前 言

列寧曾指示過我們：「勞動生產率，歸根到底是保證新社會制度勝利的最重要最主要的條件。」^①

馬林科夫同志在蘇聯共產黨第十九次代表大會上報告中指出：在1940～1951年間，工業中的勞動生產率提高了50%，並且這一時期中增加的工業產品有70%是靠提高勞動生產率而得到的。

根據蘇聯共產黨第十九次代表大會的決議，工業勞動生產率在現今的五年計劃中，應提高50%左右，而工業產品的成本要降低25%左右。

在機床上加工零件的高速方法是機器製造中提高勞動生產率和降低成本的一種強有力的辦法。

先進工廠的經驗指出：廣泛地運用高速方法以保證縮短加工的機動時間和輔助時間，能够使機床工的勞動生產率提高到兩倍甚至更多，同時可降低成本35～45%。

在成批和小批生產的工廠，金屬切削機床的總數中，車床要佔很大的一部分。大批車工在這種機床上工作，其中不斷地湧現出革新者。車工革新者們在與工藝師、設計師和學者們的創造性友誼中，經常地改進自己的技藝並且不斷地提高勞動生產率。

要成爲一個車工革新者，要成爲一個精通本行的真正能手，都需要些什麼呢？最優秀的車工斯大林獎金獲得者波爾特闊維契（Г.С.Борткевич）、貝科夫（П.Б.Быков）、謝明斯基（В.К.Семинский）、比留科夫（В.М.Бирюков）、特魯特聶夫（В.Н.Трутнев）、聶席溫科（Г.С.Нежевенко）、馬爾科夫（А.Н.Марков）和革新者科列索夫（В.А.Колесов）、雷日科夫（Д.И.Рыжков）以及其他的革新者們的

● 見《列寧文選》第二卷第597頁，莫斯科中文版，1949年。——譯者

經驗指出：必須不斷地提高自己的文化技術水平並且首先要研究在車床作業方面。科學和革新者們實際經驗中的一切新事物，並且堅持地把它們應用到生產中去。

斯大林在他的著作「蘇聯社會主義經濟問題」中指出：「假如不是少數工人，而是大多數工人都把自己的文化技術水平提高到了工程技術人員的水平，結果會怎麼樣呢？那我國的工業就會提高到其他各國工業所不能達到的高度。」[●]

最近幾年來，蘇聯學者和革新者在金屬切削加工方面做了許多新的研究和改進。但是，他們的成就散登在各種書籍、雜誌和卡片目錄等上，由於材料零星的緣故，所以未必都能為廣大的車工學到。

因此，出版局和全體作者決定將車工工藝方面的最新成就，加以總結和整理，並以「車工革新者叢書」小冊子的形式出版。這套叢書，對於車工們為提高勞動生產率而鬥爭將有所幫助。

這套小叢書是供給熟練車工及工長用的。對於技工學校和提高技藝的訓練班的教師和學生們也都是很有價值的參考書。

1952年列寧格勒科學技術宣傳所和全蘇機械製造者工程學會列寧格勒分會（Лонитомаш）印行了一批印數不多的小冊子「斯大哈諾夫車工小叢書」，並通過這套叢書，組織大家進行廣泛的討論。這樣對作者們很有幫助，使得這套小叢書有很大的改進並補充了許多新的資料。

對於這套叢書的評論和批評意見請寄：列寧格勒邦科夫斯基巷3號，蘇聯機器製造書籍出版局列寧格勒分局。

所有的意見和願望，我們都將以感激的心情加以接受，並在再版時加以考慮。

● 見斯大林：「蘇聯社會主義經濟問題」第25頁，人民出版社版，1952年。——譯者

一 車床的加工精度

1 加工精度和制造誤差

計算和設計機器零件的時候，設計師應規定零件的形狀和尺寸。但是，零件在金屬切削機床上加工，是不可能製造得絕對精確。在尺寸、表面形狀、相互位置等方面可能產生誤差。

為了使零件得到必要的精度，應該在零件尺寸上定出公差，來限止跟規定的尺寸和形狀不一致的可能偏差（誤差）。

表面形狀的誤差可以分為：錐形、橢圓形、腰鼓形、波浪形等等。在工作圖上不是特別註明的，那末形狀誤差可以允許在尺寸公差範圍內。在許多情況下，當表面形狀有必要遵守更高的精度的時候，可以在工作圖上特別註出。

表面相互位置的精度有：平行度、垂直度、同心度等，這些都是用公差和偏差的形式來註明。

在車床上加工的時候，正常的加工精度是4~3級精度。但在有必要和條件良好的時候，也能獲得2級或更高的精度。所以，當設備情況良好，工人有高度熟練技術，也可以在車床上進行精加工。

要想達到高度的加工精度，必須要弄清引起加工不精確（誤差）的原因是什麼。

蘇聯的科學家們在機械加工精度方面進行了一系列的研究工作，發現了產生加工誤差的原因，找出了引起誤差的因素，想出了提高加工精度的辦法。

这一章我們將研究当使用硬質合金刀 具進行精 加工 的时候，它的机械加工精度的問題。

如果在車床上加工一根直徑較大的長軸，加工后仔細地去測量它，我們就会發現从加工一开始，工件就已經与規定的尺寸有了一定的偏差。並且零件的尺寸在全部加工長度上都在改变，也就是說零件的形狀在改变。因此，零件的外圓如果加过工，嚴格地說來，加工出來的这根軸不会是一个正确的圓柱体。

在被加工軸上，这种對於規定尺寸和正确圓柱形的偏差是由許多加工誤差的影响所引起的。

如果加工成批的小型零件（如加工軸或套筒 的外圓），刀 具要按尺寸安裝好來進行加工（机床調整好來加工成批零件的外圓），那么加工后对全部零件進行精密的測量，就会發現全部零件的尺寸都不相同。不但这样，在每个零件加工長度上的直徑，从开始到終了也是不相同的。这种在同一个零件上各部分直徑的不一致和每个零件直徑的不一致（形狀誤差），都是由机械加工誤差的影响所引起。

圖 1 是在車床上加工的成批零件尺寸改变的曲線。車床的中心高度是 380 公厘，被加工环的直徑为 204 公厘，寬度是 60 公厘，材料牌号为 35XM（布氏硬度 = 320）。刀 具断面 20×30 公厘，焊有牌号是 T15K6 的硬質合金。刀 具是按尺寸安裝的。曲線的橫座标表示加工零件的編號順序，縱座标表示加工零件的外圓對於調整好的直徑 204 公厘的偏差，單位是公忽（1/1000 公厘）。

圖 1 中曲線 A 上各点相当於每个零件在加工开始时的尺寸，曲線 B 上各点相当於每个零件加工結束的时候的尺寸。为了使各个点更明顯起見，零件开始加工时候的尺寸用折線 A 來

連接，而在終了時的尺寸用折線 *B* 來連接。

我們觀察一下圖 1 上的曲線，就可以得出底下幾點結論：

(一) 第一個加工零件的开始尺寸不能跟理想的調整尺寸相符合；這表示在开始按尺寸安裝刀具時就有了誤差。

(二) 零件的开始和結束尺寸不一致，就是說所有零件都有一定的形狀誤差，這種形狀誤差（尺寸不同），在所有加工零件中或多或少地都存在。

(三) 随着零件順序号的增加，也就是随着成批零件加工过程時間的增加，零件尺寸的改變是有一定規律性的。為了更清楚地了解這種規律性，我們作出表示每個零件平均尺寸的曲線 *B*。研究曲線 *B*，我們可以得出一個一般的規律：从成批零件开始加工，直到第 7~9 个零件，零件的平均尺寸（外徑）是在逐步減小，而以后直到第 22 件，零件的平均尺寸是在逐步增加。

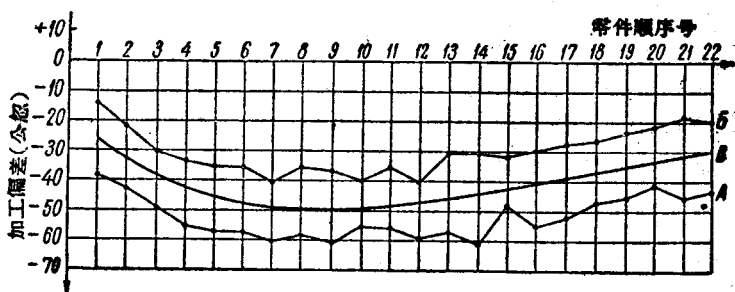


圖 1 加工環直徑對名義尺寸的偏差。

(四) *A* 和 *B* 兩條基本曲線都很曲折，說明各個零件的尺寸很不一致，也就是說存在着加工的偶然誤差。

圖 1 中的曲線，明白地表示出，在零件機械加工精度和工

工藝過程中各項因素之間存在着複雜的關係。其中一部分因素是偶然性的，不受上述規律性的限制，而另一部分因素則對機械加工精度在一定的方向上，和一定嚴格的規律上有影響（有規律的加工誤差）。某一零件或一批零件在加工過程中，各種加工誤差各自對零件製造精度發生影響。

由於所有這些誤差（總誤差）作用的結果，才改變了加工好零件的尺寸和形狀。這些加工誤差的作用，有一部分是相互抵消，而另一部分則相互增補。

要弄清楚，在所有誤差共同作用下，加工零件得到怎樣的形狀和尺寸，就必須求得這些作用的總和。因此，有必要知道工藝過程中哪些情況影響到誤差。

當在機床上特別是在車床上加工零件的時候，我們就會跟機床上的工藝系統（即機床——工件——刀具系統）發生關係。顯而易見，加工誤差決定於工藝系統的開始情況（調整），以及在加工過程中工藝系統任何部分的變動。而這些情況的發生，可能和工人的操作有關，也可能是沒有關係。但在任何情況下，工人若能懂得在加工過程中這種變動的性質，就能設法減少這種加工誤差。本章中我們就要研究受到機床、工件、工具的影響而發生的加工誤差。

下面所提到的數字和規律性是以大量的實驗材料為根據，但不應就將它們作為標準；在每種情況下，根據工藝過程條件的不同，這些數字和規律性可以稍加變動。

2 由於車床所引起的誤差

所有出厂的新金屬切削機床都要檢驗它們的幾何精度，即在無負荷情況下按蘇聯國家標準（ГОСТ 42-40）來檢驗它們的

精確度。在每次修理后及使用中也要檢驗。尽管机床有着高度的制造精確度，但在机床中总有部件的制造誤差，和部件的相互位置誤差。誤差愈小，机床精確度就愈高。

國家标准所規定的檢驗主要是檢驗每个部件的及整个机床的制造精確度和裝配精確度，但还不能直接确定机床的加工誤差。在某些情況下，要想确定机床的加工誤差，需要根据机床的已知几何誤差進行專門的計算。如：車床導軌的平行度及垂直度影响到刀架下部分的誤差，所以在确定加工零件的形狀誤差时必须加以計算。不應該根据机床精確度的一般标准來計算零件的制造誤差。实际上，在使用中的机床的誤差可能比ГОСТ所規定的大些或小些。工作中的机床可能磨損或攪動，因而失掉它原有的精確度。如果机床不是正确地使用，那末導軌的磨損会加快，而導軌各段的磨損程度也不一致。

机床有几何誤差，会使加工零件的縱断面和橫断面变形（形狀誤差）。但是，能正确的使用和保养机床，那末机床几何誤差所引起的零件变形就很小。

必須指出，如果車工能很好地知道他的車床的狀況，他就可以在零件的加工过程中，採用适当的办法減少由於車床不精確而引起的加工誤差。

零件安裝在机床上和調整机床上的部件（如尾架）和刀具的时候，会引起安裝誤差。安裝誤差和工人的工作經驗、夾具量具及夾具量具的質量好坏等因素有关。这些問題以后还要談到。

所有这些誤差不是直接由切削过程所引起。但为了減少加工誤差，仍必須仔細地檢查是否正确地使用机床、夾具和刀具。

机床在工作时發生些什麼事呢？零件加工时要切下切屑，

产生切削应力，切削应力一方面作用到車刀和刀架上，一方面作用到加工零件，再經過加工零件作用到头架和尾架上。

圖 2 所表示的是切削应力的作用。在切削应力的作用下，机床的部件發生变形。这时工件被車刀所推压，它又去推压头尾架，而零件也將車刀向后推，接着推压刀架。这样車刀刀尖和工件中心線的距离改变了，結果就改变了加工工件的尺寸。

切削应力（圖 2）在三个方向上發生作用： P_z 、 P_y 和 P_x 。从机械加工精度的观点來看，我們特別关心車床部件在对加工工件尺寸有影响的方向上的移动，所以在机械制造工艺中一般只研究 P_y 方向上的切削分力，也就是垂直於加工表面方向上的力和

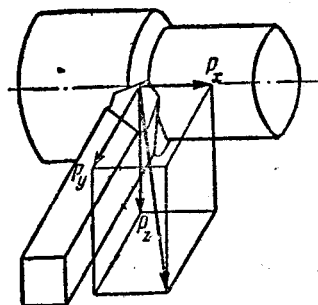


圖 2 切削应力。

移动。只有在这一方向上的移动才对加工工件的尺寸有顯著的影响，像机床部件在水平平面上移动 0.1 公厘，則工件直徑將加大 0.2 公厘。

整个机床或机床部件抵抗变形的能力，叫做剛性。

剛性越大，移动就越小，因而彈性变形^②所引起的加工誤差也就越小。在机械制造工艺中，剛性可以用垂直切削分力 P_y 和在該力的作用方向上所計算出的变形 j 的比來确定。其公式是

$$j = \frac{P_y}{\gamma} \quad (\text{公斤/公厘})。$$

式中 j = 整个机床或机床部件的剛性，單位是公斤/公厘。

② 彈性变形就是一物体在外力作用下所發生的变形，这变形在取消外力后就会消失，物体恢复原来的形状。——譯者

P_y = 切削應力的垂直分力，單位是公斤。

y = 在 P_y 作用方向上所測出的整個機床或機床部件的變形，單位是公厘。

機床剛性代表它對於作用力的阻力。例如：若一機床已知其剛性為 2000 公斤/公厘，在加工時垂直分力 $P_y = 200$ 公斤，則機床的變形為 0.1 公厘，也就是說車刀刀尖跟工件表面之間的距離的變動為 0.1 公厘，而加工工件直徑的變動將為 0.2 公厘。如垂直切削分力 $P_y = 20$ 公斤，則機床的變形是 0.01 公厘，而工件直徑的變動為 0.02 公厘。

由彈性變形所造成的誤差對機械加工精度的影響很大，它往往佔總誤差的 20% 到 80%。

此外，機床剛性對於振動的影響也很大。剛性小的機床，即使在較小的切削用量下，也會發生振動。

車床的剛性和什麼有關係？它又怎樣能影響零件的加工精度呢？

許多試驗研究證明，金屬切削機床的剛性，並不決定於機床零件變形的阻力，而決定於機床各部件零件的接合部分的變形阻力。這種變形主要決定於緊固零件或連接零件的變形，以及連接零件的表面的變形——接觸變形。目前我們還沒有可能從理論上去計算金屬切削機床的剛性，但是有許多經驗方法來確定機床的剛性。這些方法可分為實驗室的方法和生產上用的方法，並且能確定出整個機床或機床某一部件的剛性。試驗機床剛性的方法是：使機床部件受到由切削力而產生的外力負荷，同時並測量部件或整個機床由於這一負荷而產生的變形。加負荷和測量變形可以在切削的時候機床的工作狀態下進行，也可在靜止狀態下進行。現在機床的剛性試驗不僅在實驗室中

進行，同樣也在生產車間中進行。

在車床上，床架的剛性比其他部件的剛性都大，它的變形極小，因此在大多數情況下都可不加計算。而車床的剛性問題，使用頂尖加工的時候主要發生在刀架、頭架和尾架上；使用卡盤加工時候主要發生在刀架和頭架上。

車床各部件的變形對加工精度的影響各不相同。

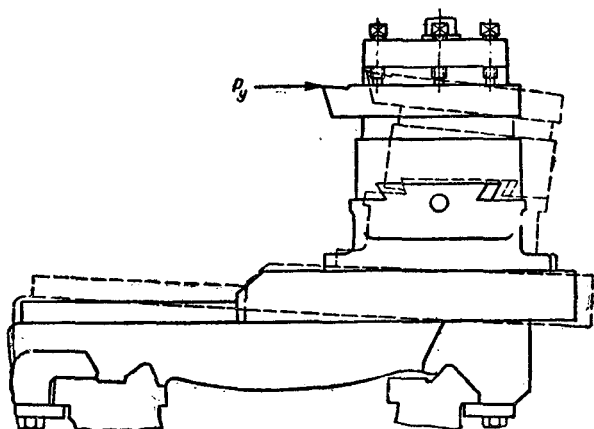


圖3 刀架在切削力的作用下的變形。

在頂尖上加工的時候，刀架在經常不變的負荷下（就是說零件的材料是同樣的，加工余量是不變的）向后退讓的距離在整個工件的長度上都是一致的（圖3）。因此，刀架退讓的結果只是產生工件的尺寸誤差，而不影響工件的形狀。知道了刀架的剛性和加工時候的負荷，我們就能算出刀架彈性退讓的大小，而在按尺寸調整機床的時候就可以把機床校正成適當的尺寸。

頭架彈性退讓對加工工件尺寸的影響就不一樣了。從在頂尖上加工的簡圖（圖4）我們看到，在加工開始時（位置I），切削應力作用在尾架上，中心線的位置只決定於尾架的退讓

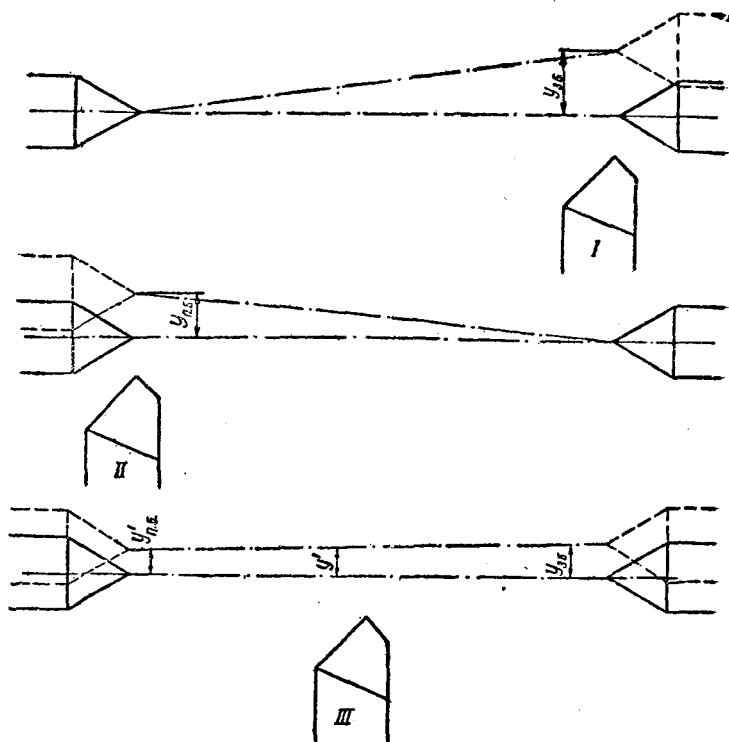


圖 4 在頂尖上加工剛性軸時，車床中心線隨着車刀移動而產生的變化：

I—車刀的位置對着後頂尖；II—車刀的位置對着前頂尖；III—車刀的位置在被加工軸的中央。

$y_{n.6}$ ；到加工完結時（位置 II），切削力只作用在頭架上，中心線的位置只決定於頭架的退讓 $y_{n.6}$ ；在切削進行過程中，中心線的移動既決定於頭架的退讓，也決定於尾架的退讓，並且隨着車刀沿着工件的移動，尾架的退讓對於中心線位置的影響逐漸減小，而頭架的影響則逐漸加大。

車刀走到工件當中位置的時候，作用在頭架和尾架上的切削力都只有原來的一半（ $-\frac{P_y}{2}$ ），因此，頭架和尾架的退讓也只有原來的 $y_{s.6}$ 和 $y_{n.6}$ 的一半。此外，當車刀在當中，頭架和尾架對於總誤差的影響也只有原來的一半，即

$$y' = \frac{y'_{s.6}}{2} + \frac{y'_{n.6}}{2}$$

所以我們可以說，當車刀走到工件加工長度的一半時，工件直徑由於頭架尾架退讓所發生的改變，要小於車刀在工件的兩端的時候，於是加工出來的軸就成為束腰形（圖 5）。這說明頭架和尾架的退讓量若是變動的，就會引起被加工軸的形狀誤差。

因之，如果軸在車床頂尖上加工，軸本身實際上是不會彎曲的話，工件的直徑就不能從頭到尾保持一樣。如果，我們知道頭架尾架的剛性，以及切削力的大小，就能算出被加工軸的形狀誤差。

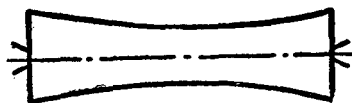


圖 5 在剛性小的機床上加工出來的軸的形狀。

回頭再去看成批零件精度曲線（圖 1），就可以確定，機床部件發生退讓，不僅引起第一個零件開始尺寸的改變，並且也要引起形狀的誤差，也就是說要引起每個零件的開始跟終結尺寸的差別。必須指出，如果毛坯的加工余量不同，則由於機床部件退讓量的不同，而使每個零件的開始和終結尺寸發生差異。

為了比較各個機床在頂尖上加工時的剛性起見，通常把機床在工件長度當中的剛性作為機床的剛性（圖 4，位置 III）。但為了更仔細地確定整個車床的剛性，應該在三個位置上確定車床的剛性，即在頭架、尾架和工件長度的當中。

表1 車床剛性的試驗結果

剛 性 (公斤/公厘)	机 床 数 量		
	j 在头架上的	j 在工件中部的	j 在尾架的
1000以下	15	8	9
1000~2000	38	24	17
2000~3000	7	22	15
3000~4000	6	5	11
4000~5000	2	6	9
5000以上	0	5	6

表 1 所列是中心高为 200~300 公厘的車床的剛性 試驗結果。从表中可以看出,中心高为200~300公厘的車床,它的平均剛性 $j = 2000$ 公斤/公厘左右,在个别情况下可达 5000 公斤/公厘;后者表明車床的剛性提高是存在着極大的可能性。

使用卡盤加工的时候,尾架並不参加机床的工作,部件的移动是由头架和刀架的退讓所組成。刀架的退讓是个常数,它只影响到加工工件的尺寸。在用卡盤加工的时候,头架的退讓量則和零件伸出的程度有关,它随着加工位置和卡盤間的距离的加大而增加。用卡盤加工,头架的退讓会引起工件的形狀誤差——成为錐形,工件錐形的小头是在卡盤的一边。必須指出,用卡盤加工的时候的剛性通常是較低的,这是因为卡盤本身和卡盤緊固在主軸上的剛性小的緣故。

在加工成批零件和按标准棒或样規安裝車刀的时候,如果已知彈性退讓的大小,就有可能適当地修正車刀的安裝,这样就可以大大地減少加工誤差。如果彈性变形的程度事先不知道,在加工了第一个零件后才可以發現誤差。如果採用先試車一

刀的办法，並在試車后測量和進一步校正車刀的安裝，則加工誤差还可得到部分的补偿。

最后應該指出，提高机床的剛性可以提高加工零件的精度和机床的抗振性。这就是說生產率得到提高。

机床部件的剛性不僅和机床上零件本身的剛性有关，並且和这些零件的連接質量（接合部）有关。

在一般使用的机床中，有些机床的剛性特別高（見表 1），这种情况說明普遍提高机床剛性的可能性是存在的。

依靠正确的使用和修理車床，車床的剛性是可以顯著地提高的。

要想提高机床剛性就必須做到：

（一）要經常記住机床的剛性在極大程度上是決定於接合部分的表面質量；在修理机床时候应当对活动和不活动的接合部分的表面進行精加工；在机床的使用过程中应小心注意机床零件表面的狀況和光滑度。

（二）对机床上所有活动或不活动的部分都應注意到它們結合的緊固程度。

（三）机床在工作的时候導軌必須緊固，不会在加工过程中發生移动。

（四）注意卡盤的情况，及时加以修理。

（五）在頂尖上加工的时候，尽量不使尾架頂尖套伸出太多。

（六）要採用剛性大，頂尖伸出不多的活頂尖，最好用插入尾架的活頂尖。

（七）注意加工零件中心孔的表面情况。

（八）在鏜孔时須保證刀尖体或鏜桿具有適當的截面，並