

高等學校交流講義

機械製造工學

清華大學金屬切削教研組編

630

(內部交流 * 僅供參考)

中央人民政府高等教育部教材編審處

機 械 製 造 工 學

書號 (8009)

新 華 書 店 華 東 總 分 店 總 經 售

商 務 印 書 館 上 海 廠 印 刷

一九五四年八月上海第一次印刷

印數 1 3,530

字數 291,000

定價 十 10,000

「機械製造學

序 論

『製造學』這一門科學俄文名稱是 *Технология*，這個字源自兩個希臘字：即 *«Технос»*（相當於俄文 *«Ремесло»*，意為『手藝』）和 *«Логос»*（相當於俄文 *«Учение»*，意為『學問』或『學說』）。『機械製造學』這一門課程研究機械製造一般的基礎問題。當我們研究某一工業部門中的機械製造的問題的時候，就更專門一些了，於是就產生了『某種機械的製造學』如：『機床製造學』『汽車製造學』『儀表製造學』等。

新中國人民經濟事業的發展應該建立在下列的基礎上：即充分應用最進的科學和技術上的成就，很好地利用天然資源，提高勞動生產率與努力減輕勞動，提高產品質量和製造各種新的產品，但是，要作到這些，就必須用各種最現代化的機器，工具，設備，儀器……等等，一句話，一切機械製造業所生產的產品——來供給工業，運輸業，農業以及其他經濟部門。

在正式講述本課之先，先簡單的敘述一下機械製造和『機械製造學』這一門科學的發展的歷史。

切削加工法是很早就有了的。

最早的切削工具是用一種稱為『燧石』（打火石）的石頭製造的，需要用手拿着它去切削別的東西，後來人們用樹條或動物筋把一個手柄綁在燧石刀片上，刀子有了手柄，這是切削加工法發展史上第一個重大的進步，由於有了手柄，切削工具的用途就更大了，應用範圍也更廣了，此外，在切削工具的應用上具有重大意義的是鑽頭的發明，改善及其應用，人們最先使用鑽頭時，是用繩子纏住鑽頭使其發生正反方向的轉動。稍後，又用弓弦纏住鑽頭使其轉動。

除了應用能帶動切削工具轉動的機構之外，後來還開始採用了能使被加工材料運動的附件。第一個這樣的附件就是製造陶器的旋轉輪，它的出現距今約有三千年。在很早很早以前的極簡陋的車床也是與這種附件相類似的，大約在 14 到 16 世紀時，人們已開始利用水輪帶動車床和鑽床作不停的轉動了。

由於火力武器的使用，出現了槍砲工廠，工廠的機床都是用水輪來帶動的。16 世紀中葉時俄國的大砲製造匠師們就已作出了無論就結構或質量來說都遠較西歐為好的大砲。16 世紀時在俄國已經利用獨創的車床和鑽床製造槍，砲和砲彈，這樣的車床和鑽床當時在其他國家裏還沒有，公元 1712 年俄國匠師西道洛夫（Сидоров）建立了土拉兵工廠，這個工廠有河堤，有水輪和由水輪帶動的錘和鑽床，用以鑽槍筒。公元 1715 年俄國匠師雅可夫·巴基謝夫（Яков Баттисев）在世界上第一次應用了聯合機床原理，而美國却是在距那時 200 年以後才開始應用這一原理，巴基謝夫第一個創造了用水輪帶動而同時能鑽 24 個槍筒的鑽床。1709 年俄國匠師 А·К·那爾托夫（Нартов）在莫斯科的沙皇彼得一世車床工廠開始製造自動機床。

那時的车床是相當簡單的。切刀是用手拿着，因為那時還沒有刀架。在車床上工作需要高度的技巧和較強的體力，但還是不能保證要求的準確性，1712年那爾托夫設計了一種車床刀架（Супорт）這個刀架由一個齒輪與齒桿傳動可沿加工零件縱向移動。1729年那爾托夫作了一個樣板車床（Токарьно-копировальный станок），這個車床刀架的縱向運動是用絲桿（Ходовой винт）傳動的，這樣，這一個能代替人手的機構的天才的創造首先產生在俄國並在俄國付諸實現了，這一偉大的發明也就引起了機械製造業的革命。

由於車床刀架的發明，人們便能頗為容易，準確和迅速地製出機器零件的幾何形狀。天才的俄國學者 М. В. 羅莫諾索夫 院士（М. В. Ломоносов）（1711—1765年）製造了獨創的製球車床（Сферотокарный ст.），磨床和平面車床（Лоботокарный ст.）以及其他機床。

俄國機械製造業應用互換原則是比西歐及美國為早的，還在1715年時沙皇彼得一世就給土拉工廠送去銅製的卡規及其使用規則，用以驗收武器，這些卡規後來一直沿用下來了。

1812年則哈洛夫院士（Захаров）第一個發明了鑽深孔的方法，並設計了鑽深孔用的特種機床。

許多俄國學者和優秀的工程師對世界科學技術作了巨大的貢獻，如吉美 И. А. 教授（Тиме. И. А.，1870年）左雷金 К. А. 教授（Зворыкин, К. А.，1893年）工程師吳撒柴夫 Я. Г.（Усачев. Я. Г.，1912年）以及其他等人。但是沙皇政府的保守，它對外洋的崇拜却阻滯了俄國機械製造業的發展，同樣地也阻滯了金屬切削科學的發展。只有通過幾個斯大林五年計劃的實施才使得蘇維埃機械製造業無論就生產能力或技術發展水平來說都佔居世界第一位。

應該看到，在最近的將來新中國的機械製造業一定也會站到全世界的先進地位的，中國工業的迅速發展，大批中國工程技術幹部的成長以及蘇聯的幫助便是保證。

天才的俄國學者米哈依·華西里耶維奇·羅莫諾索夫在許多科學技術部門中的不朽的創造對世界科學技術作了巨大的貢獻。他的著作，「冶金與探礦基礎教程」是世界上最早的關於冶金學的教本之一，這本書是世界上第一本關於製造方面的書，1804年俄國塞維金 В. М. 院士（Северчин. В. М.）奠定了「製造學」（Технология）作為一門「關於手藝的科學」，在切削加工發展史上是他第一個提出了關於改善金屬加工方法，即製造學的問題。他寫道：『為了加工的完善，必須熟知（1）所用的材料（2）機床及工具。（3）欲製之成品（4）所用的附件（5）有關的加工知識與著作。』

俄國的學者們最先奠定了機械製造學的基礎。吉美 И. А. 教授（1836—1896年）寫了共三巨冊的一本書「機械製造學基礎」。工程師吳撒柴夫 Я. Г. 於1912年寫了「切削物理學」一書。加德林 А. В. 院士（Гадолин А. В.，1828—1892年）在全世界第一個寫成了有系統內容的兩本著作「機械加工學」和「大砲製造學」。

此後作為這本書的補充加福里連科 А. И. 教授（Гавриленко А. И.，1861—1914年）

又寫了不少書，其中應特別提到的有下列三本書，即：「鑄工學」「鍛工學」「金屬的機械加工學」。

如果說，當「機械製造學」初形成的時候在吉美·И·А，加德林·А·В，加福里連科·А·И等人的著作中，「機械製造學」基本上還只限於把生產經驗加以系統化和確立一些基本原理的話，那麼在今天機械製造學這一門科學却已奠定在蘇聯學者們對所有與機械製造相聯系的有關問題的大規模的研究的基礎之上，奠定在把各機械製造廠先進經驗與斯塔哈諾夫快速工作者們的各項成就加以科學總結的基礎之上了。這些學者是：索科洛夫斯基·А·Я (Соколовский А. Я.)；加西林·А·И (Каширин А. И.)；葉果洛夫·М·Е (Егоров М. Е.)；科凡·В·М (Кован В. М.)；巴拉克辛·Б·Ф (Балакшин Б. С.)；亞新·А·Б (Яхин А. Б.)等教授。許多在工廠，科學研究機關或實驗室工作的工程師們對於近代「機械製造學」的建立也有巨大的貢獻。

可以毫不誇張地說，「機械製造學」的奠定是俄國與蘇維埃的技術學校的功績。因為，據我們所知，在國外沒有一本高等學校用的機械製造學的教科書或教學參考書，而且在外國的高等學校的教學計劃中根本沒有這一門課程。外國出版的一些涉及機械製造學的書都是敘述性質的，而且這些書並不談論專門問題，（能看這些書的人的範圍很廣），或者帶着廣告性質，誇耀某些個別公司的生產和產品。

「機械製造學」這一門科學是綜合地研究製造學，研究零件在許多因素影響下的加工過程的。「機械製造學」研究如何用最少的必要勞動製出加工品表面的形狀和尺寸來。

在現今技術飛躍發展的情況下，製造新型機器或生產過程的進一步發展的及現有機器與生產過程的改善在頗大的程度上來說常常是由製造上的可能性和製造上發生的某些問題能否解決來決定的，在這些製造上的問題中，例如：關於提高機器零件表面的質量的問題，即如何提高零件表面的質量以提高磨擦面耐磨性和如何提高零件在高度載荷下疲憊強度的問題；關於應用機床高速工作法以大大提高生產率的問題；關於加工自動化的問題；關於提高加工準確度的問題，即創造能保證達到各種新型機器所需要的第一級或更高的準確度的加工方法的問題；關於能製造那些在重載，高速和高溫的條件下運轉的零件（如快速機床，瓦斯透平，噴氣飛機的零件及其馬達等），的新的加工方法的創造的問題；還有其他的一些新型機器和儀表的製造上的問題。

「機械製造學」是一個新的年輕的科學部門，在各種技術部門中佔有重要的地位，機械製造學的教學目的是：教給學生以關於機械加工和機器裝配的製造過程和工序的各種必要裝備的設計和定額的綜合知識。也就是說，製造過程中所需要的各種夾具（приспособления）與機構的設計。教授給學生們以他們所選的專門化的某種機械製造部門生產過程的特殊的與豐富的知識。

在「機械製造學」中，除講授關於工具，機床和加工零件在加工過程中的相互作用與機器裝配等本身有關製造的知識之外，還要從如何製訂最合理與經濟的製造過程的觀點把下列各個先敘過的課程的各項原理加以綜合，這些課程是：『金屬工學』，『金相學』『切削原理』『切削工具』『機床』『公差與技術測量』等等。

「機械製造學」通常是由兩大部份組成：第一部份是，對各個製造方面「專門化」講授的一般部份，其中包括機器零件機械加工的製造過程與工序的詳細的設計與定額的基本知識，關於工序的控制的基本知識，以及機器裝配的基本知識。第二部份是專門部份，講授某一專門化的各種零件典型加工法與機器裝配，（如『機床製造學』『機車製造學』等）並分析所用的裝備，夾具，專門的切削工具和量具以及典型的檢查方法。

全課分三章：第一章講加工過程設計的一般問題，如何選料和基礎面的問題，關於加工準確度與加工面質量的問題，關於技術定額和製造圖表的問題等。第二章講各種表面加工方法。第三章講一般的問題，如加工與裝配的各种過程，工序間的裕量和公差，各種裝配方法，生產連續作業法，零件結構的工藝性（Технологичность），關於生產過程的經濟和檢查的問題等。應該指出，由於生產的日益複雜，在機械製造學中不僅包括關於原料在金屬切削機床上的加工過程的科學而且也包括由零件裝配成機構或機器的問題。

至於那些用以製成機器零件的毛坯的生產過程則不在本課範圍，而另有課程講述如：鑄工學，鍛衝學，壓延學等。

第一章

基本概念與進行製造過程設計時所需的基本材料

1. 基本概念與定義：

現代的機械製造是各種製造步驟的複雜的綜合，通過這些製造步驟由原材料製成零件又由零件裝配成機器或其他成品（Изделие）這些由原材料製成成品的各製造步驟的總合稱為生產過程（Производственный процесс）。

由於零件或成品的結構上的特點與複雜性，生產過程是由或多或少的各種製造步驟組成的。這些步驟可能不是同類的，（如：壓鋼，衝擊，熱處理，機工等），也可能在某種程度上來說是同類的（如在機床上的各種操作 операция）。因此，往往一個生產過程不是在一個工廠而是由好幾個工廠來完成的。由若干個工廠來完成一個生產過程，除了較經濟之外，還能使各工廠按其生產的不同產品而專業化起來，如：冶金工廠，鑄工廠，專門製造栓桿零件（像螺絲栓，螺帽，夾螺絲釘等）的工廠；專作化油器的工廠和電機製造廠等。甚至巨大的現代蘇聯工廠（如哥里科夫斯基汽車廠 Г. А. З. 和斯大林汽車廠 З. И. С.）既使本廠有鑄工，鍛工，機工和裝配等車間，並利用各車間的合作，但它也要利用其他廠的產品。以斯大林汽車廠為例：它要向 300 個工廠訂貨（橡膠，化油器，墊片，電氣裝備，玻璃等）。所以，一個工廠只負責完成整個生產過程的一部分，在某一工廠完成的這一部分叫做工廠生產過程（Заводской производственный процесс）。常常有這樣的情形，即某一「工廠生產過程」，所用的原料是其他工廠的成品，也就是說，後一工廠或幾個工廠是負責完成整個生產過程的前面的部分的。

經常一個「工廠生產過程」又可分為若干個車間生產過程。例如：鑄工車間生產過程，鍛工車間生產過程，機工車間生產過程，裝配車間生產過程及檢驗車間生產過程等。

其次，舉例來說，如果我們分析一下機工車間生產過程，便知機工車間生產過程不僅包括零件在機床上的加工，而且包括質量檢查，運輸，倉庫保管等等。同時也包括生產的各項準備工作。由此可見，車間生產過程也是由許多部分構成的，這些部分我們稱之為製造過程（Технологический процесс）。在機工車間裏可能有檢查，運輸等製造過程。

機工製造過程的內容是：毛坯經過在金屬切削機床上加工而改變其尺寸與形狀，變成製成的零件的過程。如果需要的話，也可把鉗工算到這一過程中去。

在製訂機工製造過程時，要解決的問題主要是：（1）採用何種加工方法以改變毛坯形狀與尺寸，決定這些加工方法的先後順序。（2）選擇加工用的機床，附件與切削工具。（3）決定機床工作條件（Режим работы）及機床生產率。（4）決定製成零件的檢查方法及選擇需用的量具。

製造過程的組成

「機工製造過程」經常是由若干個「操作」(Операция)組成的。毛坯經過這些操作而變成製成的零件。「操作」——這是製造過程的基本單位。在某一機床上加工一件或若干件毛坯是機工製造過程的某一個部分。這一部分稱作「操作」，一個操作又分為若干個「工序」(Переход)。在一個「工序」中加工面，工具和工作條件中的轉數與送進 Подача 均不變。上述條件有一個發生變化時即稱為另一工序。為了提高生產率起見，常常把數個工序連合為一個工序(工序的複合)。這就是說幾個刀具同時工作。

工序又可由若干個走刀(Проход)組成。走刀是工序的一部分，是指在不改變加工面，工具，和工作條件中的轉數與送進的情況下，剝去一層金屬的過程。當一個工序所應切去的金屬不能一次切去的時候，工序才分為若干個走刀。

另外，一個操作也可包括一個或數個「上活」(Установка)。凡加工物(或同時加工的若干個加工物)更換一個固定法時，叫做一個「上活」。一個「上活」是操作的一部分。如果加工物總是改變固定法就會使加工準確性受影響而且浪費時間，所以在機工中常常利用一些固定加工物的夾具，以使加工物可以改換位置而無需拆裝(即改變固定法)。在不改變固定法，亦即在同一個「上活」時，加工物的每一個位置叫做「排位」(Позиция)。

工序的種類

在一個工序的進行中，從被加工表面所切去的金屬層稱作工序裕量(Операционные припуски)。工序裕量的總和即毛坯加工總裕量。按照裕量大小的不同，工序又分下列數類：荒工序(Обдирочная)，粗工序(Черновая)，細工序(Чистовая)與終工序(Окончательная)。

當裕量很大時，則在粗工序之前須先進行一次荒工序，荒工序所切去的金屬量是很大的。粗工序的加工準確度本已不高，荒工序的加工準確度尤低，細工序的加工準確度甚高，因為經過細工序加工後的表面是準備到終工序上去加工的。終工序要把加工品製成與圖紙上規定的尺寸與形狀同樣的零件來。如果零件要求很高的加工光滑度(Чистота обработки)的話，那麼，在細工序和終工序之後還要有精工序(Отделочная операция)。

粗工序包括鑽，擴孔(Зенкерование)，圓車(Обтачивание)，搪孔(Растачивание)，車頂端(Подрезание)，銑，刨等工，經過這些加工能切去相當大的一部分裕量。

細工序的內容除不包括鑽工外，餘與粗工序同，惟切削掉的裕量較小而已。但細工序還包括粗紋(Предварительное развёртывание)與粗磨。

終工序包括磨，絞，剝(Протягивание)等工。

精工序包括細圓車(Тонкое обтачивание)，研工(Притирание)，珩工(Тонкая доводка 或 Хонингование)，超級精工(Сверхтонкая отделка 或 Суперфиниш)。

2. 進行製造過程設計時所需的基本材料

機工製造過程的內容決定於零件的構造，所需要的加工的質量程度，原料的種類，同時還要看具體的生產條件。在進行製造過程設計時須知：

- 1) 零件圖。
- 2) 加工的技術條件。
- 3) 毛坯圖樣。
- 4) 裝備。
- 5) 生產任務。

零件圖與技術條件

工作圖 (Рабочий чертёж)——這是說明被加工的零件的基本材料，在工作圖中：

- 1) 應有必要的各個投影面。
- 2) 應標明全部尺寸，並在正確的位置標明尺寸。
- 3) 應標明各加工面的加工光滑度。
- 4) 應標明公差及配合。
- 5) 應標明用以製造零件的材料性質，商標及其熱處理的情形。
- 6) 應有其他特殊說明，如製配時需要的加工，局部炭化及淬火以及製造螺紋，齒或齒輪的各種說明。

技術條件可以是指毛坯的，零件的，成品重要部分的，或指整個成品而言，特別是當因某種原因在圖紙上不能說明這些條件時；技術條件包括：

- 1) 毛坯，零件或成品重要部件 (узел) 的用途。
- 2) 對毛坯，零件或成品重要部件的要求。
- 3) 檢查方法。
- 4) 一般的說明 (在個別情況下) 如關於保藏、裝箱、運輸、印製商標，以及平行平面，同心面，垂直面允許的誤差等。

毛 坯 圖

在成批生產 (Серийное пр-во) 或大量生產 (массовое пр-во) 中需按零件工作圖繪出毛坯圖，在毛坯圖中應標明毛坯尺寸及製成毛坯時的公差，各表面在進行機械加工前的裕量以及驗收的技術條件，當利用各種成形的機壓材料作毛坯以製造零件時，就不用畫毛坯圖，只要寫明機壓材料的名稱，尺寸及製造一個零件所需的長度即可。

裝 備 (Оборудование)

進行製造過程設計時，必須掌握所有的裝備的規格與特性。要了解這些或者可以看機床製造廠或外國公司的說明書，或者看機床性能表，及使用規格說明等。

生 產 任 務

對於設計新的製造過程或改變舊的過程來說，生產任務通常應說明在每晝夜中幾班工人的情況下，每年要求的成品產量，或是說明要求的成品數量及製成的期限。但是在某一生產部門或車間的生產任務中僅僅說明這些還不够。例如，以機工車間或其一部份來說，生產任務還應說明成品總數所需的某種零件數，這個數目字通常寫在零件圖或該

車間應加工的零件清單上，此外，還要說明零件儲備量的百分數。這樣，某一零件的生產任務可由下列公式算出：

$$N_g = N \cdot n \left(1 + \frac{a}{100}\right)$$

N_g — 某一零件的年度量

N — 成品的年度量

n — 一個成品所需的該零件數目

a — 零件儲備量百分數

● 生產種類及其製造過程的特點

各種不同的生產按其特點基本上可分為下列三種：即單件生產，成批生產及大量生產。每一種生產的車間組織工作及其製造過程都有自己的特點。

在單件生產中，成品都是個別製造，形狀與尺寸完全不同，而且很少重複地去作一種成品或則一件成品只作一次，在這種生產中機工車間應有一套萬能設備，以便保證能作各種成品。在一個機床上可能進行某一個毛坯或者是按其構造與材料說完全不同的幾種零件毛坯的幾個操作。在這種生產中應用標準的切削工具和夾具萬能的量具，如游標卡尺，內卡鉗，千分尺，內徑規等。由於成品間的差異較大，對零件加工準確度，零件材料的性質和種類有不同的要求以及各種操作是在萬能設備上完成的之故，車間應有一個由技術相當熟練的人員管理的計劃分配間，應儲存有較多的各種材料及較大的儲藏室，應有最熟練有經驗及全面知識的工人及技術人員。在這種生產中，加工原料按照劃綫加工的，而各種機床則依類排列。

在成批生產中成品是成組的製造，一組成品包括名稱，構造，樣式，大小完全一樣而同時投入生產的成品，按照一組成品中成品數量的多少，成品的性質，製作困難的程度，以及在一年中這種成品組重複製作的次數等的差別，成批生產又分為小批成批生產，中批成批生產及大批成批生產。

在成批生產中，機工車間除了萬能設備之外，也有特別機床，專用夾具，專用切削工具及量具，工人的技術熟練程度可較在單件生產中的工人技術熟練程度為低，這是因為在成批生產中所作的是專門工作以及通常是使用專用夾具及工具之故。成批生產要比單件生產經濟得多，產品的成本由於更能提高機床馬達載荷率及提高勞動生產率，以及使用熟練程度較低的工人而降低。機床應按操作次序排列，以便改善零件的運輸，但這樣作並不一定能適合所有的生產過程，在現代的機械工業中成批生產是用得相當廣泛的一種方式。

大量生產用於製造大批相同的成品的生產中，在這種生產中在一個工作地點總是經常地重複同一個操作，機床是依照製造過程中各操作的順序排列的。在大量生產中廣泛地應用專門機床，專用的夾具，切削工具與量具，使用技術熟練程度較低的工人。在大

量生產中，每過一定時間出產一個零件，這一段時間稱作「節奏」(Темп)，可由下式算出：

$$\text{節奏 } t = \frac{F}{N_g} \cdot n \quad (\text{分鐘})$$

F——一年內機床工作時間總和(分鐘)(Фонд)

N_g ——該零件一年的生產任務(包括儲備零件)，

n——考慮除去因修理而實際能工作的機床的係數。

第二章

機械加工的準確度

加工誤差產生的原因

由於加工時經常存在很多誤差，所以製造絕對準確的零件是不可能的。加工的準確度是指製成的零件所要求的近似於絕對準確零件的近似程度，在圖紙上準確度是用公差或技術條件來表示的。每一零件都有很多個表面，每一個表面都有兩個基本的加工誤差，即：

1. 表面本身的誤差（尺寸的誤差，形狀的誤差，精糙的誤差。）
2. 表面位置的誤差（配合尺寸的誤差，不平行，不垂直等）。

研究加工中發生的誤差具有十分重要的意義。誤差的主要來源是：機床，夾具，切削工具及量具，毛坯以及完成工序的工人。

由機床引起的誤差主要是因機床本身各零件作得不準確及其磨損而產生的。以車床為例，引起這些誤差的基本原因是：1) 主軸的跳動。2) 床面導軌或刀架等不走直線。3) 主軸中心綫與床面導軌不平行。4) 傳動鏈間間隙。此外，機床的磨損就更增加了誤差。

由夾具所引起的誤差是因製作夾具各固定點及引導刀具部份的誤差及其磨損，以及夾具在機床上按置的不够正確而引起的。這些誤差可以在設置夾具時大致計算出來，或在檢查製成後的夾具時確定出來。關於夾具製造準確度的計算問題在「夾具」一課中專門講述。加工準確度也與切削工具製造的準確度及其是否正確地按裝在機床上有關。工具按裝的準確度與按裝方法及工人或按裝工的技術熟練程度很有關係。在由於工具而引起的加工誤差中也包含一些輔助工具如刀夾，卡盤等在製造中的誤差等。

刀具在工作中磨損也是造成誤差的原因，特別是這樣一些刀具像絞刀，剝刀（прот-яжка），成形刀具等的磨損對加工準確度具有很大影響。

刀具前刃或後刃磨損的規律（在一定範圍內）在大多數情形下可用下列實驗公式表示：

$$\delta = C \cdot T^Z$$

δ —磨損（公厘）

C—常數，與切削速度，加工物及刀具材料，刀具形狀與切削的橫斷面有關。

Z—由經驗決定的方次。

T—切削時間（分鐘）。

機床，夾具與刀具的變形

加工誤差也往往因機床，夾具及刀具的剛度不夠而產生。

剛度（жёсткость）——是指某物抵抗那欲使其變形的外力的能力。通常用字母“J”來表示，單位為公斤/公厘。

$$j = \frac{P}{y}$$

P —外力（公斤）。

y —物體的位移（變形）（公厘）。

在機械製造學中「機床——工作物——刀具」彈性系統的剛度具有很大作用。這個系統的剛度主要在兩方面發生影響：一方面——影響加工的準確度，另一方面——發生震動。

提高這個系統的剛度便能提高切削用量而不致降低加工準確度或發生震動。因此只要能設法提高剛度便能提高生產率。

「機床——工作物——刀具」彈性系統的剛度當然是與機床，工作物，刀具的剛度有關的。後者可用指示表測出。

以車床為例：

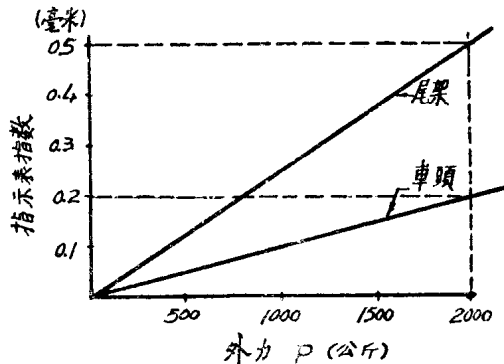


圖 1. 車頭及尾架的剛度

由（圖 1）中可知車頭及尾架的剛度：

$$j_{\text{車頭}} = \frac{P}{y} = \frac{2000}{0.2} = 10,000 \text{ 公斤/公厘}$$

$$j_{\text{尾架}} = \frac{P}{y} = \frac{2000}{0.5} = 4000 \text{ 公斤/公厘}$$

車床上主要是車頭，尾架和刀架的剛度對工作物最有影響。工作物軸心線的位移（假定工作物是絕對剛硬的）由下列兩因素決定：即車頭的位移 $y_{\text{車頭}} = \frac{Py}{2j_{\text{車頭}}}$ 及尾架的位移 $y_{\text{尾架}} = \frac{Py}{2j_{\text{尾架}}}$ ，

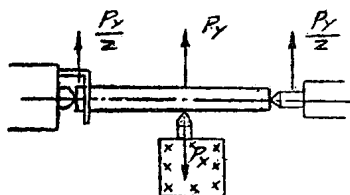


圖 2

$$y_{\text{工作物}} = \frac{1}{2} \left(\frac{P_y}{2j_{\text{車頭}}} + \frac{P_y}{2j_{\text{尾架}}} \right) = \frac{P_y}{4} \left(\frac{1}{j_{\text{車頭}}} + \frac{1}{j_{\text{尾架}}} \right)$$

$$\text{刀架位移} \cdot y_{\text{刀架}} = \frac{P_y}{j_{\text{刀架}}},$$

工作物在加工時直徑大小的改變決定於車床上述各部份的位移，今令：

$$y_{\text{車床}} = \frac{P_y}{j_{\text{車床}}}, \quad \text{則 } y_{\text{車床}} = \frac{P_y}{j_{\text{車床}}} = \frac{P_y}{j_{\text{刀架}}} + \frac{P_y}{4} \left(\frac{1}{j_{\text{車頭}}} + \frac{1}{j_{\text{尾架}}} \right),$$

$$\text{因之 } \frac{1}{j_{\text{車床}}} = \frac{1}{j_{\text{刀架}}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{j_{\text{車頭}}} + \frac{1}{j_{\text{尾架}}} \right)$$

今以中心綫高 300 毫米的車床為例，根據實驗： $j_{\text{車頭}} = 10,000$ 公斤/公厘 $j_{\text{尾架}} = 5000$ 公斤/公厘， $j_{\text{刀架}} = 1000$ 公斤/公厘

$$\text{則 } \frac{1}{j_{\text{車床}}} = \frac{1}{10000} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{10000} + \frac{1}{5000} \right) = \frac{7}{40,000},$$

$$\text{故 } j_{\text{車床}} = \frac{40000}{7} = 5,700 \text{ 公斤/公厘},$$

至於工作物的剛度，以軸（工作物）為例，假設此軸是架在車床上的兩個頂尖上的，則軸的剛度可以按照自由地支持在兩個支點上的梁的彎曲的公式算出。專門的實驗證明，在正常中心孔的情形下，軸兩端的力矩可以忽略掉。一個光滑的軸， $y = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$ ，由此，當載荷是在軸的中點時

$$j = \frac{P}{y} = \frac{P \cdot 48EJ}{Pl^3} = \frac{48 \cdot E \cdot J}{l^3} = \frac{48 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0.05d^4}{l^3} = 48 \cdot 10^3 \frac{d^4}{l^3}$$

設 $d=100$ ， $l=1000$ 公厘，則 $j=48 \cdot 10^3 \cdot \frac{10^8}{10^9} = 4800$ 公斤/公厘

刀具的剛度，例如在車床上切刀的剛度，對加工準確度影響不大，因為刀具頂端的位移主要是在切綫方向，而在半徑方面則幾乎不發生位移。

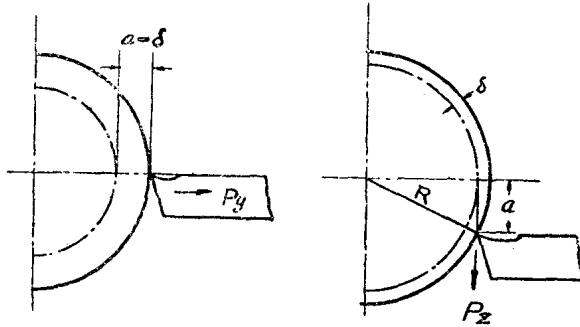


圖 3 切削時刀具的位移

設 $a=0.2$ 公厘， $R=50$ 公厘，則在分力 P_y 下直徑誤差 $2\delta=2a=0.4$ 公厘（見圖 3 左）在分力 P_z 下， $\therefore \frac{\delta}{a} = \frac{a}{R}$ ， $\delta = \frac{a^2}{R}$ 直徑誤差 $2\delta = \frac{2a^2}{R} = \frac{2(0.2)^2}{50} = 0.0016$ 公厘（見圖 3 右）。

這也就是說，小於 0.002 公厘，而且刀架、車頭和尾架在垂直方向的剛度還大於水平方向的剛度。

固定毛坯時的變形

在把毛坯固定在機床上時，常常發生變形。這種變形也是屬於「機床——工作物——刀具」彈性系統變形的一部份的。

在知道外壓力的情況下，例如，環形毛坯的變形可以計算出來。在外力壓迫下環形毛坯可能變得不圓了。這樣，在搪孔時孔是圓的，而把環形毛坯卸下後，環的外圓恢復了原來形狀，而搪的孔則不圓了，如圖 4 所示，特別是大的或中空的零件更易發生這種情形。

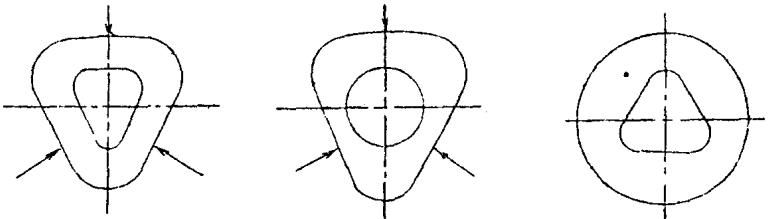


圖 4 固定毛坯時的變形

溫度變形

在加工過程中，毛坯的溫度提高，這會影響到尺寸的準確度，而如果毛坯各部份溫度的變化不一樣，則甚至會引起毛坯形狀的變化。爲了減少毛坯溫度的升高，須用冷卻法。例如在磨床上，如果不施行冷卻，則毛坯（特別是薄壁的毛坯）會發生局部高熱，因而引起尺寸誤差。爲了了解因上述情形所引起的誤差，可看下例：設有直徑爲 100 毫米的鋼製零件，它在溫度由 20° 升到 60° 的情形下，直徑的增加 $\Delta d = 0.000012 \cdot 100 \cdot 40 = 0.048$ 公厘，這個誤差是不小的，約近 0.05 毫米。薄壁而長的毛坯受熱而伸長，因此在磨床上加工時可能發生彎曲現象，加工後成凹形。

測量的不準確

加工誤差之一是測量毛坯或零件時所發生的誤差。也就是，量具或儀器的誤差，和測量過程中發生的誤差。

因內部應力所產生的誤差

在沒有載荷的情況下，毛坯材料內部所存在的應力稱爲內部應力。內部應力在毛坯製造過程中產生，但也常常在機械加工時產生，特別是在荒工序和粗工序中。剛度不大的毛坯可因此而發生相當大的變形。減少內部應力有很多方法。視零件構造與材料而定。（如時效法，（старение），正火法（нормализация），以及正確地製訂製造過程等）。

加工誤差計算法

能引起加工誤差的各因素給依次加工的毛坯所帶來的誤差大小是不同的，其中又可分爲系統誤差和偶然誤差。

系統誤差——指在依次加工一系列毛坯時誤差大小不變，或有規律地變化的誤差。舉例來說，設絞刀直徑小於應有直徑 0.02 公厘，那麼絞出的孔就比要求的尺寸小 0.02 公厘。在這種情形下絞刀的誤差就是不變誤差（-0.02 公厘）。

還有一種系統變化誤差，是由某種變化着的因素引起的。例如用切刀切削圓軸時，切刀本是按裝在定好的位置上的，但由於車刀逐漸磨損，結果車出來的許多軸便一個比一個大。而各軸直徑的增大是有一定規律的。因此，由於切刀的磨損而產生的誤差稱作系統誤差，而且這個誤差又是變化的，因爲每一個車出的軸的誤差是不一樣的。

偶然誤差——是這樣一種誤差，它的大小與正負事先不知道，因爲這種誤差的發生並不遵循任何規律。偶然誤差是由一個或若干個偶然因素造成的，這些因素變化無定。偶然誤差也可能是由爲數很多的變化雖有規律，但不定什麼時候出現的因素所造成的（系統因素）。某一尺寸的誤差便是這些系統因素和偶然因素作用的綜合結果。工程師應要知道在某工序中可能發生的偶然誤差的數目。不知道這種誤差的大小，便不能担保不出廢品，不能正確地選擇工序。在大多數情形下，須先找出綜合誤差的各組成部份，才能決定綜合誤差，各組成部份加起來就得到了欲知的綜合誤差的大小。

估計某種誤差（或某些誤差）對某一尺寸的影響，有兩種方法即：計算法與統計法。

計算法就是列出說明誤差與引起誤差的因素的關係的等式來。計算法不僅可決定誤差的大小，而且可以找出減少誤差的方法來。例如公式 $y = \frac{P l^3}{48 E J}$ ，由公式可知：軸的彎曲量可以用下列辦法減少：即減小外力 P （減少切深或送進），或者減少長度 l （利用中心托架）。

統計法以在車間的實際觀察為基礎。用統計法可以得知在某些條件下加工時所有因素共同造成的關於誤差的材料。

用統計法時，首先須把加工後各零件的尺寸量出，繪出分配曲線，然後便可根據此曲線找到在某些條件下的誤差來。

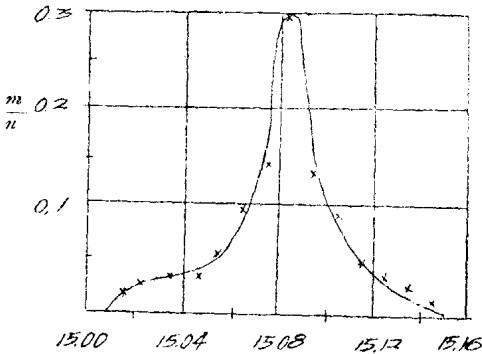
關於繪製分配曲線的方法，為清楚易懂起見，下面用實例說明：設加工後零件某一尺寸的誤差是 $15 + \begin{smallmatrix} 0.15 \\ + 0.01 \end{smallmatrix}$ 公厘，一共有 200 個毛坯在同一條件下加工。量一下各零件的尺寸，通常尺寸間隔在量時是 0.01 公厘。把量得的結果列一個表，此表第一行填上尺寸間隔，第二行填上在該尺寸間隔中的零件數（ m ），各尺寸間隔中的零件數加起來等於零件總數（即 200 個）。然後算出零件比率，即在某一間隔中的零件數與零件總數之比，把它列入表的最後一行。

設以橫坐標為尺寸數，縱坐標為零件比率，所得各點可用實線連成一曲線，所得曲線的特性可能是各式各樣的。所得曲線能表示下列各數值：

$$\text{平均尺寸 } A_{cp} = \frac{\sum A_i \cdot \text{平均} \times m}{n} = 15.083 \text{ 公厘}$$

$$\text{平均平方誤差 } B = \sqrt{\frac{(A_1 - A_{\text{平均}})^2 m_1 + (A_2 - A_{\text{平均}})^2 m_2 + \dots + (A_n - A_{\text{平均}})^2 m_n}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum (A_i - A_{\text{平均}})^2 m_i}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \mathcal{F}^2 m_i}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \mathcal{F}^2 \cdot m}{n}} = \sqrt{\frac{(1169.60) 10^{-4}}{200}} \\ = \sim 0.024 \text{ 公厘}$$



(圖 5) 尺寸 (毫米)

圖 5 所示曲線極與良蒲諾夫——高斯 (Ляпунов-Гаусс) 的常態分配曲線相似，良蒲諾夫——高斯曲線是表示許多在偶然因素綜合作用的曲線。在這種曲線中在中線兩側 $+B$ 及 $-B$ 處各有一個轉折點 (Точка перегиба)。在曲線的範圍內包括了所有被研究的零件。任意選兩個橫坐標上的數值如 15.10 和 15.11 公厘，便可得出尺寸在 15.10 和 15.11 公厘間的零件數。