

夾具設計原理

夾具設計原理

(机械制造工艺、金属切削机床及刀具专业学生用参考教材)

江苏工业学院图书馆
藏书章

西安交通大学

机切教研组

1959~1960

目 录

序 言

第一章 概述..... 1

第二章 定位原理及原件

- § 1. 工件的定位精度和安装精度 5
- § 2. 对夹具定位原件的基本要求 8
- § 3. 典型定位方法的分析 9
- § 4. 特种及組合定位方法举例 25
- § 5. 夹具与机床及刀具的連系方法 26

第三章 夹压原理及夹紧机构

- § 1. 夹紧工件的基本原则 33
- § 2. 夹紧力的選擇方法 34
- § 3. 简单夹紧机构 40
- § 4. 联动及多件夹紧机构 46
- § 5. 夹紧力及夹紧机构計算举例 49

第四章 定心夹紧机构

- § 1. 定心夹紧机构的作用 51
- § 2. 斜面的定心作用 52
- § 3. 薄壁夹紧件的定心作用 59

第五章 夹具的傳动与中間傳动机构

- § 1. 气压傳动 75
- § 2. 液压傳动 84
- § 3. 气液压联动 87
- § 4. 电气傳动 89
- § 5. 其他机械化傳动方法 90
- § 6. 中間傳动机构 92

第六章 有关定位、夹紧及傳动計算的一些例題..... 97

第七章 鉗鏜夹具

- § 1. 盖板式鉗模 104
- § 2. 固定式鉗模 105

§ 3. 翻轉式鉗模..... 108

§ 4. 滑柱式鉗模及其鎖紧机构..... 109

§ 5. 轉台及迴轉式鉗模..... 115

§ 6. 多軸傳动头的典型結構与設計..... 121

§ 7. 鏜模的典型結構..... 124

§ 8. 鉗床及鏜床上用的輔助工具..... 128

第八章 銑床夹具

- § 1. 銑床用的通用夹具 131
- § 2. 直綫进給的銑床夹具 135
- § 3. 圓周进給的銑床夹具 141
- § 4. 仿形夹具 142

第九章 車磨夹具

- § 1. 卡盘 144
- § 2. 加工軸类工件用的夹具 147
- § 3. 加工盘状及套筒类工件用的夹具 150
- § 4. 磨齿輪中心孔用的夹具 153
- § 5. 高精度的卡盘与心軸 157

第十章 其他机床夹具

- § 1. 臥式拉床夹具 159
- § 2. 立式拉床夹具 160
- § 3. 切齿机上用的夹具 160

第十一章 檢驗夹具

- § 1. 对檢驗夹具的基本要求 163
- § 2. 檢驗夹具的特殊原件 164
- § 3. 各类檢驗夹具举例 166

第十二章 夹具設計的方法及其經濟性

- § 1. 夹具設計中常見的問題及分析方法 168
- § 2. 設計夹具的步驟 174
- § 3. 使用夹具的經濟效果 178

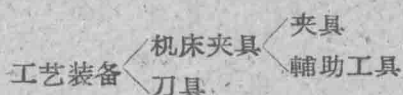
参考文献

夾具設計原理

第一章 概 述

夾具是機械加工中用以便利或加快施工程序的一種工具，在切削、熱處理、焊接、檢驗和裝配等工作中都要用它；而用之最廣泛的是機床夾具，也是本課程的主要對象。

機床夾具是根據工藝規程的要求，在機床上用來固定和夾持工件或刀具的裝置。它可以分為兩類：用來安裝工件的，通稱為夾具；用來安裝刀具的，通稱為輔助工具。機床上的各種卡盤及心軸均屬於前一類，而鉗夾頭，絲錐夾頭等均屬於後一類。



切削加工中，夾具、輔助工具與刀具均屬於工藝裝備。

什麼是工藝規程的要求呢？我們知道，工藝規程除了規定工件在加工工序中的定位面、夾緊面以及所選用的機床外，還提出了這一工序中要求的精度和生產率。因此，設計夾具必須以工藝規程作為依據。

我們之所的非常重視機床夾具，是因為任何機械加工都不能離開它，任何一個新建的機械製造廠在其他車間投入生產以前，製造工夾具的工具車間就必須首先投入生產。具體分析，機床夾具起着下面的一些作用。

1、沒有夾具就無法使用機床 如果沒有卡盤、彈簧夾頭和頂尖，就無法使用車床進行加工。其他機床也是一樣，沒有心軸，滾齒機和插齒機就無法使用；沒有鏢杆、鏢床就難於使用。因此，這類加工所必須的夾具大部分已成為機床的標準附件了。

2、擴大機床的工藝可能性 由於機床的類型遠遠少於各類機械製造中所生產的另件類型，需要使一些機床承擔它所不能承擔的工作。在工廠具體條件下，設備有一定的限制，往往需要迫使一種機床來代替另一種機床的工作，這就要使用夾具。

例如，在萬能車床上拉鍵槽，加工成型面或進行其他的特種加工，就不得不採用夾具，在鉗床上加工工件上準確的孔系，也不能不使用夾具。這類例子是很多的。

3、保證加工精度 另件的精度包括尺寸精度，幾何形狀精度及表面相互位置的精度三類；使用夾具的最大功用是保證另件上各表面間相互位置的精度。例如，在搖臂鉗床上使用鉗模加工孔系時可以保證0,10~0,20毫米的孔心距精度，而按劃綫法加工時則僅能保證0,4~1,0毫米的孔心距精度。由於使用夾具代替劃綫工序，採用預先調整機床的方法來進行加工，而不是採用所謂試切法，使產品的尺寸精度更易趨向穩定，並充分地保證了另件的互換性。

4、提高機床的生產率 在生產中衡量機床生產率最直接的指標是單位時間內所生產出的工件個數 N ，即

$$N = \frac{1}{t_{\text{單件}}}$$

其中 $t_{\text{单件}}$ 一在該工序中加工一个工件所需的时间,一般称为单件工时。要提高机床的生产率,就必须压缩单件工时。从夹具設計的角度來說,应该从两方面加以考虑;压缩单件工时的个别組成部分与按照先进的,高生产率的工序方案来設計夹具。

切削加工中,单件工时主要由下面几个部分组成:

基本工时 $t_{\text{基本}}$, 包括切削工时 $t_{\text{切削}}$ 和机动的輔助工时 $t_{\text{輔机}}$, 后者是指刀具的引进与退离, 工作台的轉位和其他机构运动所消耗的时间。

輔助工时 $t_{\text{輔助}}$, 包括工件的装卸、夹紧和松夹, 开动机床和換速, 手动引进刀具和退刀以及檢驗工件等一系列輔助操作所消耗的时间。

由于基本工时与輔助工时是加工每个工件所必須消耗的时间, 二者合称为工序工时 $t_{\text{工序}}$, 即

$$t_{\text{工序}} = t_{\text{基本}} + t_{\text{輔助}} = t_{\text{切削}} + t_{\text{輔机}} + t_{\text{輔助}}$$

除了工序工时外, 在单件工时中还应包括換刀或調整刀具所消耗的工时 $t_{\text{調整}}$:

$$t_{\text{調整}} = \frac{t'_{\text{調整}}}{N};$$

其中 $t'_{\text{調整}}$ 一每次換刀及調整刀具所耗費的时间, N 一相邻两次換刀及調整刀具的时间內所加工出的工件数。

因此, 单件工时 $t_{\text{单件}}$ 应等于

$$t_{\text{单件}} \approx t_{\text{切削}} + t_{\text{輔机}} + t_{\text{輔助}} + t_{\text{調整}}$$

它的結構如下图所示。



在縮短机动工时方面(即基本工时 $t_{\text{基本}}$), 主要依靠正确選擇刀具的材料及几何形状, 增强切削用量, 增加刀具与工件的接触长度以及改善机床的运动机构达到; 夹具仅起着輔助的作用, 例如, 提高和保證加工系統具有足够的刚度, 消除加工可能产生的振动等。

随着高速切削和強力切削的采用, 基本工时在单件工时中所占的比重越来越小, 有时甚至远远低于輔助工时。这时, 提高生产率的基本关键便是后者。馬克斯說过, 生产过程越完善, 就越不停息, 从一个过程轉到另一过程就越不用手而代之以机械, 因此, 生产过程的連續性是工艺完善程度的一个重要指标。

由于使用夹具代替了划綫, 工件在夹具中能自动地保證它与机床, 刀具的相对位置, 这就使安装工件所消耗的时间可以大为縮短。

使用夹具縮短輔助工时的另一个重要方面是縮短夹压工件所消耗的时间。现代机床夹具中广泛使用气动、液压及电气等机械化夹压装置, 比起手动夹压來說, 可以加快数倍乃至数十倍, 而联动夹压的使用, 也可以使夹压手續簡化, 保證了从几个位置上同时夹紧一个工件。

加工小型工件时, 装卸工件既費事、又費时, 因此, 在大量及大批生产中, 夹具上装有上料及卸料的自动化装置。

至于檢驗所占的时间, 在工艺过程不稳定的工序中, 如磨削工序, 往往占有很大的比重, 因此, 現厂設計有各类檢驗夹具, 其中包括在加工过程中进行自动测量的夹具。

从上面的分析中可以看到, 夹具在压缩輔助工时方面所起的作用是极为巨大的。

所謂先进的、高生产率的工序方案, 一般应具有下面的一些特点:

(1) 采用平行或平行一依次的加工方法, 所謂平行的加工方法是指同时用数把刀具来加工一

个工件上的表面；所謂平行依次的加工方法是指同时用数把刀具来加工一个工件，但在時間上各工步并不完全重合。例如，在多軸銑床上加工一个工件上的几个平面和在立鉗上使用多軸傳动头加工一个工件上的孔系均属于这两类加工方法。

(2) 采用多件流水的加工方法，在一个工序中同时有数个工件进行工步相同的加工；例如，銑床上的多件夹具，同时銑削数个乃至数十个工件上的槽或平面等。

(3) 使輔助工时及机动輔助工时与切削工时相重合，例如摆式銑削及用双位轉台銑削。

(4) 采用多位的加工方法，它是指依次在不同的工位上加工一个工件的表面，例如，多位轉台上依次鉗、扩、鉸工件的内孔。这种加工方法虽然不能縮短切削工时，但可以減少工件的装夹次数和工序間的运输，并保証工件上各表面間严格的位置精度。

由上可知，按照高生产率、先进的工序方案来設計夹具，不但可以节约切削工时，而且也可以节约輔助工时。在一般概念中，高生产率的工序方案是依靠专用机床及組合机床来实现的，但从上面的一些例子中可以看到，事实并非如此，使用夹具来实现先进的工序方案在現厂中的意义要比专用机床往往大得多。

至于調整工时，随着生产上自动机床和半自动机床的采用，也开始使用一些調整夹具，以加速調整过程，使調整工时尽可能縮短，但由于这方面主要取决于机床完善化的程度和生产規模，而調整夹具本身的作用又有一定的局限性，在夹具設計的角度来看，还没有成为注意的中心。

(5) 保持生产的节奏性，平衡流水加工的节拍，在流水加工中往往不能达到每道工序的工时完全平衡，有所謂薄弱的环节，即某一道工序的加工迟緩于其他工序，这时就需要采取技术組織措施，而使用高生产率的快速夹具，多位夹具便是平衡节拍的一个有力的措施。

其次，在成批生产中，往往平均节拍很长，有时达到 60~120 分钟，要組織流水生产就要集中工序，在一个工序中加工数十个或更多的表面，否則，机床的負荷率过低而无法妥善地解决，也无法使用先进的，高效率的机床，而依靠完善的夹具即可以解决这一問題。

(6) 消除廢品，提高劳动生产率，降低生产的成本。

(7) 減輕工人体力劳动的强度，达到安全生产。

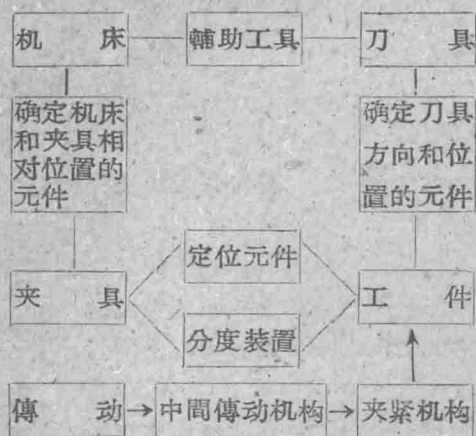
如上所說，夹具在生产上所發揮的作用既然如此广泛，問題是：是否在任何場合下都能任意地設計和使用夹具？对于这个問題的回答是否定的。由于制造夹具本身需要較长的生产准备時間和一定的設計制造費用，而且，由于生产对象的变化，一般夹具在它本身自然損耗以前就失去了功用。因此，在設計和使用夹具前必須考慮經濟上是否合算。所以，在試制、单件及小批生产中仅采用标准化或規範化的通用夹具，如卡盘、虎鉗等；在大量大批生产中广泛使用所謂专用夹具，即为某一工件特定的某一工序所設計的夹具；在成批生产中，广泛使用所謂組合夹具，将夹具中的某些部件制造成通用性較强的单独部分，使之适应于不同的加工要求。

为了进一步研究和分析夹具，就需要对生产上成千上万的夹具加以科学的分类，除了上述按照使用范围来分析时可将夹具分为通用夹具，組合夹具及专用夹具外；还可以按使用的工种来分，如車床夹具、鉗床夹具及銑床夹具等，也可以按照夹紧力的来源来分，如手力夹紧，机械夹紧（包括气动、液压等）及电气夹紧（包括电机和电磁）。

組成夹具的元件和部件，根据它們在夹具中所起的作用可分为

1. 定位原件，它是規定工件在夹具中位置的原件。
2. 夹紧机构，它是为了防止在加工过程中由于切削力，离心力等的影响而使工件位置改变而夹紧工件的机构。
3. 傳动部件，机械化夹压中产生力源的部件。如气压傳动中的气缸，分配閥等。

4. 分度装置，在加工过程中改变工件和刀具相对位置的装置。
5. 规定夹具与机床、刀具相对位置的原件，如导套、对刀块、键等。
6. 将上述原件和机构连成一个整体的原件，称为夹具体。



因此，夹具上的各种元件和机构将机床刀具和工件连成为完整的机床-夹具-刀具-工件系统(如左图所示)。机制工艺中的问题：精度问题，振动问题，刚度问题等均应从这一整体出发来进行分析和研究。

随着生产的发展和工艺过程不断的完善化，夹具的设计也跟着有了巨大的改进和提高。总的说来，可以分为下面一些方面：

1. 夹具原件和部件的标准化与规格化，不单使生产准备周期加速，而且也使夹具的制造由单件性质转变为成批生产的性质。苏联汽车制造业中有70—80%的夹具原件均已进行了标准化和规格化。因此，它是节约劳动力，加速生产准备的关键。

2. 为了适合小批和多品种生产的要求, 必须发展和推广组合夹具, 万能拼合夹具。这样, 就有可能消除一般专用夹具的缺点而在小批和单件生产中收到使用专用夹具的效果。

3. 在大批、大量生产的工厂中,进一步广泛地推广机械化夹具,如气压,液压夹具等。随着生产过程逐步地自动化,工件的安装定向问题显得特别重要,它是工序自动化中一个最难于实现而又是一个最终的环节。目前、有许多夹具中装有自动上料及下料机构,这样做,无疑是夹具结构发展的一个方向。

4. 設計并推广高精度夹具, 例如塑料心轴及卡盘、膜片心轴及卡盘等, 以保证高精度工件的质量。

5. 为了尽量利用现有的设备,以便在现有设备的条件下制造出新的、更精密的产品和实现生产翻数番的要求,必须注意和推广扩大机床性能的夹具,如仿形夹具,改装机床的各类夹具等。

最后，应该强调，衡量夹具的标准，除了夹具是否符合该工件的生产规模，是否经济合算外，还应该考虑这一夹具是否能保证工艺规程提出的关于精度和生产率的要求，以及夹具在使用上是否安全方便，如是否过于笨重，是否便于操纵等。

第二章 定位原理及元件

工件的定位精度与安装精度，对夹具定位原件的基本要求，典型定位方法分析，特种及组合定位方法举例，夹具与机床及刀具的连系方法。

§ 1. 工件的定位精度与安装精度

保证工件加工精度的根本条件之一即是工件与机床、刀具及夹具间保证一定的相对位置。

六点定位规律是工件在夹具中定位的基本准则，任何破坏这一规律的情况，即过定位或自由度消除不足，均将导致过大的加工误差，从而破坏了加工面与工件上其他表面间相互位置的精度。

但是，即使在遵循六点定位规律的情况下，工件在夹具中的位置仍然不能保证绝对准确，仍然有所谓安装误差存在。作为加工误差的组成部分，安装误差 ε 由定位误差 $\varepsilon_{\text{定位}}$ 及夹紧误差 $\varepsilon_{\text{夹紧}}$ 组成。

定 位 误 差

所谓定位误差 $\varepsilon_{\text{定位}}$ ，是工件的设计基准与定位基准不重合，基准尺寸不可能绝对准确或由于工件定位基准与夹具上的定位原件本身制造不能绝对准确而引起的设计尺寸的误差。所谓基准尺寸，是连接设计基准与定位基准的尺寸。

其所以会产生设计基准与定位基准不重合的情况，是因为设计人员与工艺人员在标志另件尺寸时的出发点不同，设计人员在设计产品时，往往从产品的质量、性能出发来选择另件的基准面，而工艺人员则从另件的加工观点来选择基准面：是否便于安装、便于夹紧、在加工过程中是否便于观察和测量、选择这样的基准面是否使夹具的结构简化等。

图 2-1 所示便是一个典型的例子，在另件 1 及 2 上需要加工两个轴承孔，为了保证孔心距，设计人员在产品图样上标明了尺寸 $A \pm \delta_A$ 与 $B \pm \delta_B$ ，但工艺人员为了使工件便于安装在夹具内，采用了表面 a 及 b 作为定位基准，这时，由于设计基准与定位基准不重合，而使设计尺寸 A 及 B 产生附加的误差，称为定位误差 $\varepsilon_{\text{定位}}$ 。

其所以会有误差 $\varepsilon_{\text{定位}}$ 产生，是因为连接设计基准与定位基准的尺寸—基准尺寸 a 与 b 不可能做得绝对准确，按调整法加工此轴承孔时，一批工件的设计基准 A 与 B 不能保证在夹具中占有不变的位置而在一个范围内变动，这一变动的范围应等于 $2\delta_a$ 及 $2\delta_b$ 。当这批工件加工完毕后，就使设计尺寸产生了上述的附加误差，亦即是定位误差

$$\varepsilon_{\text{定位}A} = 2\delta_a; \quad \varepsilon_{\text{定位}B} = 2\delta_b$$

应该注意，设计尺寸的定位误差是随机性质的误差，而且，它是具有方向性的，当基准尺寸与设计方向不一致时，基准尺寸的误差反映到设计尺寸上的大小亦不一致。如图 2-2 所示，加工燕尾槽时，需要保证设计尺寸 $A \pm \delta_a$ ，则由于基准尺寸 b 的影响而造成的定位误差应为

$$\varepsilon'_{\text{定位}A} = 2\delta_b \cos \varphi$$

由于基准尺寸 c 的影响而造成的定位误差为

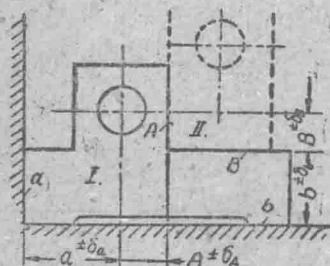


图2-1 定位误差的来源

$$e''_{\text{定位}A} = 2\delta_c \sin \varphi$$

除了由于基准不重合而造成定位误差外，还需要考虑到工件的定位基准本身和夹具定位原件制造误差的影响。如图 2-3 所示，使用心轴安装轴套类工件时，设计基准为工件外圆上的一点，要求保证设计尺寸 A ，定位基准为工件的内圆（以内圆的中心线代表），如果内孔和心轴间没有间隙 Δ 则基准尺寸的误差为

$$\frac{\delta}{2} + 2e;$$

其中 e — 内孔与外圆的不同心度。但由于加工时内孔和心轴本身均有一定的制造误差，而安装工件时必须保证一定的最小间隙，使心轴与工件内孔间造成直径间隙 Δ ，因此尺寸 A 的定位误差为

$$e_{\text{定位}A} = \frac{\delta}{2} + \Delta + 2e。$$

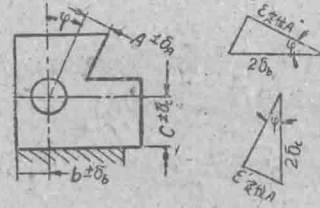


图2-2 定位误差的方向性

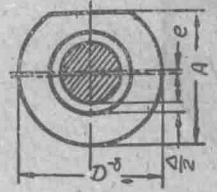


图2-3 定位基准及定位元件制造误差的影响

夹 紧 误 差

夹紧误差是由夹紧力所造成的工件设计尺寸的误差。由于在切削过程中力的作用，它力图使工件离开它在机床、刀具、夹具系统中的规定位置，即破坏工件的正确定位，因此，在加工前需将工件进行夹紧。夹紧工件本身的目的，如上所述，在于保证工件的加工精度，但往往由于夹压不当而造成过大的加工误差。总的来说，夹紧误差应包括工件的弹性变形和移位与接缝变形两种。

使工件产生过大的弹性变形是由于夹压不当或夹紧力分布不善所造成，有时也由于工件的刚性不足所致。

轴套类工件使用卡爪夹持外圆加工内孔时，往往使加工的孔产生稜圆度 γ ，其数值可以用弹性力学的方法计算：

$$\gamma = \beta \frac{Q}{E} \cdot \frac{R^3}{J}$$

其中 Q — 每一卡爪的夹紧力，公斤， R — 轴套的平均半径，毫米， E — 弹性系数，公斤/平方毫米， J — 惯性矩，四方毫米；

$$J = \frac{bh^3}{12};$$

其中 h 及 b — 轴套的壁厚与宽度，毫米； β — 系数，随卡爪的数目而定。

K	2	3	4	5	8	10	12
β	143×10^{-3}	30×10^{-3}	11×10^{-3}	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$0,65 \times 10^{-3}$	$0,35 \times 10^{-3}$

由表中可知，卡爪数目越少，系数 β 值越大，相应的几何形状偏差越大。因此，改善几何形状偏差的有效措施之一便是增加卡爪的数目 K ，直到将集中力改为均布力为止。

箱体类工件有时也会由于夹压不当或刚性差而产生过大的弹性变形，由于变形的结果，破坏了对工件的技术要求：加工孔与基面的平行度或垂直度，孔间的相互平行度，各孔的同心度等。但箱体工件由于结构比较复杂，类型也不一致，要想通过简单的力学方法从理论上求出夹紧变形量是很困难的。浩繁的计算过程往往限制了它在实际生产中采用这些方法。

床身看来是相当刚固的工件，但要加工出平直的导轨面却不是简单的事情，为了消除工件在夹压时所产生的变形，宜于从侧向抵紧工件，即夹紧力的方向平行于工作台面。有时，为了增加导轨中部在使用时的耐磨期限，要求稍有凸起，则可在加工时在垂直于工作台面的方向夹压。

精密工件加工时，有时工件本身的刚性并不很差，但由于要求的加工精度高，也需要注意工件在加工时的弹性变形问题。例如，精密机床上的分度盘，由于结构上的要求，两侧端面的平行度应小于5微米，为了在最后精磨端面时达到上述要求，避免工件夹紧在电磁吸盘上由于接触面过少而造成弯曲起见，可在精磨端面前增加一道研磨工序，使工件的一个端面与研坯能在60%以上的面积接触。

工件由于夹压不当而产生的弹性变形应尽量消除。

在夹紧力的作用下使工件产生移位的原因往往是工件定位面或夹具定位原件的制造精度不足所造成，有时也由于夹具本身结构上的缺陷所致。例如，使用虎钳夹压时，由于工件的两个定位面互不垂直，如图2-4所示，在夹紧力矩 QL 的作用下，使工件转过 β 角，造成夹紧误差 $\varepsilon_{\text{夹紧}}$ 。设 B 为固定钳口至测量截面间的距离，则

$$\varepsilon_{\text{夹紧}} = B \tan \beta \text{ 毫米,}$$

β 角的数值随工件的加工情况而改变，对锻件而言，约等于 1° ，经粗加工的工件，约等于 $40'$ ，经过半精加工的，约等于 $20'$ ，经过精加工的工件， β 角的数值约等于 $4'$ 。

除了在夹压时，工件产生弹性变形与移位外，如果夹具的结构选择得当，夹具体的刚性足够，则工件与定位原件间的接缝变形便往往成为使设计尺寸产生夹紧误差的主要原因。这里所指的接缝变形，是指工件基准面与定位元件工作表面本身宏观凸起与微观凸起在夹紧力作用下的变形。当然，在夹紧力的作用下，夹具上其他固定接缝也会发生接缝变形，但可以采用预加载荷的办法（如预先用螺钉拧紧）使之大为减少。

根据试验，工件与定位件间的接缝变形和夹紧力的关系为非线性关系，如图2-5所示。这是很容易理解的：开始加载荷时，工件与定位原件间的实际接触面积很小，单位面积上的实际压力强度很大，随着变形量 y 的增加，接触面积不断增大，压力强度下降，曲线的坡度也随之减缓。以公式表示，则

$$y = C Q^n;$$

其中 y —接缝变形量； Q —作用在定位原件工作面上的垂直夹紧力， n —指数，小于1； C —系数，随加工的表面光洁度变化。

加工一批工件时，由于每次夹压的夹紧力不一致，造成工件与定位元件间接缝变化的变化为

$$\Delta y = y_{\max} - y_{\min} = C(Q_{\max}^n - Q_{\min}^n);$$

其中 $Q_{\max}$ 及 $Q_{\min}$ —夹压该批工件时最大及最小的夹紧力； $y_{\max}$ 及 $y_{\min}$ —相应的最大与最小的接缝变形量。

由于夹紧误差与定位误差一样，均是设计尺寸的误差，也具有方向性；因此，由于接缝变形造成的设计尺寸误差应等于

$$\varepsilon_{\text{夹紧}}^I = C(Q_{\max}^n - Q_{\min}^n) \cos \varphi;$$

其中 φ —变形方向与设计尺寸方向间的夹角。

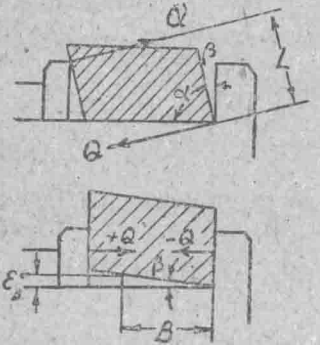


图2-4 使用虎钳夹紧时工件的移位

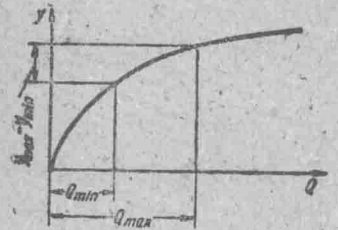


图2-5 夹紧力与按缝变形的关系

設

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}, \quad Q_{\text{平均}} = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2};$$

則

$$Q_{\max} = \frac{2K Q_{\text{平均}}}{1 + K};$$

$$Q_{\min} = \frac{2Q_{\text{平均}}}{1 + K};$$

而上述的夾緊誤差 $\varepsilon_{\text{夾緊}}^I$ 應等于

$$\varepsilon_{\text{夾緊}}^I = 2C Q_{\text{平均}}^n \frac{K^n - 1}{(K + 1)^n} \cdot \cos \varphi;$$

其中 $Q_{\text{平均}}$ —平均夾緊力; K —夾緊力不均勻係數, 手力夾緊時, 如果夾壓手柄布置方便 $K \approx 1, 3$, 否則 $K \approx 1, 5 \sim 1, 6$; 機械化夾緊時 $K \approx 1, 0$ 。

除了夾緊力變化造成夾緊誤差外, 工件表面質量不一致也會造成夾緊誤差。設夾緊力不變, 則由於表面質量不一致而造成的夾緊誤差 $\varepsilon_{\text{夾緊}}^{II}$ 應等于

$$\varepsilon_{\text{夾緊}}^{II} = (C_{\max} - C_{\min}) Q^n \cos \varphi = K_1 C_{\text{平均}} Q^n \cos \varphi$$

其中 K_1 —係數, 當工件以粗基準定位時, K_1 約等于 0, 2; 以已經加工的平面及平面定位原件定位時 K_1 約等于 0, 3 ($\frac{H_{OK\max}}{H_{OK\min}} = 2$ 時)。

夾緊誤差與定位誤差一樣, 也屬於隨機誤差, 在正態分布時, 總的夾緊誤差應等于

$$\varepsilon_{\text{夾緊}} = \sqrt{(\varepsilon_{\text{夾緊}}^I)^2 + (\varepsilon_{\text{夾緊}}^{II})^2}$$

如果考慮到夾緊時定位原件及夾具其他部件所產生的彈性壓縮, 使設計尺寸產生附加的夾緊誤差 $\varepsilon_{\text{夾緊}}^{III}$, 則

$$\varepsilon_{\text{夾緊}} = \sqrt{[(\varepsilon_{\text{夾緊}}^I)^2 + (\varepsilon_{\text{夾緊}}^{II})^2]^2 + (\varepsilon_{\text{夾緊}}^{III})^2},$$

安裝誤差, 如前所述, 應包括定位誤差和夾緊誤差, 則

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{定位}}^2 + \varepsilon_{\text{夾緊}}^2}.$$

設 ξ 為加工方法所產生的誤差, η 為與夾具和機床調整等有關的系統性誤差, 則工件的公差應保持:

$$\delta \geq \eta + \sqrt{K_f^2 \xi^2 + K_e^2 \varepsilon^2};$$

$$\text{即 } \varepsilon \leq \frac{\sqrt{(\delta - \eta)^2 - K_f^2 \xi^2}}{K_e};$$

其中 K_f, K_e —決定於誤差 ξ 及 ε 分布性質的係數, 在正態分布時, 二者均等于 1。因此, 在設計夾具時, 必須使安裝誤差 ε 滿足上述不等式, 即誤差不等式, 在選擇定位方法時, 也可以利用上述的誤差分析, 比較各種方法的安裝誤差, 選擇它最小而夾具結構簡便的一種。

§1. 對夾具定位原件的基本要本

定位原件是夾具上與工件的基準面直接接觸, 並規定工件在夾具中占有正確位置的原件, 由於定位原件起着承托工件的作用, 故簡稱為支承。為了保證工件在夾具中的安裝精度, 必須對定位元

件提出一定的要求，即耐磨損、易更換、保清潔、面積小及求穩定。

耐磨損，由於支承的工作面經常與工件接觸，工件要在上面移來移去，因此，必須要求工作面在長期使用之後磨損極小，並能保持原有的尺寸精度和它與另件間的位置精度。所以，定位原件一般用20號鋼或20X號鋼製造，並經滲碳0.8~1.2毫米，淬火至 $R_c=58\sim62$ 。

易更換，指定位原件在磨損或損壞之後易於取下修理，在這裡提出這樣的問題，為什麼不把工件直接安放在夾具體上而另外還要用定位原件，這就是因為夾具體不耐磨損，不易修理的緣故，因此：必須盡量保護夾具體。

保清潔，如果在加工過程中經常有切屑和髒物落在定位原件的工作面上而不易清除，則往往會由此而使工件定位不準確，甚至造成廢品。

面積小，支承與工件間的接觸面積在以粗基準或僅經過粗加工的基準定位時應盡量減少；即使以已經精加工的基準定位時，接觸面積亦應適當減少。這是因為：即使在精加工後，由於熱變形、剩餘應力的影響也不可能做到絕對正確，接觸面積減少就可以增加工件在夾具中的穩定性，消除靜不定的現象。

求穩定，為了使工件在切削力和夾緊力的作用下不致傾斜或使工件產生變形，夾具上的支承件應尽可能分散，使切削力和夾緊力作用在支承上面或支承之間。

基本支承和輔助支承

基本支承是可以消除工件自由度的支承，如圖2-6中每個支承都消除一個自由度。但為了達到上述求穩定的要求，在加工O孔時單靠基本支承並不能使工件保持穩定，切削力可能使工件撓曲或變形，因此必須還要有附加的支持點，即所謂輔助支承。輔助支承不能消除工件的自由度，但能增加工件的穩定性。因此，使用輔助支承時，工件仍須依靠基本支承定位，只有在工件安放到基本支承上後，輔助支承才能參加工作。

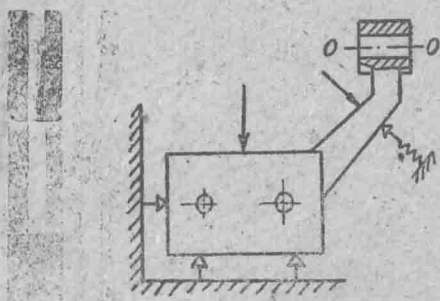


圖2-6 基本支承與輔助支承

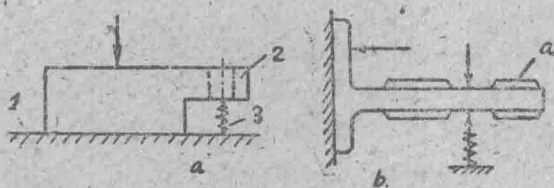


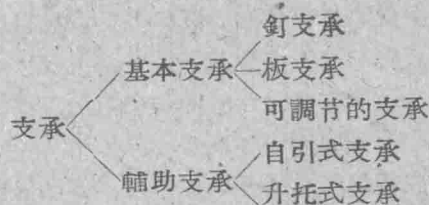
圖2-7 輔助支承的應用

再舉一例，如圖2-7a所示，工件的基準面為1，鉗孔2時為了避免由於切削力作用而產生撓曲變形起見，必須在孔2的地方增加一輔助支承3，承托工件並承受切削力。圖2-7b的結構也一樣，為了防止工件在加工a面時引起撓曲和振動起見，也需要增加一輔助支承。

§3. 典型定位方法的分析

平面定位

平面定位是最簡單、最常用的一種定位方式。在平面定位中的基本支承有釘支承、板支承和可調節的支承三種，輔助支承常用的有自引式支承和升托式支承二種。



1. 钉支承, 如图 2-8 所示, 常见的钉支承有平头的、圆头的和锯齿面的三种。图 2-8a 中的平头钉支承, 适用于基准面已经粗加工的工件, 图 2-8b 及 c 两种结构, 适用于基准面未经过加工的工件, 目的是为了减少支承和工件基准面的接触面积, 圆头的钉支承与工件的接触面积最小, 但磨损也最快, 因此只宜于在基准面甚狭而又要求支承间的距离最大时才用, 锯齿面的钉支承易于积屑而不易清除, 但磨损较慢。

钉支承可以用二级精度的过渡配合 ($\frac{A}{I}$ 或 $\frac{A}{T}$) 压入夹具体内, 夹具体

上的凸肩面是最后一次加工过的, 这样可以使各钉支承的工作面保持在同一的平面上。钉支承压入夹具体后, 它们的工作面也应一次磨过。为了便

于在钉支承磨损后自夹具体中取出, 最好将安放钉支承的座孔制成通孔。

在大批或大量生产中, 为了便于更换起见, 可采用图 2-8d 的结构, 先在夹具体的座孔内压入钢套, 然后一次磨过它们的上端面, 使之保持同一的平面上, 钉支承高度 H 制成严格的公差, 与钢套内孔配合采用二级精度的滑配合或推配合 ($\frac{A}{C}$ 或 $\frac{A}{H}$)。这样, 更换钉支承后即可继续使用, 不需再磨了。

2. 板支承, 板支承用于基准面已经精加工过的工件, 它的主要型式如图 2-9 所示有三种。图 2-9a 的结构比较简单而紧凑, 但螺钉孔内易于积屑, 且不易于清除。因此, 一般只用来作为夹具中安放重型工件用的导板, 工件可先放在导板上, 然后再推入夹具。图 2-9b 的结构消除了前一种的缺点, 螺钉孔内的积屑不致影响到板支承的工作面, 易于保持清洁, 但不够紧凑。图 2-9c 所示的结构最为满意, 在板支承的工作面上制有 45° 的斜槽, 当工件沿此工作面推入夹具时, 基准面上黏附的切屑即可排入斜槽内, 因此易于保持清洁, 结构也比较紧凑, 但比起前两种来要复杂一些。

夹具体上安装板支承的平面应稍凸起, 以便于加工, 一般应一次磨过, 至少也应经过刮研, 以使板支承的各工作表面能保证在同一平面上。通常板支承只需用螺钉紧固在夹具体上, 有时如果作用在工件上的力有使板支承移动的趋势, 则可适当增加它的厚度并将它嵌入夹具体上的凹槽内。

由于板支承与工件的接触面积较大, 工件在夹紧和切削时不易产生变形, 工件上已经精加工过

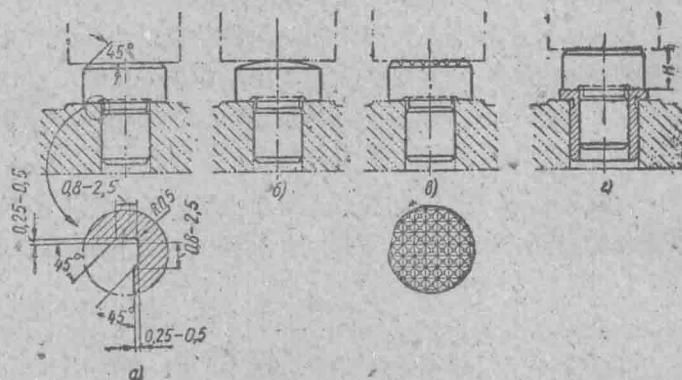


图 2-8 钉支承的各种型式

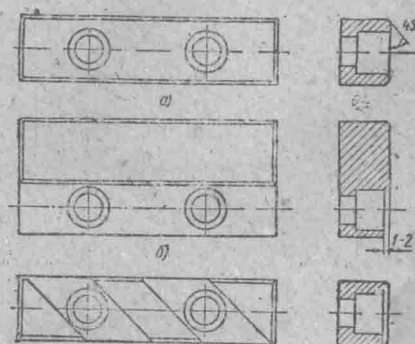


图 2-9 板支承的各种型式

的基准面不会产生刻痕，此外，板支承还可以按照工件基准面的形状制造，如果工件的基准面上有许多孔（如发动机缸体）的话，安放工件也比较方便。

钉支承与板支承已经规格化，支承的高度可以按照夹具中支承四周切屑堆积的情况来决定，在标准中没有列入。

3. 可调节支承，这类支承一般在成批生产中使用，主要有三种情况：(1) 工件放入夹具后，需要按划线来找正工件的位置；(2) 工件的基准面未经加工，尚须留待以后的工序进行，由于成批或小批生产中一般采用木模而不用金属模，每批毛坯经常发生错位，支承不加调节就会造成留量不均，甚至无法切除表皮；(3) 用同一夹具加工形状相同而尺寸各异的工件。

可调节支承的结构如图 2-10 所示。

总结上述三种基本支承的使用范围如下：

(1) 未经加工的粗基准面

按划线加工的，应该用可调节支承；

基准尚待以后工序加工，在成批及小批生产中应采用可调节的支承；

大量大批生产中，用金属模制造毛坯，应使用锯齿面或圆头钉支承。

(2) 已经过粗加工的基准面；

应采用平头的钉支承。

(3) 经过精加工的基准面：

应采用板支承。

4. 自引式支承，自引式支承是较常使用的一种辅助支承，它的构造如图 2-11 所示。在未安放工件以前，支承 2 受到弹簧 1 的作用伸出并超过其他基本支承工作面的高度，安放工件时将支承 2 下压并使工件与基本支承可靠地接触，然后旋紧螺钉，通过柱 5，斜楔 6 使支承 2 锁紧，这时即成为刚性支柱。加工完毕在安装新的工件以前，应先将螺钉 4 退出，使支承松开并弹出。否则可能会使新的工件不能紧贴在基本支承上而造成废品。

套 7 及罩 8 是为了防止切屑落入支承 2 的间隙内而另加的，它们的配合可采用重迫合座 ($\frac{A}{L}$)。与螺钉 3 配合的螺帽 4 可以防

止夹具体迅速磨损。在斜楔 6 的头部制有螺孔，装配时在螺孔中旋入长棒，即可将深孔中的斜楔对准支承上的斜槽，修理时亦可很方便地将斜楔自深孔内取出。

在设计和使用这类支承时应注意斜楔的斜角不能大于斜面的自锁角 $\sim 6^\circ$ ，否则旋进螺钉 4 楔紧支承 2 时可能使工件上抬，弹簧 1 的力量应尽可能弱一些，只要能推动支承 2 即可，否则安装工件比较费事。如果工件很轻，靠本身重量还不足以将辅助支承下压，则安装工件时必须一只手按住工件使工件与基本支承接触，另一只手旋紧螺钉 4。

有时，一个夹具上有许多自引式支承，一一旋紧过于费事，可以采用联动锁紧装置，同时锁紧几个支承。图 2-12 所示为机械联动锁紧装置，工件安放在基本支承上后，辅助支承 1 及 2 在弹簧作

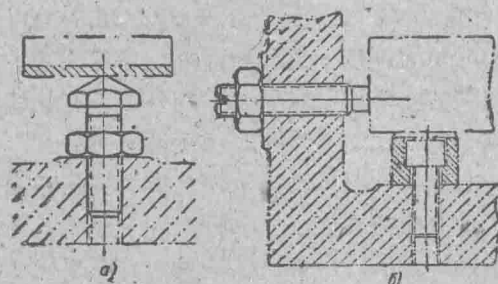


图2-10 可调节支承的各种型式

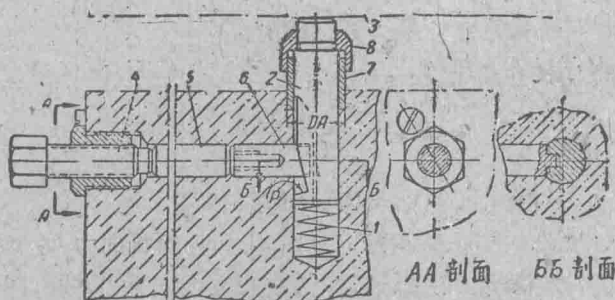


图2-11 自引式支承

用下引向工件并与工件保持接触，旋紧螺钉3，经压板4及两个斜楔5即可同时锁紧两个支承。图2-13所示的联动锁紧装置中空腔内浇注了弹性塑料，旋紧螺钉（图中未示）时，夹紧力由弹性塑料传递，使两个斜楔5同时楔紧辅助支承4，此外，还通过下部的活塞带动压板2压紧工件，放松时则依靠弹簧复位。

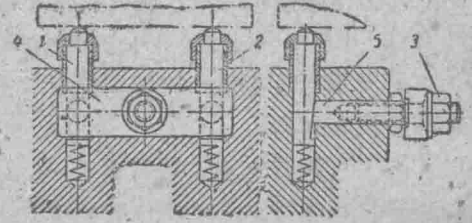


图2-12 自引式支承的机械联动锁紧装置

5. 升托式支承，升托式支承的用途与自引式支承相同，它的典型结构如图2-14所示。当工件安装在基本支承上后，依靠弹簧3的力量使斜楔4右行，将支承1上抬并托住工件2。反时针方向转动手柄5时，手柄轴的螺钉6便迫使斜楔4退回，支承1即可自由下降，当手柄处在图中右端所示的位置时即可将楔挡住。为了防止螺钉6与斜楔4脱离，在夹具体的外面装有止栓8，相应地在手柄上旋入螺钉7以限止手柄转的角度。

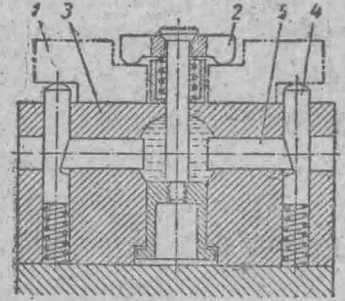


图2-13 自引式支承的塑料联动锁紧装置

值得注意的是这类支承中斜楔的斜角不能过小，否则支承1的升降距离太小，如果工件基面的公差较大时甚至可能接触不到工件；如果斜角过大，则斜楔4上的轴向力过大，一般取为 $8^\circ \sim 10^\circ$ 。

图2-15为上述两类辅助支承受力的分析。如果不考虑引导面上的摩擦力，并设 W_H —支承上的垂直力； α 及 φ —斜楔的斜角及斜面上的摩擦角，则对自引式支承而言：

$$W_H \approx \frac{Q_1}{\operatorname{tg}(90^\circ - \alpha - \varphi)};$$

$$\text{或} \quad Q_2 \approx W_H \operatorname{tg} 78^\circ.$$

对升托式支承而言：

$$W_H \approx \frac{Q_2}{\operatorname{tg}(\alpha - \varphi)};$$

$$\text{或} \quad Q_1 \approx W_H \operatorname{tg}(2^\circ \sim 4^\circ)$$

因此，在同样载荷下，斜楔上所受的轴向力 Q_2 要比 Q_1 大得多，所以一般自引式支承用于载荷较小而升托式支承用于重型切削而工件较重的情况；否则可能造成松夹或螺紋及滑块迅速磨损。

平面定位时的定位误差已经在第一节中分析过，这里仅举一例，以说明如何根据工件的技术要求及简化夹具结构的原则来选择定位方法。

如图2-16所示，需要在工件上加工平面 $a-a$ ，加工面 $a-a$ 与基面的不平度允差为 $30'$ ，第一种定位方法中选用了三个基本支承及一个辅助支承，在第二种定位方法中直接用三个基本支承定位；虽然后者在夹具结构上较为简单，但由于尺寸 h 不能绝对准确，有一定的误差 δ ，因此，它是否能保证技术要求，应先加以分析，然后采用。

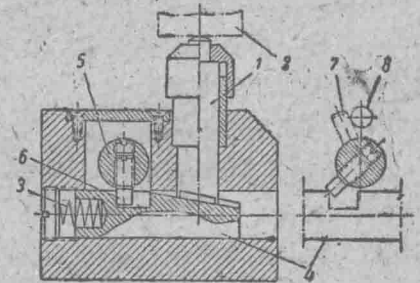


图2-14 升托式支承

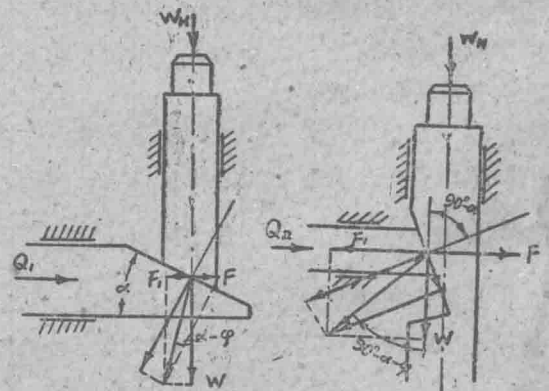


图2-15 辅助支承上受力分析

設已知 $L=100$ 毫米, $h=15$ 毫米, $\delta=0,5$ 毫米, 則可分析當尺寸 h 改變時工件的兩個極限位置:

$$\gamma = \arcsin \frac{h+\delta}{AB};$$

但 $AB = \sqrt{h^2 + L^2};$

故 $\gamma = \arcsin \frac{h+\delta}{\sqrt{h^2 + L^2}}.$

由圖中可知, $a-a$ 面與 $b-b$ 面的不平行度誤差相當於 β 角:

$$\begin{aligned} \beta &= \arcsin \frac{h+\delta}{\sqrt{h^2 + L^2}} - \arctg \frac{h}{L} \\ &= \arcsin \frac{15+0,5}{\sqrt{100^2 + 15^2}} - \arctg \frac{15}{100} \\ &\approx 15'. \end{aligned}$$

所求出的 β 值小於允許的不平行度誤差, 故可使用第二種方案來設計夾具。

至於用平面定位時的夾緊誤差, 蘇聯 B. C 柯爾薩柯夫教授曾用不同的支承原件試驗了法向力 Q 與工件下沉量 y 的關係, 如表所示。

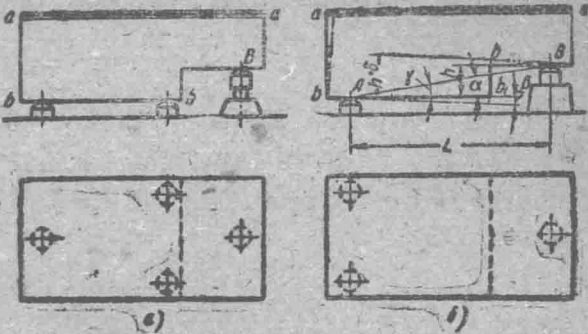


圖2-16 定位方法的選擇

定位方法	示意图	法向力 Q (公斤) 与下沉量 y (微米) 的关系	附註
圓頭支承 (ГОСТ 4083-57)		$y = C \frac{Q^{0.75}}{R}$	C - 常数, 与工件材料有关, 对 45 号鋼而言, $C=5,2$, 对灰鑄鐵 ($H_B=180-200$) 而言 $C=5,8$ R - 球面半徑, 毫米。
鋸齒支承 ГОСТ 4083-57)		$y = A q^{0.5}$	q - 法向力 Q 与定位元件公称面积之比, 面积以平方毫米計, 对灰鑄鐵 ($H_B=180-200$) 而言 D (毫米)
平面釘支承及板支承 (ГОСТ 4083-57)		$y = C_1 q^{0.5} (C_2 + K H_{CK})$	C_1, C_2 及 K - 系数, 对 45 号鋼而言, $C_1=0,03, C_2=20, K=1$. H_{CK} - 工件基准面的微觀不平度, 以微米計。

如果作用在工件上的夾緊力不在各支承的重心處, 則將導致工件在各支承處產生不均勻的下沉

而造成傾斜，如已知夾緊力 Q ，偏心率 e ，如圖 2-17 所示，可求出工件在夾具內的傾斜角 α ，

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C(R_1^n - R_2^n)}{l};$$

其中 R_1 及 R_2 — 支承上的反作用力， l — 支承間的距離。

使用板支承定位時，如果夾緊力不作用在支承的中點處而有所偏斜 e' 時，工件在支承的縱向亦可能由於下沉不均而造成傾斜。當工件絕對剛固時，可將它看作為剛體安放在彈性基礎上并具有關係

$$y = C \cdot q^{0.5}$$

其中 q — 板支承上單位長度內的壓力強度。

隨着載荷 Q 偏移板支承中點的距離 e' 的改變，作用在板支承上的壓力強度 q 的分布也隨之變化（圖 2-18），當載荷作用在板支承的中心 $e' = 0$ 時， q 在全長 l 內均勻分布（圖 2-18a）；當偏移量小於板支承全長的 $1/4$ 時， q 呈拋物線分布，而板支承兩端的壓力差也隨着 e' 的增加而加

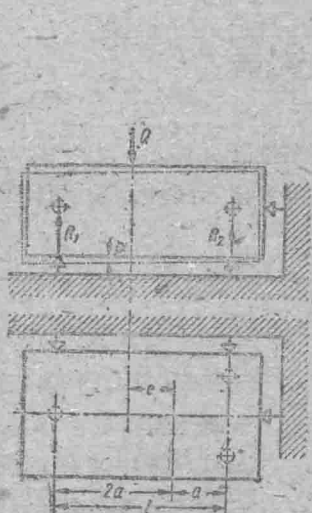


圖 2-17 工件在夾具中的傾斜

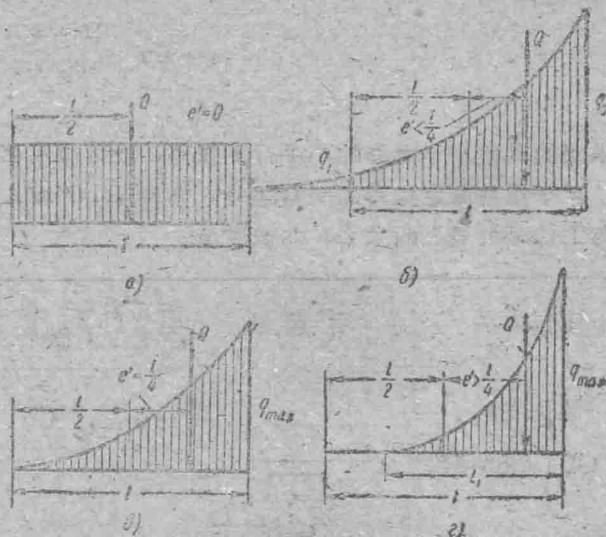


圖 2-18 板支承上壓力的分布

大（圖 2-18d），當偏移量 $e' = 1/4 l$ 時，板支承一端的壓力強度降為零，最後，當板支承上的載荷 Q 的偏移量 $e' > 1/4 l$ 時，分布更不均勻，僅在部分長度上受力，如圖 2-18e 所示。

因此，工件在沿支承方向的傾斜為

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{C(q_2^{0.5} - q_1^{0.5})}{l};$$

其中 q_2 及 q_1 — 板支承全長內最大的壓力強度。為了簡化其決定方法，可採用圖 2-19 所示的近似圖解法。先根據已知的偏移量 $e = e'/l$ 在圖上半部分求出與曲線的交點 a ，它的橫坐標 K 等於 q_1/q_2 ；或

$$q_1 = K q_2;$$

然後可按此點 a 的橫坐標與已知的 Q/l 值求出交點 b ，它在曲線 q_2 上的位置即為最大壓力強度 q_2 之值。

夾緊力的偏移量過大時，可能使工件壓離板支承的一端，在工件的基準面與板支承間形成楔狀間隙。因此，為了避免這一現

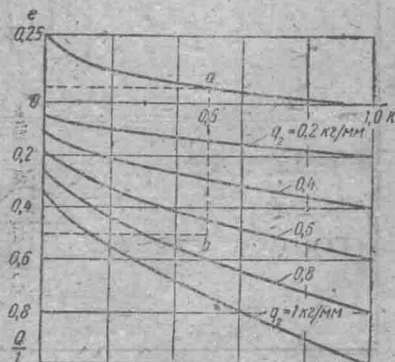


圖 2-19 板支承上壓力的圖解法