

机器制造中轴的 高生产率加工

阿扎罗夫著



机械工业出版社

机器制造中軸的 高生产率加工

阿扎罗夫著

薛中華譯



机械工业出版社

1958

苏联 A. C. 阿扎罗夫 著 ‘Высокопроизводительная обработка валов в машиностроении’ (Машгиз 1951 年第一版)

*

*

*

NO. 1702

1958 年 3 月第一版 1958 年 3 月第一版第一次印刷

850×1168 $1/32$ 字数 191 千字 印张 $7\frac{8}{16}$ 0,001— 1,800 册

机械工业出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业许可证出字第 008 号 定价(10) 1.40 元

譯 者 序

軸是機器中的主要零件。它的式樣又極不一致，有時，在一個機器內便會遇見好幾種。它製造得合適與否，往往便直接影響到機器的使用性能，而它的機械加工工艺，在很多方面，又都具有代表性，因此研究典型零件的機械加工工艺，首先從軸加工開始。

系統地介紹軸加工，特別是軸的高生產率加工的文獻不多。本書把成批生產下的高生產率加工軸的各種問題，從設計工艺規程所需要的原始資料和加工精度，到高速加工軸的機床和夾具，自動化的裝置，高速車削和光整加工等都作了全面而系統的分析，無疑，是極有意義的。

這本書的優點：首先，正如上面所說，在於它的全面和系統地分析了軸加工中的各種問題，以及軸上螺紋、鍵槽、孔等的加工方法。掌握了軸加工工艺，顯然，將有助於掌握其他零件的加工過程。第二，在於它的實用。本書並沒有在加工理論上作詳細探討，而着重在分析各種問題的如何解決。書中在每種軸加工方法的分析後，便有系統地介紹了許多蘇聯工廠的實例和學者們的科學研究成果，使我們進一步可以体会到理論如何用於實際。許多例子中提出的解決問題的過程和辦法，例如振動的消除，彈性系統剛度的增大，機動時間和輔助時間的縮短等，是有很大的實用價值的。仔細研究這些例子，將會使我們解決實際問題時，有所啓發。

原書寫成的時間較早（1951年出版），因此最近幾年來的新成就，主要的如銑刀，科列索夫（В. А. Колесов）車刀，雷日科夫（Д. И. Рыжков）減振器等，本書還未及包括它們，其他如裕量計算方法，金屬表面的強化工艺等，這些年來都有了進展，本書也介紹的不够。這是本書的缺點。雖然如此，作者對軸加工工艺各種問題的綜合及觀點，絕大多數是正確的，值得我們學習研究。

目 次

譯者序	3
作者序	5
第一章 擬訂工藝規程的原始資料和加工精度	7
1 軸的分類(7)——2 結構的工藝性(9)——3 不同類型的軸加工時的主要問題(12)——4 加工精度(14)——5 軸的毛坯和準備工序(31)	
第二章 高速車削軸用的機床。機床夾具	39
6 成批生產的機器製造廠里的設備和它為高速車削軸而做的改裝(39)——7 高速切削軸用的夾具(51)	
第三章 車床、轉塔車床和多刀車床上自動化工作的裝置。	
調整機床尺寸	83
8 自動化的裝置(83)——9 調整機床尺寸(107)	
第四章 在通用車床、多刀車床和轉塔車床上的高速車削	117
10 高速車削用的車刀(117)——11 軸在單刀車床上的高速粗車(121)——12 軸在單刀車床上的高速半精車(124)——13 在單刀車床上的高速精車(128)——14 典型軸在無心車床和單刀車床上的高速加工(140)——15 軸在多刀車床上的高速車削(164)——16 軸在轉塔車床上的高速車削(175)	
第五章 在軸上獲得螺紋的高速切削方法。銑削鍵槽和花鍵。在軸上鑽孔	183
17 螺紋的高速切削(183)——18 鍵槽的加工(200)——19 在軸上加工花鍵(203)——20 在軸上加工孔(205)	
第六章 軸的磨削精加工和光整工序	210
21 軸在中心磨床上的磨削(210)——22 軸在無心磨床上的磨削(216)——23 用擺動磨石光整加工(超級精磨)(220)——24 用滾子滾壓(222)	
參考文獻	227
附錄	229

作 者 序

本書說明了成批生产的机器制造中，軸的高生产率加工的問題。在机器制造厂里所制造的零件中，軸占有很大的比重，因此軸的高生产率加工是国民經济中的重要問題。

劳动生产率的提高要广泛利用先进的工艺、改善的工艺来保証，它們的实现，不單該与推广高速切削，并且应该与生产的自动化结合起来。

改善軸加工工艺的工作，斯大哈諾夫工作者和在新的先进加工方法方面不倦地工作着的优秀研究者每天都在进行着。

本書把苏联工厂中选取来的軸加工实例，和学院里对先进工作方法的研究結果系統化了。書里也利用了一些文献上的数据。

实际上解决軸的高生产率加工問題，可以总括如下：把軸分类，檢查結構的工艺性，弄清楚被加工表面所需加工精度和表面質量，妥善地决定組織問題，計算加工时产生的誤差，計算机床-工件-刀具系統的剛度等。在这以后，还必須注意解决毛坯选择和准备工序的实际进行問題以求結果更完善。所有这些問題都在第一章里研究。

掌握高速切削法的一个主要問題是充分利用厂里現有的金屬切削設備。这应该与机床准备，檢驗机床的精度、剛度、耐振稳定性等結合起来解决，必要时，也要把机床加以改裝。第二章中对这些問題作了某些探討。

在高速切削时，机动時間能节省很多，而輔助時間在現今还节省得不够。把机床用任何一种快速作用的夾具或者自动化的裝置配备起来，便提供了大大縮短輔助時間的可能性。这些裝置在第二章和第三章里有系統而詳細的叙述。在第三章里也研究了合理調整机床尺寸的問題，这問題順利解决以后，大量生产的工艺方法就有可能运用到成批生产中。

在本書的后三章研究: 軸在通用車床、多刀車床和轉塔車床上的高速車削, 在軸上高速切削螺紋, 軸的銑削和鑽削, 軸用磨削和光整加工方法的精加工。在這些章節里有研究結果的敘述, 有從蘇聯工廠實踐中選取來的許多軸加工的例子及其他的討論等。在書里所引用的切削用量數據, 決不可認為是標準的; 那些數據還可以繼續提高。

本書的目的和它的篇幅, 不允許作者討論某些在流水大量生產中採用的用金屬刀刃高生產率加工軸的方法, 這些, 如圓銑, 剃銑(剃齒), 外圓拉削等。

如果本書對合理地擬訂先進工藝規程和掌握新的高生產率加工方法方面能有所幫助, 作者將感到欣慰了。

所有的建議與批評作者將衷心感激地接受, 並請把這樣的建議或批評寄到國立機器製造書籍出版社列寧格勒分社。

最後, 作者認為有責任向技術科學博士索柯洛夫斯基 (А. П. Соколовский) 教授致以深厚的謝意, 他經常給予詳盡的忠告, 對本書的完成有很大的幫助。

第一章 擬訂工藝規程的原始資料和 加工精度

1 軸的分类

軸的分类是实现索柯洛夫斯基 (А. П. Соколовский) 教授所建議和研究的工藝規程典型化概念工作的第一步。分类的原則具有工藝特征, 因为在分好的組中便包括有工藝規程相類似的零件。

研究軸类零件的加工工艺, 在很大程度上与研究旋轉外表面的加工方法相同; 当軸的中心有孔时, 还有研究旋轉內表面的必要。典型的过程依据軸的几何形狀, 它的尺寸, 毛坯种类, 热处理, 生产类型 (單件、成批、大量), 車間一般組織等而改变; 但是典型的工序却保持不变。例如, 加工由棒料制造的中型尺寸的实心軸时, 典型的工序是: 切断毛坯, 鑽中心眼, 車削, 銑鍵槽, 磨削等。車削是这些工序中最費工的, 車削工序在車床上 (單刀車床, 多刀車床, 轉塔車床等) 經常是重复地进行着, 由小型軸轉变为大型軸时, 其加工時間的比重也要逐漸增大。車削工序值得特別注意, 因为被加工軸最后的長度尺寸往往是在車床上得到的。

因此, 把軸分成組、分組等, 显然應該与它在那一种类型的車床上加工的可能性相結合。在選擇机床类型时, 必須經常考虑到保証最大生产率和所需精度的問題。按照剛才所說的, 小型軸便應該計劃在多刀装备的机床上加工, 如: 多刀車床、轉塔車床等。某些中型尺寸的軸也可以在这些机床上加工。

在实际生产工作中进行軸的分类时, 應該确切地弄清楚机械加工車間里的現有設備, 和在这些設備上能够加工的軸的容許極限尺寸。例如, 計劃在多刀車床上加工时, 應該弄清楚在这些車床上加工所能得到的軸的極限尺寸和外形。此外, 必須考慮有無中心

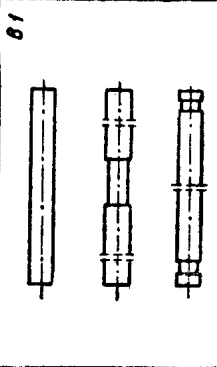
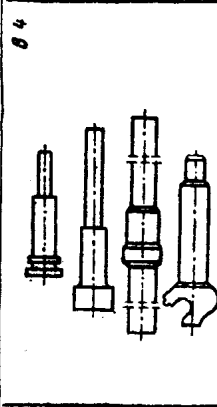
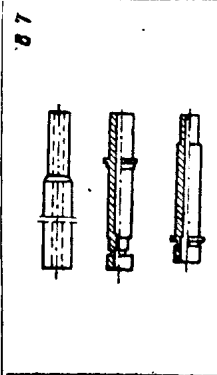
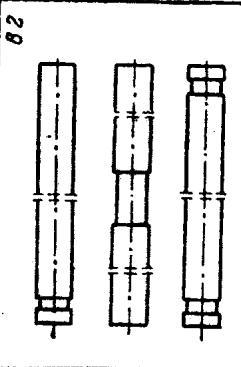
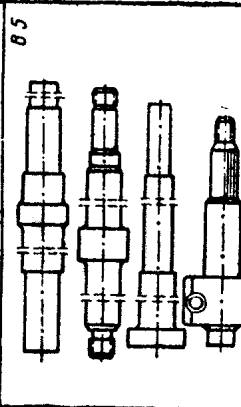
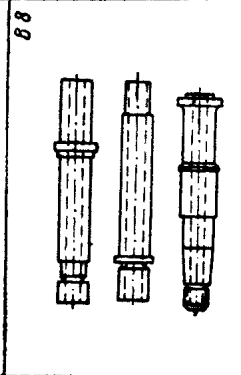
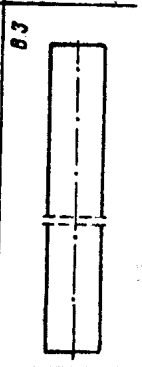
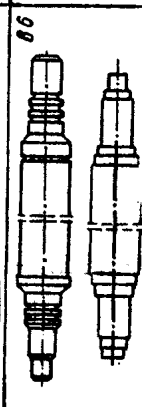
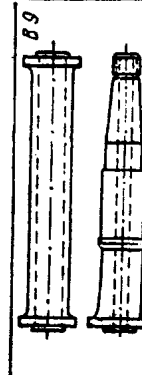
B	机器制造中零件的分类			頁
	精度 OCT 2~5級, 少数为7級	軸的种类	表面光潔度 $\nabla 3 \sim \nabla \nabla \nabla 8$, 少数到 $\nabla \nabla \nabla \nabla 12$	
	光滑軸	阶梯軸	空心軸	
大 型	 81	 84	 87	
	 82	 85	 88	
小 型	 83	 86	 89	

圖 1 軸的分类。

眼車床或銑-鑽中心眼机床和它們的尺寸規格，因为在多刀車床上合理的加工須要正确而且准确的中心眼。

在所介紹的分类里(圖1)，我們是把軸按形狀分为光滑軸、阶梯軸和空心軸，并且按尺寸分为小型、中型和大型的。包含在表內的大多数典型軸过去都用高速切削方法加工过(第四章第14, 15节, 第五章第17节等)。工厂里有了詳細的分类表(划分为組、分組等的，把它們归納成典型零件的)，和根据最新的先进加工方法所拟訂出来的典型工艺規程，就会使生产准备大大地簡化，生产周期縮短，無論設計師或工艺师的工作，都会更有把握。

2 結構的工艺性●

在一定的生产条件下，制造出来能保証使用性能，而且所耗費的时间、金錢和劳动最少的結構，叫作具有工艺性的結構●。

結構的工艺性是个綜合的概念，其中設計問題和工艺問題，生产組織和經濟問題是互相密切連系的，彼此影响着。所有这些問題的正确决定，是可以利用技术-經濟指标来表示的。

机器結構的工艺性包含的問題，大都与下面所研究的軸結構的工艺性問題相同。

用以評定軸結構工艺性的标准如下：

形狀的工艺性 这个概念里包含着：

1) 标准化、通用化和典型化 这些概念在設計机器时是被广泛采用的③。

2) 零件的形狀 零件的形狀應該由簡單的几何面組成。在同

● 見苏联机械科学技术工程学会列宁格勒分会叢書第19分册：「机器制造中結構的工艺性」，苏联国立机器制造書籍出版社1950年版。索柯洛夫斯基：「机器制造工艺学教程」卷一，苏联国立机器制造書籍出版社1947年版。鮑罗达切夫(Н. А. Бородачев)：「質量分析与制造精度」，苏联国立机器制造書籍出版社1946年版。

② 到現在为止，工艺性还没有公認的定义。

③ 遵循这些主要的方針，便創造了能拟制出軸的典型結構和它的典型加工工艺的前提。

样的条件下,零件形状愈简单,制造起来就愈省力。阶梯轴的设计,最好是使它的形状与相等抗弯强度的梁的形状相近似。

圆根半径不同,键槽尺寸不同等的轴,是一些不好的设计。有时还遇到带一个凸台的光滑轴,若经过小心的思索,这种不好的设计就能够很容易地避免了。

元件的设计如车螺纹之进退刀空刀部分,车刀和砂轮退出来用的槽等,应该采用大家都熟悉的规格。

3)材料和毛坯要与零件最后形状一致 轴在直径和长度上尺寸的广大范围,正如在某些变化载荷条件下对轴的要求是各种各样的一样,对轴的材料提出了很高的要求。这种要求的目的在于保证强度和質量。

轴依据工作条件而由各种不同的钢制成。最常用的碳素钢牌号为25, 30, 35, 40和45号(ГОСТ B-1050-41)。重负荷的轴,不规则形状的轴和花键轴由合金钢制成: 20X, 40X, 35XM等。

生产类型影响到毛坯种类的选择。依据轴的形状,尺寸,物理-机械要求和计划任务,轴的毛坯可以是:轧材,锻件,锻压件或其他。

选择毛坯时,应给以最小工艺裕量。

毛坯正确选择的指标,主要是金属利用系数,即制成零件重量与毛坯重量之比。另一个指标是劳动量。

在实际情况下,设计大尺寸的轴时,可能产生选择组合的或是整个的问题。用来决定正确选择的主要因素是:有无相当的加工机床,运输设备和冶金的可能性等。

尺寸的工艺性,精度和被加工表面的光洁度 现代的轴加工工艺,它的特征是以互换性原则进行加工的,例外的很少(按说明卡工作)。所以,尺寸工艺性的要求相当于选择基准和寸法系统的正确性。

像轴这样的零件,其精度和配合等级的确定,应该基于计算的方法,或者基于合理的生产和使用检验结果里得到的实际资料。精度的提高将使工艺复杂,增加加工时间,并且必须应用技术熟练程

度較高的工人来进行工作等。所以尺寸的精度，應該严格根据軸的实际使用要求結合起来确定。

在加工特別大的軸时，必須考虑到它的生产特点，也就是在确定精度和配合时，要把它們与加工工艺和測量結合起来。

加工阶梯軸时，要涉及尺寸鏈，就是形成封閉回路，一个跟着一个的尺寸排列；回路中的最后尺寸叫做封閉尺寸。

实际設計中，一般应用两种主要的寸法系統：鏈式和坐标式。这两个系統的合并又产生了第三种——混合式。

在鏈式寸法中，总誤差显著地增大了；因为在加工时 每一后面的尺寸都是跟着前面的尺寸得来的，并且基准也不是固定的。

相反地，在坐标式系統中，基准保持不变，因为量度各个台阶的長度都是从同一表面进行的。

在某些場合，并不采用坐标式系統。当加工多阶梯軸和長軸时，如果依据同一基准来計算尺寸，制造精度是增加了，但測量和測量工具的結構也十分复杂了。鏈式寸法系統在公差大于3級精度的範圍內可以使軸的生产变成加工長度比較短，不超过400~500公厘的情况。在大型軸的小批生产情况下，鏈式寸法系統是較為合理的。

設計師和工艺师應該考虑上述每种系統的特性，并且以工艺上和經濟上的合理性作为根据，决定选出它們中的一种。

一般說来，應該想法使設計基准与工艺基准和度量基准重合。

已加工表面的光潔度是表面質量特征之一。

高度的表面光潔度保證了：摩擦系数的降低，保持动座配合表面間的間隙一定，改善不动座的配合質量，减小初期磨損，提高抗蝕性等。

但是对于表面光潔度要求过高时，会使工艺复杂，生产費用增加。所以設計軸时，表面光潔度應該按实际使用要求来决定。

3 不同类型的軸加工时的主要問題

使軸获得圖紙所給的尺寸，保証被加工表面得到所需要的形狀精度和光潔度，这是采用加工的方法来达到的。軸主要要加工旋轉的外表面，这是軸类零件的特征。此外，个别类型的軸，多数是在大型尺寸时，中心有孔，因此还要加工旋轉的内表面。

銑鍵槽，銑花鍵，加工側面的孔也屬於制造不同类型軸的特殊工序。

根据軸的用途不同，其制造精度的变动范围很大——从 OCT 2 級到 5 級，少数从 1 級到 5 級，而个别情况有的还要低些。至于对表面光潔度的要求，按 ГОСТ 2789-51[●]，从 3 級到 8 級，个别情况下甚至更高些。

在机器制造工艺范围内的任何問題，經合理地解决以后，一定会使生产率提高的。特别是軸的加工，这时要解决一系列的問題以后，才能保証提高生产率。其中主要的問題將在下面研究。

对制造軸所用材料的要求 对制造軸用的材料有很高的要求。軸所受到的疲乏应力，以及在个别情况下受有变化的負荷，决定了选择材料和鍛件質量的重要性。

特别是用来制造重型軸的材料，通常都要进行化学分析与机械性能的試驗。所用的样品，一般是从留在軸的兩端端面上的附加裕量部分切下来的。

除了机械試驗外，还要进行目見組織和显微組織的分析。毛坯（鍛件）須要經過仔細的外表檢查。中心有孔的軸，精加工后要用反光鏡来进行檢查，以便發現裂紋，疏松殘渣，縮孔，非金屬雜質的存在和其他金屬缺陷。

如果材料能保証化学成分和物理-机械性能的均匀性，那么加工时采用高速切削规范是可能的。材料的均匀性和加工性是有关

● 苏联在1951年已頒布了新的表面光潔度标准ГОСТ 2789-51。譯者在書末附了一个新旧二种标准的对照表(附录区)。——譯者

系的，根据 ГОСТ 2625-44 加工性是用切削速度、切削力和已加工表面的光潔度来判断的。鋼的加工性，是根据化学成分，熔煉方法，軋制，鍛造，組織，机械和物理性能等而定的。

对加工性产生影响的还有其他因素。

在个别情况下，軸还要热处理或化学热处理（渗碳，氮化）。

工艺規程的合理化 合理的工艺規程必須与車間能力密切結合起来，并且要在分析工时定額的基础上进行。孤立地，不切合实际地拟訂出来的工艺規程，其結果使所拟訂的規程和車間进行的規程不一样，使生产組織問題复杂起来，引起了定額工作的困难。

大家知道，單件定額工时按下面公式进行計算：

$$T_{\text{шт}} = (T_{\text{oc}} + T_{\text{вс}})(1 + \alpha'' + \beta' + \gamma),$$

式中 $T_{\text{шт}}$ ——單件定額工时(分)；

T_{oc} ——基本(工艺)時間(分)；

$T_{\text{вс}}$ ——輔助的非重疊的時間(分)；

α'' ——技术性布置工作地時間系数；

β' ——組織性布置工作地時間系数；

γ ——休息及自然需要時間系数。

系数 α'' 、 β' 和 γ 采取工序時間的百分数。

我們現在来研究一些能够促使組成工时定額降低的措施。

基本(机动)時間 进行下列措施时，基本時間便可减小：推行新的加工方法，高速車削，高速铣削，广泛利用裝有硬質合金的車刀和其他高生产率的刀具，采用多刃刀具，改善材料的加工性，提高毛坯質量，改裝机床使适合高速加工(提高功率和快速行程)，提高机床-軸-刀具系統的剛度，合理地計算切削用量等。

輔助時間 輔助時間能够縮短是由于减少了：

1) 安裝工件次数；

2) 安裝工件時間(采用起重裝置，把毛坯有順序地放置在一定地方)；

3) 找正時間(有根据地注明公差，合理地選擇基準和采用适当

的夾具等);

4) 緊固時間(緊固裝置的機械化, 採用快速作用的夾具, 在開車時定位);

5) 刀具的定位, 找正和緊固時間(採用合理構造的刀杆, 速換夾頭等; 採用复合刀具, 組織集中磨刀);

6) 調整機床時間(運用調整原則, 有計劃地維護設備, 使其保持良好狀態);

7) 操縱機床時間: 開車和停車, 變換速度和走刀量, 刀架和頂針座等空移動的機械化(減少手柄數, 操縱機構工作的集中與自動化, 在行程中開動和轉換, 採用制動器, 採用電氣傳動與液壓傳動等)。

在我們工廠里得到廣泛採用的高速切削, 保證減少了很多機動時間, 但是輔助時間在總工時定額中占的比重還很大。

附加時間 它是靠組織性措施和技術的改善而減少的(採用合理構造的刀杆, 採用專人潤滑機床等)。

準備-終結時間 它是靠採用合理的機床調整方法, 由機床工人本人進行調整, 縮短看圖時間等而減少的。

把個別組成時間重疊起來, 以及推行多機床管理, 也能保證生產率的提高。

組織性問題 屬於它的有: 改善輪班計劃的編制, 對一定機床固定被加工軸, 改善工作地的組織, 改善輔助工人工作(在進行工作的同時, 適時地供給材料、刀具等), 組織收集切屑, 組織集中磨刀等。

斯大哈諾夫高速切削工作者, 特別是斯大林獎金獲得者鮑爾特凱維奇(Г. С. Борткевич)用了改善組織工作地的方法, 零件的加工時間獲得了顯著的降低[30]●。

4 加工精度

形狀精度, 尺寸精度, 表面光潔度 我們知道, 在加工各種零

● 參考文獻的序號, 以後同。——編者

件时,其中也包括着軸,要得到准确的表面几何形状,正如同要得到绝对准确的尺寸一样,都是不可能的。

所以实际的零件常与所要求的理想零件有差别。实际与理想零件一致的程度,通常从下面这些方面研究:形状精度,尺寸精度,表面相互位置精度,表面光洁度。

在軸的个别被加工表面上确定着公差,由这就可以预知,在公差带范围内实际軸对理想軸会有偏差。

軸在加工时,要得到正确的圆柱形表面,以及保证个别表面間相互位置的正确,是十分重要的。由于没有遵守这些要求,就会使机器装配复杂起来,它的合理使用也不能保证。在軸的工作圖上,或者在制造軸的技术条件里,对几何形状和表面相互位置的允差,是应该注明的。在缺少这些规定时,可依照 OCT 7539-39,例如在直径上的形状偏差和表面相互位置偏差,在其尺寸的公差带范围内是允许改变的。

形状精度 在加工軸时,可能遇到下列对正确圆柱形的偏差:

1)垂直于中心綫的截面輪廓对于正确圓周的偏差;属于这类偏差的有橢圓度,棱形度(圖 2 *a, b*);

2)对于母綫的平直偏差,即波度,曲綫度,凹度,凸度(圖 2 *в, г, д, е*);

3)对于平行度的偏差,例如,錐度(圖 2 *ж*)。

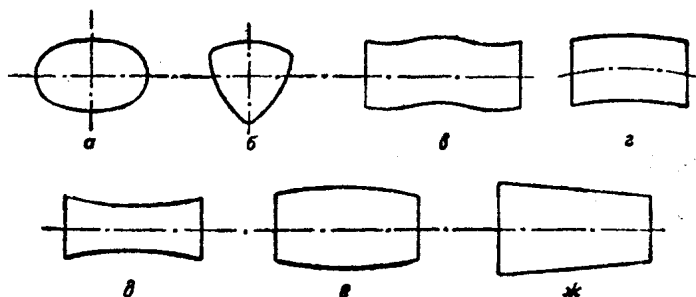


圖 2 零件对于正确几何形状的偏差形式:

a—橢圓度; *б*—棱形度; *в*—波度; *г*—曲綫度;

д—凹度; *е*—凸度; *ж*—錐度。

复杂的形状误差,在截面上与母线平直上皆有偏差。

表面相互位置精度 在表面相互位置上可能遇到的偏差是:同心度,中心线的平行度,台阶表面間或端面对中心线的垂直度等。

檢驗形状精度和表面相互位置的精度通常是复杂而困难的。所以在所有的情况下,如果可能,总尽量的维护机床使其处在良好状态,并且严格执行所編制的,能在规定的尺寸公差范围内保証形状精度的工艺規程来代替这种檢驗。

尺寸精度 它是与制造不精确度的公差有关的。根据軸的用途,它的主要配合尺寸处的公差和相应的精度等級可以按下列方法来分类:

特別精确的軸——1級精度;

高級精度的軸——2級或2a級精度;

普通精度的軸——3級或3a級精度;

低級精度的軸——4級及更低級的精度。

軸的其他不配合尺寸的公差,采用3級及更低級的精度。

关于重型軸加工精度的資料,以后介紹(第四章第14节)。

表面光潔度 它被認為是精度特征中的一种。在表面質量这个概念中,除了光潔度外,还包含着零件表面層的物理-机械性能。表面質量問題是十分重要的。优良的已加工表面質量能保証零件使用寿命的延長,强度的提高(由于耐疲極限显著增高了)等。

表面微觀几何形状的标志,主要是用最大不平度 $H_{\max}$ 和对輪廓中线的平均平方根偏差 $H_{\text{ср}}$ 来表示的[●]。

在这两种标准里($H_{\max}$ 和 $H_{\text{ср}}$),主要用来評定表面微觀几何形状的是第二种,即不平度的平均平方根偏差大小。

对輪廓中线的不平度的平均平方根偏差,按下式决定:

● 在苏联新标准ГОСТ 2789-51里,已用微觀不平度的平均高度 H_{cp} ,即从峰頂到谷底的不平度的平均高度来代替 $H_{\max}$ 。这是比 $H_{\max}$ 更精确的标志方法;它主要用来表示1~4級和13~14級的表面光潔度。請參閱附录区。——譯者