中等專業學校教學用書

航空發動機零件機械加工施工學

下　册

Ф. Т. БЛИНОВ, В. П. ФИРАГО著
北京航空學院譯

高等教育出版社

中等專業學校
4160381653

航空發動機零件機械加工施工學

下　册

Ф. Т. 勃里諾夫, В. П. 費拉柯著
北京航空學院譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國防工業出版社(Государственное издательство оборонной промышленности)出版的勃里諾夫(Ф. Т. Блинов)和費拉柯(В. П. Фираго)合著"航空發動機零件機械加工施工學"(Технология механической обработки деталей авиационных двигателей)1951年版譯出。原書經蘇聯航空工業部審定爲發動機製造中等技術學校教科書。

本書第三册論述航空發動機零件的加工，其中包括：渦輪軸、壓氣機軸、齒輪、活塞、氣缸筒、聯桿、葉片、葉輪、渦輪輪盤、凸輪軸、曲軸及本體零件等的加工。

參加本書翻譯的爲北京航空學院周士炎、陳啓民、李哲浩、過鼎城，並由周士炎校訂。

本書上、中册由商務印書館出版，下册改由本社出版。

航空發動機零件機械加工施工學

下　册

書號52(課49)

勃　里　諾　夫　等　著

北　京　航　空　學　院　譯

高　等　教　育　出　版　社　出　版

北京琉璃廠一七〇號

〔北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號〕

新　華　書　店　總　經　售

商　務　印　書　館　印　刷　廠　印　刷

上海天通庵路一九〇號

開本850×1168 1/32　印張5 1/16　字數 124,000

一九五四年八月上海第一版　印數 5,001—6,500

一九五五年二月上海第二次印刷　定價 羊 9,000

目　錄

第三部分　航空發動機零件的加工 ……359

第十七章　渦輪軸與壓氣機軸的加工 ……359

§82 總述……359

§83 主要工序的進行方法……363

第十八章　齒輪的加工 ……368

§84 齒輪的構造、技術條件與所用材料 ……368

§85 齒輪加工施工規程的製訂……369

§86 獲得所需齒準確度的方法……376

§87 齒輪的檢驗……381

第十九章　活塞的加工 ……389

§88 活塞的構造、技術條件與所用材料 ……389

§89 活塞加工施工規程的製訂……390

§90 主要工序進行的方法……394

第二十章　氣缸筒的加工 ……405

§91 氣缸筒的構造、技術條件與所用材料 ……405

§92 氣缸筒加工施工規程的製訂……406

§93 主要工序的進行方法……408

第二十一章　聯桿的加工 ……415

§94 聯桿的構造、技術條件與所用材料 ……415

§95 聯桿加工施工規程的製訂……416

§96 主要工序的進行方法……420

第二十二章　葉片的加工 ……433

§97 葉片的構造、技術條件與所用材料 ……433

§98 葉片加工施工規程的製訂……435

§99 燃氣渦輪葉片加工主要工序的進行方法……438

第二十三章 葉輪的加工 ……450
§100 葉輪的構造、技術條件與所用材料……450
§101 葉輪加工施工規程的製訂 ……452
單面葉輪 ……452
雙面(大型)葉輪 ……454
§102 主要工序的進行方法 ……456
單面葉輪 ……456
雙面葉輪 ……460
§103 壓氣機導向葉輪(柵輪)加工的特點 ……463
第二十四章 渦輪輪盤的加工 ……467
§104 概述 ……467
§105 主要工序的進行方法 ……468
第二十五章 凸輪軸的加工 ……472
§106 凸輪軸的構造、技術條件與所用材料……472
§107 凸輪軸加工施工規程的製訂 ……472
§108 主要工序的進行方法 ……475
第二十六章 曲軸的加工 ……482
§109 曲軸的構造、技術條件與所用材料……482
§110 曲軸加工施工規程的製訂 ……484
§111 主要工序的進行方法 ……486
第二十七章 本體零件的加工 ……497
§112 本體的構造、技術條件與所用材料……497
§113 本體加工施工規程的製訂 ……500
§114 主要工序的進行方法 ……504
參考書目 ……510

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

航空發動機零件機械加工施工學

第三部分　航空發動機零件的加工

第十七章　渦輪軸與壓氣機軸的加工

§82. 總述

燃氣渦輪軸與壓氣機軸都是噴氣式發動機的特別重要的零件。❶

從施工的觀點來看，這類零件乃是一種帶有凸緣的空心台階軸，它的外面有矩形的花鍵，內面有漸開線形的花鍵。圖 270 所示的就是這類軸的典型代表件。

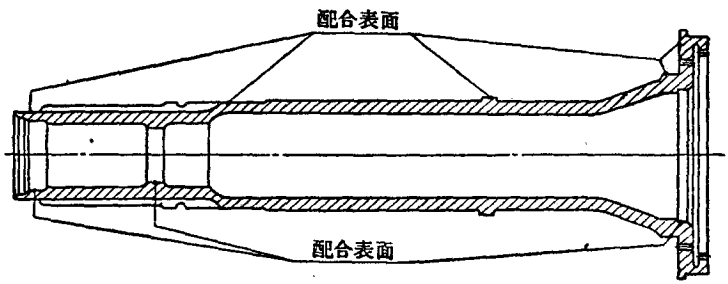

圖 270　渦輪軸。

這種軸是用高質合金鋼(例如，40XHMA)製成，經熱處理使硬度達到 $R_C=33\sim35$，檢驗等級按第一類。

對於這種軸，在工作表面的準確度方面要求很高，而對表面相互位置準確度的要求則尤其嚴格。軸頸與配合表面部分的直徑通常要求保

❶ 這些軸的轉數每分鐘達到 15,000 轉，甚至更高。

持 1—2 級準確度，▽▽▽ 7 —▽▽▽ 8 級光滑度。工作表面相互的同心度和垂直度則要求在 0.015—0.02 公厘的範圍內。軸的壁厚差僅容許在 0.25 公厘左右的範圍內。

軸的毛胚是在臥式鍛造機上鍛出來的。在圖 271 中可看到兩種鍛件的樣式：第一種——簡化了的，第二種——較合理的。如果所需鍛件爲數不多(試製時)，可以採用無型鍛造法。

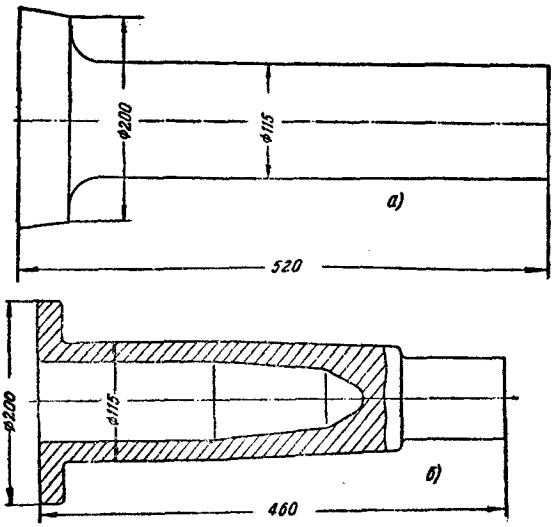

圖 271 軸的毛胚：
а—簡化了的； б—合理的。

因爲這種軸要求按第一類檢驗法來檢驗，故毛胚應做得比軸長 130—150 公厘，以便將其一端切下，用作爲試驗材料機械性質所必需的試件。

鍛出的毛胚應進行常化處理，以改善其加工性，消除內應力，並爲軸在以後的淬火處理做好結晶組織上的準備。

在加工這種軸的外圓表面時，可與一般加工軸類工件時一樣，用中心孔來作定位基準，而在軸心內孔鑽出後，改用中心斜面來作其定位基

準。但是因爲這種軸有凸緣，放在頂點間加工時，鷄心夾頭或其他撥轉裝置很難可靠地夾緊在軸上。所以在很多切削壓力大的工序中，例如在多刀車削時，最好直接用凸緣來定位與夾緊工件。如果設法使這兩表面有足夠的同心度，例如，規定它們在同一次定位中加工出，我們就有可能更換基準，即用凸緣表面來替代基準斜面。

在加工軸心內孔時，可以用兩個彼此相距爲最遠的軸頸來作定位基準。其中的一個軸頸用來使軸，在夾盤中定位和夾緊。而另一個軸頸則用中心架支住。

淬火與回火最好在細加工階段前進行，因爲在此時，工件容易淬深。

要使定心用軸頸與軸的配合表面達到圖紙所要求的準確度（1—2級，光滑度爲▽▽▽ 7與▽▽▽ 8），可以加入精磨作爲光削工序。要保證所要求的表面相對位置準確度（0.015—0.02公厘）就比較困難些。外圓表面的同心度可以足夠可靠地加以保證，如果在同一次定位中來進行這些表面的輪磨（同時還可保證其與相接端面的垂直度）。外圓表面與內圓表面的同心度還可用其他不同的方法來達到。

一般在加工帶孔的工件時，如果先將孔加工到最後尺寸，然後以此孔作爲基準來加工外圓，這樣來保證內外圓有高的同心度就比較容易。這是因爲以孔來定位時所用心軸的準確度能夠比以外圓來定位所用的夾盤的準確度來得高（夾盤的構造幾乎總是要比心軸的構造來得複雜，而其在機床上的定位準確度則要比後者爲低）。如果先加工孔，則此時對夾盤的要求不用提得很高，因爲在外圓表面上還有加工餘量；所以此時不需要很準確的定位。根據這個理由，我們說，最好先加工內孔，而後外圓。

但是在我們這種情況，這樣尺寸的工件——渦輪的軸，對內外工作表面的同心度的要求（0.015—0.02公厘）高到不僅用夾盤，即使用心軸來定位工件，也很難達到所需的定位準確度。

爲了免出廢品，可能需要用校整法；校整工件，一般說，根據外圓表面來進行比較方便，而非內圓表面。

上述理由導致兩種保證內外表面達到高同心度的方法。

如果心軸的構造（或一般軸件以孔定位的方法）能可靠地保證所需要的定位準確度，則最好先加工內圓表面，然後加工外圓表面。當不用校整不可能達到所要求的準確度時，最好先加工外圓表面，而後加工內圓表面，在定位時工件的校整根據外圓表面。

渦輪軸（參閱圖 270）主要表面的大致的加工計劃如下：

（1）熱處理（常化處理）；

（2）鑽中心孔；

（3）粗加工階段：

車外圖表面，

鑽軸心內孔，

切下作試驗用的試件；

（4）熱處理進行前的檢驗；

（5）熱處理（淬火與回火）；

（6）修復基準——車凸緣與在孔端車出斜面；

（7）細加工階段：

車外圓表面，

輪磨準備支承在中心架中的軸頸，

擴軸心內孔；

（8）特種工序：

銑外花鍵齒，

銑螺旋槽；

（9）外圓表面的最後加工階段：

輪磨花鍵齒，

輪磨外圓表面的工作部分；

(10)內孔的最後加工階段：

擴削突緣內的環帶內圓表面，

輪磨內孔的定心部分，

鏜內花鍵齒；

(11)在凸緣上鑽孔並切出螺紋；

(12)拋磨外圓表面與內孔；

(13)最後檢驗。

壓氣機軸的加工計劃大致與上同。

§83. 主要工序的進行方法

粗車外圓表面　軸的粗車包括兩個工序：車凸緣同時加工其端面與全長外圓的車削。

凸緣是放在車床上，夾持在兩頂針之間來進行加工的。軸身的全長放在多刀半自動機床（例如，"紅色無產者"工廠所出的 1730 型，"奧爾忠尼啓則"工廠所出的 116 型）上來進行加工比較經濟。

在圖 272 上可見到圖 270 所示軸件在多刀機床上進行車削時的裝刀情況。由於凸緣與圓柱部分的連接處爲錐形表面，軸的外形因而顯得較複雜。如果我們裝上一個靠模裝置並利用第三個刀架，這個錐形表面也就可以在這工序中一起車出。

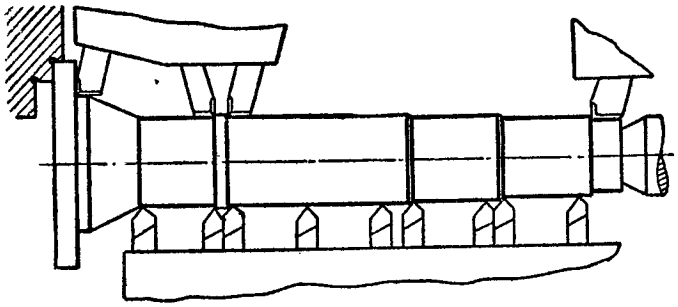

圖 272　軸在多刀半自動機床上車削的情形。

鑽軸心內孔 鑽孔工序進行的好壞在很大程度上規定了軸的以後加工工序的性質。鑽孔工序應當這樣來進行，使得孔的形狀儘可能接近於製成軸件內腔的形狀，也就是說，應將孔做成台階形。此外，必須考慮到力具走偏的可能性，要採取措施以減少其走偏量。這兩個要求如果能滿足，以後諸工序的加工餘量就可減少。

鑽孔所用的刀具爲深孔鑽（請閱§40），擴鑽直徑很大的孔時則廣泛使用扁鑽。加工出台階有好幾種方法：

（1）在一次定位中，先後用兩刀具來進行（轉塔車床式"紅色無產者"工廠所出的2953型臥式鑽床）；

（2）軸的兩端先後地進行鑽孔，即加工要用兩次定位（所用機床與上同）；

（3）軸的兩端同時地進行鑽孔，即加工祇用一次定位（雙軸鑽床）。

在前兩種情況下，加工時工件是轉動的。在第三種情況下，旋轉的是鑽頭，而工件則放在V-形塊上，不動。在大多數的情況下在這三種方法中，最好選用第一種方法，因爲當工件旋轉時，鑽出孔的偏移量可小一些（與第三種情況，工件不旋轉時相比較）；除此而外，僅在一端加工，所得出的各台階相互間的位移不會很大（在第二種情況，兩端鑽時要產生位移）。在規定以後的擴孔工序的加工餘量時，一定要考慮軸心內外表面的不同心度，因爲孔的偏移量能很大（能達1公厘）。

細車外圓 淬火與回火後，爲進行細車工序所必要的基準的準備工作爲：車一下中心孔斜面與車凸緣的外圓面與端面。在這些工序中主要的是保證凸緣的表面與中心孔斜面達到所需要的同心度。細車與粗車一樣，都是在多刀機床上進行。

擴孔 擴孔的目的有下列幾個：（1）使孔的尺寸符合於圖紙要求；（2）減少壁厚差到容許的範圍內與（3）完成某些部分在輪磨前的準備工作。

鑒於軸的內腔形狀較複雜而加工餘量又很大，故加工必須分成初

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

加工與最後加工兩步驟。工件的一端裝在三爪夾盤式特種夾盤內，另一端則用中心架予以支住。定位的準確與否有很大意義，因爲軸壁厚差就取決於它。爲了提高定位準確度，在擴孔工序前可加入一基準軸頸的輪磨工序。

擴削軸的成型內腔可以有兩種方法：在轉塔車床上用成型刀具或者使用靠模。在轉塔車床上，各段表面的加工都有它一定的刀具，或是標準刀具，或是特種刀具。成型表面的那一段常用刀片形鎩刀來進行加工，因爲它比圓柱形鎩刀來得簡單。在圖 273 中可看到轉塔車床在擴削軸的內腔時的裝刀情況。

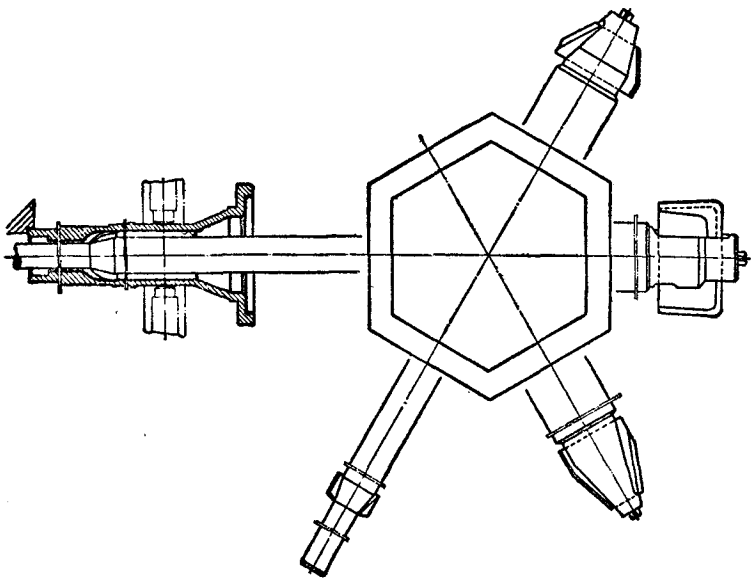

圖 273　轉塔車床在加工孔時的裝刀情況。

在沿着靠模加工時，各段表面加工的轉移比較勻滑。祇有在鑽孔後，孔的形狀與製成軸件內腔的形狀相差過多時，可能會引起一些困難。在這情況時，各段表面上所應留的加工餘量不得不增加。載於前

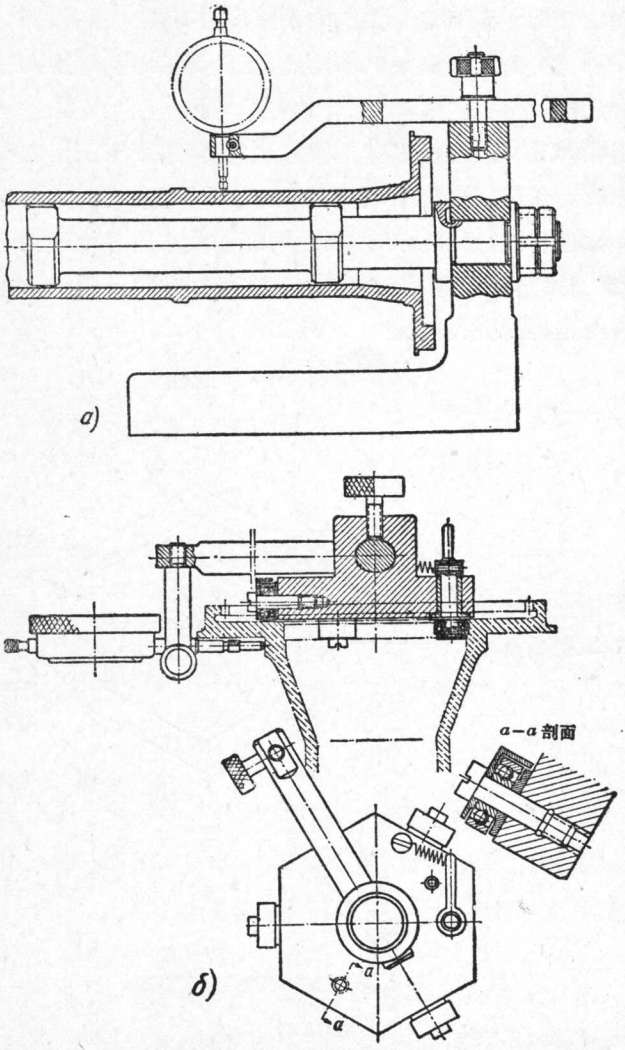

圖 274 軸件各部的檢驗。

面圖 185 中那種類型的靠模機床可用來進行這一工序，或者可在車床或轉塔車床上，配上靠模裝置來進行。

銑花鍵與輪磨花鍵　根據生產計劃的大小，花鍵的銑削工作或者放在通用臥式銑床上用成型銑刀來進行，或者放在花鍵銑床（"共青團員"工廠所出的 5Y 34 型機床）用滾刀按展成法來進行（參閱圖 258）。花鍵側面的輪磨工作則放在花鍵磨床（例如，莫洛托夫工廠所出的 352 型機床）用成型磨輪來進行（參閱 § 77）。

外圓表面的輪磨　輪磨（最後輪磨）乃是最重要工序之一。一般說來，要使圓柱表面達到 2 級準確度與▽▽▽ 7 —▽▽▽ 8 光滑度（一般要求的準確度與光滑度就是這樣）並沒有什麼困難，但是在我們這個情況下，要保證軸頸的高同心度，以及其與相接端向平面的垂直度，必須將所有表面在一次定位中輪磨出。因此，這工序變得非常繁重，分工序的數目很多，並且還需由熟練程度很高的工人來進行。

輪磨必須在剛度與準確度很高的機床上來進行。

孔的最後加工　這個階段始於凸緣內圓表面的光削加工（擴孔或輪磨），此後爲內孔某些部分的輪磨。誠如前面所述（參閱 § 82），爲了達到高的同心度，應當根據基準軸頸的外圓來校整工作的位置。內孔的加工以在鍏齒機上鍏削內花鍵齒而告結束。在此工序中，軸乃以軸頸來定位，另有一定位塊頂住凸緣的端面，工件的校整可根據此軸頸或與此軸頸相同心的另一軸頸。

鑽凸緣上的孔　這個工序一般在搖臂鑽床上用覆式鑽具來進行。

軸的非工作表面一般要拋磨，此工作可放在車床上或拋磨機床上來進行。

在圖 274 中可見到軸件某些部分：壁厚差（圖 *a*）與外圓帶面與內圓的同心度（圖 *б*）的檢驗方法。

第十八章　齒輪的加工

§84. 齒輪的構造、技術條件與所用材料

按照本體的構造與形狀，齒輪可劃分成下列幾類(圖 275)，

(1)以內表面(孔或環形內圓面)來作配合表面的齒輪：*а*—平的(無輪轂)，*б*—齒圈形的，*в*—帶轂的；*г*—鐘形的；*д*—塔形的；

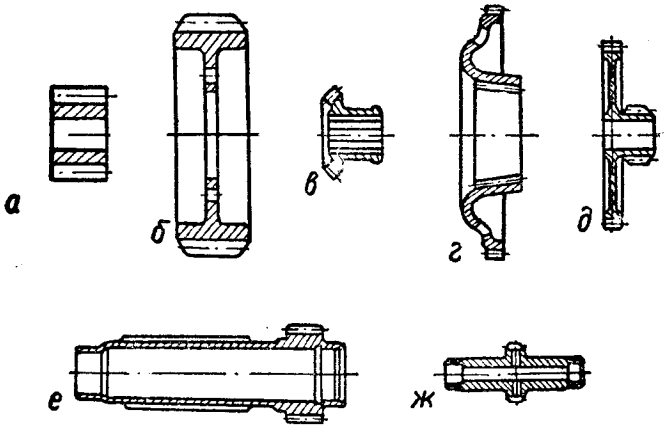

圖 275　齒輪的各種形狀。

(2)以外表面來作配合表面的齒輪(帶軸齒輪)：*е*—配合表面位於一邊的齒輪，*ж*—配合表面位於兩邊的齒輪。

最常碰到的爲帶孔的齒輪。至於齒的形狀，則以外嚙合的直齒齒輪(正齒輪與傘齒輪)爲最常見。內嚙合的齒輪與斜齒齒輪較少見。

齒輪的質量指標爲齒的主要要素(齒厚、齒距、齒形、方向)的允許誤差值與齒對配合表面相對位置的誤差值[徑向跳動量與端向跳動量，支承端面至節圓錐頂的距離(對於傘齒輪來說)等]。

對準確度的要求乃根據齒輪的工作條件(圓周速度、所傳遞的功率)而定。在航空工業中使用名爲“部定標準 107 MT 齒輪製造公差”的標

準。在這標準中，所有齒輪按準確度分成四級。

屬一級準確度的有工作時圓周速度越過 15 公尺/秒、齒面經過輪磨的重要的直齒形正齒輪(減速器齒輪、增壓器齒輪等)。

屬二級準確度的有工作時圓周速度超過 10 公尺/秒、齒面不能輪磨的重要齒輪(傘齒輪、人字齒輪、內齒輪、帶突肩的正齒輪等)，以及圓周速度爲 5—15 公尺/秒的經過輪磨的齒輪。

屬三級準確度的有：

(a)圓周速度低於 10 公尺/秒的正齒輪；

(б)圓周速度爲 5—15 公尺/秒的傘齒輪、斜齒正齒輪、人字齒輪與內齒正齒輪(傳動齒輪等)。

屬四級準確度的有圓周速度小於 5 公尺/秒的傘齒輪、斜齒與人字齒輪。

在標準中，嚙合的主要要素的公差乃根據準確度等級而訂。這些公差的大小列見表 32 與表 33。這些數值告訴了我們，製造重要的齒輪需要有高度的生產水平。

對於重要齒輪的材料，在強度、韌度與耐磨性方面要求很高。所以，在航空發動機的製造中，製造齒輪，廣泛使用合金鋼(表 34)。

齒與配合部份應有較高表面硬度的齒輪，用滲碳鋼製(表 34 中第一類)。滲碳深度通常是 0.5—1 公厘。熱處理後，滲碳部分的表面硬度達 $R_C=60$，未滲入碳部分的硬度在 $R_C=40$ 以下。第二類的鋼，淬火後作高温回火(調質)，其硬度在 $R_C=38$—41 以下。

某些齒輪(例如，減速器齒輪)滲氮到 0.3—0.5 公厘深。近來已開始使用氰化法以提高表面硬度。

§85 齒輪加工施工規程的製訂

影響齒輪加工施工規程性質的有下列主要因素：

(1)齒輪的外形；

表 32　外直齒正齒輪的製造公差(根據 НКАП 107 MT 標準)(尺寸單位爲公厘)

所檢驗的齒輪要素的誤差	齒的數目	模數											
		2以下	自2至4	自4至6	自6至8	2以下	自2至4	自4至6	自6至8	2以下	自2至4	自4至6	自6至8
		允許差量值											
		一級準確度				二級準確度				三級準確度			
齒厚的差量	與齒數無關	−0.04 −0.08	−0.04 −0.08	−0.04 −0.08	−0.05 −0.10	−0.06 −0.12	−0.06 −0.12	−0.07 −0.14	−0.07 −0.14	−0.08 −0.16	−0.10 −0.18	−0.12 −0.22	−0.12 −0.25
齒面的跳動量(分齒圓的跳動量)	30以下	0.03	0.03	0.035	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
	30以上	0.03	0.035	0.040	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
基圓周節的差量	與齒數無關	±0.008	±0.008	±0.010	±0.010	±0.012	±0.015	±0.015	±0.015	±0.020	±0.025	±0.030	±0.035
基圓周節在本齒輪上的最大相差量	同上	0.008	0.008	0.010	0.010	0.012	0.015	0.015	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035
漸開線的形差	同上	0.007	0.008	0.009	0.010	0.012	0.015	0.015	0.018	——	——	——	——
齒的方向差量	同上	±0.008	±0.010	±0.010	±0.012	±0.012	±0.015	±0.015	±0.018	±0.015	±0.020	±0.025	±0.030
齒間的安裝側向間隙：最小值 最大值	—— ——	0.05 0.16	0.05 0.16	0.05 0.16	0.06 0.20	0.07 0.26	0.07 0.26	0.08 0.31	0.08 0.31	0.10 0.39	0.12 0.43	0.14 0.53	0.14 0.60
中心間距離的差量	100以下 100以上 200以下	±0.015 ±0.020				±0.020 ±0.030				±0.040 ±0.050			
	200以上 400以下	±0.025				±0.040				±0.060			

註：表中所列公差乃對齒的工作側面而言。如果齒的兩側面均爲工作表面，則齒的兩側面都需檢驗漸開線、基圓周節與齒的方向差量。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com