

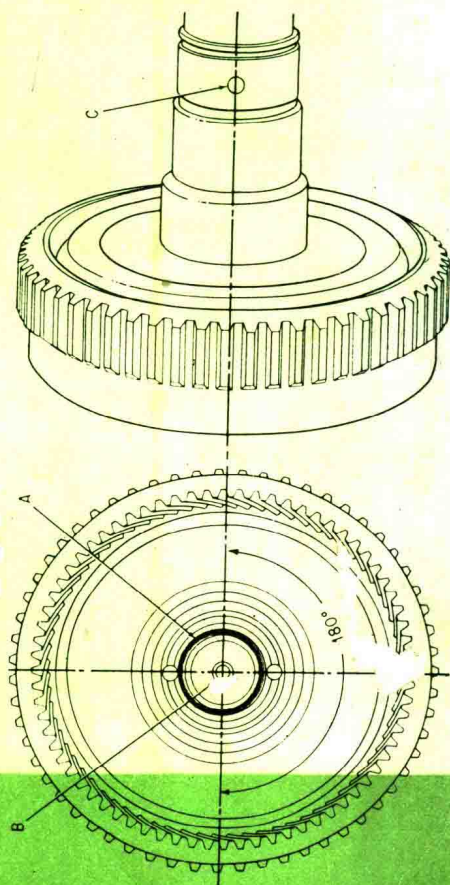
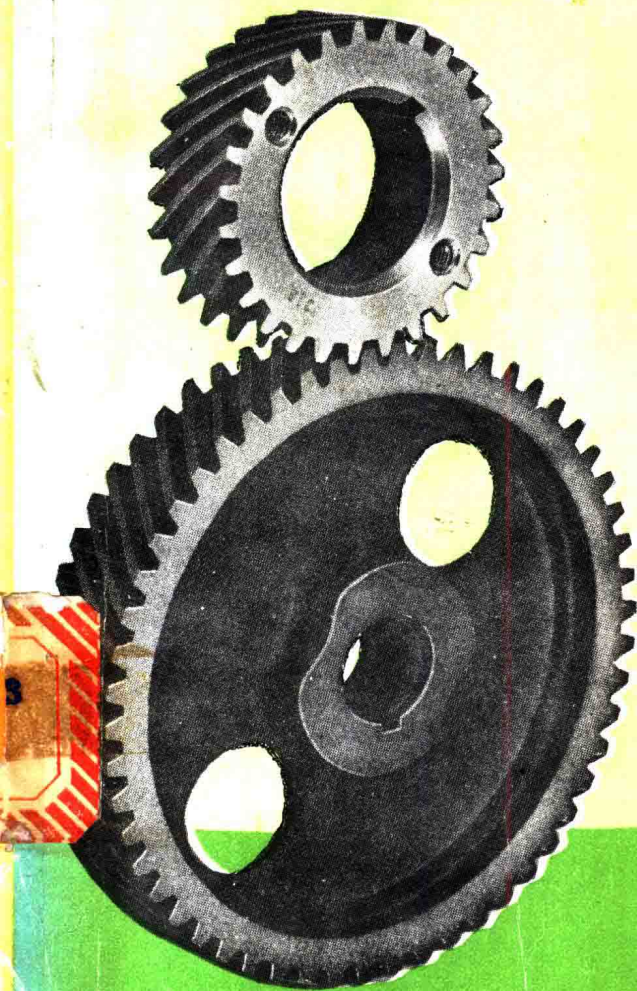
科技用書

齒輪加工技術

樋川武男 編
渡辺 真

復漢出版社印行

賴耿陽譯著



科技用書

齒輪加工技術

槌 川 武 男 編
渡 辺 真
賴耿陽譯著

復漢出版社印行

中華民國 七十年 一月 出版

齒輪加工技術

原著者：渡 川 武 男

譯著者：賴 耿 陽

出版者：復 漢 出版 社

地址：台南市德光街六五一號
郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈 岳 林

印刷者：國 發 印 刷 廠
地址：台南市安平路五五六號

版權所有
翻印必究

平裝 一六〇元
精裝 二〇〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

早在 2000 年前，就已使用齒輪。有各種傳達旋轉的手段，却無像齒輪那麼簡單、確實、高效率者，所以至今仍廣被實用，今後也必更廣用。所以有關齒輪的各方面研究報告很多，不過，大都討論切削加工的齒輪。

近年已採用切削以外的加工方法，諸如塑性加工、燒結、鑄造、射出成形等，這些非切削加工主由金屬材料或塑性加工技術者研究。

今後，爲了滿足多樣化的要求事項，經濟製成性能良好的齒輪，齒輪技術者須認識切削加工及非切削加工方法，確立總合的齒輪加工技術。

本書即順應此趨向而企劃，因包含的分野很廣泛，在各分野都一一詳述自非篇幅所許可，只止於齒輪設計、製造技術者直接必要的範圍。

本書的內容爲了便於瞭解，佐以實例而平易記述，闡明齒輪加工的問題，啓示今後推進的方向。若能有助於齒輪加工技術的發展，實屬至幸！

齒輪加工技術／目次

第一章	總論	1
1 - 1	齒輪成形法的演進	1
1 - 2	齒輪成形上的課題	2
1 - 3	切削以外的齒輪成形方法	3
1 - 4	今後的齒輪成形法	4
第二章	切削加工	6
2 - 1	概說	6
2 - 2	齒輪切削的幾何學	6
2 - 2 - 1	漸開線齒形的性質	6
2 - 2 - 2	用爲齒形的漸開線	9
2 - 2 - 3	齒形嚙合時的關係位置	10
2 - 2 - 4	壓力角	10
2 - 2 - 5	漸開線齒輪	11
2 - 2 - 6	基準齒條與標準齒輪	11
2 - 2 - 7	過切	12
2 - 3	切齒工具與切齒機械	14
2 - 3 - 1	利用成形銑刀的成形切齒法	14
2 - 3 - 2	齒條形刨齒刀與齒輪刨床	15
2 - 3 - 3	滾齒刀與滾齒機	16
2 - 3 - 4	齒輪形刨齒刀與齒輪刨床	18
2 - 4	齒輪的切削加工效率	18
2 - 4 - 1	多條滾齒刀的問題	19
2 - 4 - 2	對角線切削法	19
2 - 4 - 3	特殊高性能切齒機	25
2 - 5	滾齒齒輪的加工精度	25

2 - 5 - 1	滾齒法的切削條件·····	26
2 - 5 - 2	切削阻力的變動對滾齒機動性精度的影響···	27
2 - 5 - 3	影響齒形誤差的要因·····	29
2 - 5 - 4	如何改善滾齒機的動性精度·····	32
2 - 6	傘齒輪的切齒·····	33
2 - 6 - 1	直齒傘齒輪·····	33
2 - 6 - 2	螺旋傘齒輪·····	37

第三章 塑性加工····· 41

3 - 1	滾製·····	41
3 - 1 - 1	齒輪滾製方式的分類·····	41
3 - 1 - 2	齒輪滾製工具·····	47
3 - 1 - 3	滾製齒輪素材·····	49
3 - 1 - 4	齒輪熱間滾製·····	52
3 - 1 - 5	利用滾製的齒輪細加工·····	57
3 - 1 - 6	滾製齒輪的性質·····	59
3 - 2	熱間鍛造·····	62
3 - 2 - 1	概說·····	62
3 - 2 - 2	模具的設計與製造·····	64
3 - 2 - 3	鍛造成形用機械與附帶設備·····	77
3 - 2 - 4	齒輪熱間鍛造的工程例·····	81
3 - 3	高速鍛造·····	82
3 - 3 - 1	高速鍛造機的構造與作動原理·····	83
3 - 3 - 2	高速鍛造機的特色·····	85
3 - 3 - 3	高速鍛造機的鍛造精度·····	87
3 - 3 - 4	高速鍛造機使用的模具·····	90
3 - 3 - 5	用高速鍛造機成齒輪·····	95
3 - 3 - 6	鍛造作業·····	97
3 - 3 - 7	鍛造後的機械加工·····	99
3 - 3 - 8	鍛造齒輪的性質·····	100
3 - 4	冷間鍛造·····	101
3 - 4 - 1	概說·····	101

3 - 4 - 2	基本加工法	103
3 - 4 - 3	冷間鍛造的變形狀態與成形壓力	110
3 - 4 - 4	模具的設計	112
3 - 4 - 5	有關加工的要素	119
3 - 4 - 6	加工精度	122
3 - 4 - 7	加工品的特色	134
3 - 5	衝剪	138
3 - 5 - 1	衝剪齒輪	138
3 - 5 - 2	普通齒輪衝剪法	139
3 - 5 - 3	衝剪衝頭及衝模的製造法	141
3 - 5 - 4	齒輪的精密衝剪法	154

第四章 鑄 造 166

4 - 1	普通鑄造法	166
4 - 1 - 1	鑄造齒輪的材質	166
4 - 1 - 2	鑄造齒輪的設計	166
4 - 1 - 3	鑄造齒輪的造模法	177
4 - 1 - 4	熔解鑄入	182
4 - 1 - 5	鑄入後的處理	183
4 - 1 - 6	鑄造齒輪缺陷的對策	183
4 - 2	精密鑄造法	185
4 - 2 - 1	脫蠟鑄造法	185
4 - 2 - 2	殼膜法	189
4 - 2 - 3	蕭氏法 (Shaw Process)	194
4 - 2 - 4	石膏模法 (Plaster mold Process)	195
4 - 2 - 5	結語	197
4 - 3	壓鑄	199
4 - 3 - 1	概要	199
4 - 3 - 2	壓鑄用合金	200
4 - 3 - 3	壓鑄機的構造	204
4 - 3 - 4	壓鑄用模具	205
4 - 3 - 5	壓鑄齒輪設計上的問題	208

4 - 3 - 6	壓鑄齒輪的精度	212
4 - 3 - 7	壓鑄齒輪的實用例	214

第五章 粉末冶金 219

5 - 1	粉末冶金法的特色	219
5 - 2	齒輪用燒結合金	220
5 - 2 - 1	燒結合金的種類和特性	220
5 - 2 - 2	影響燒結合金特性的要因	220
5 - 3	燒結齒輪的製造法	224
5 - 3 - 1	原料粉	226
5 - 3 - 2	混合	228
5 - 3 - 3	壓縮成形	228
5 - 3 - 4	燒結	234
5 - 3 - 5	熔滲	236
5 - 3 - 6	修正尺寸、壓印、再壓縮	237
5 - 3 - 7	後處理	238
5 - 4	燒結零件的形狀與尺寸精度	239
5 - 4 - 1	限制形狀的要因與形狀例	239
5 - 4 - 2	齒輪設計上的注意事項	240
5 - 4 - 3	燒結零件的尺寸精度	241
5 - 5	燒結齒輪的特性與實用例	241
5 - 5 - 1	燒結齒輪的特性	241
5 - 5 - 2	燒結齒輪的實用例	244

第六章 射出成形 249

6 - 1	概說	249
6 - 2	塑膠成形齒輪的特色	250
6 - 2 - 1	成形齒輪的優點	250
6 - 2 - 2	成形齒輪的缺點	252
6 - 3	適合成形齒輪的樹脂	252
6 - 3 - 1	耐隆	253
6 - 3 - 2	聚縮醛樹脂	254
6 - 3 - 3	硬質氯乙烯	254
6 - 3 - 4	聚碳酸酯	254

6 - 3 - 5	ABS 樹脂	254
6 - 3 - 6	聚乙烯、聚丙烯	255
6 - 3 - 7	加玻璃纖維樹脂	255
6 - 4	射出成形用模具	255
6 - 4 - 1	模具的構造	255
6 - 4 - 2	雕模部	256
6 - 4 - 3	雕模部的加工方法	257
6 - 5	成形作業	259
6 - 5 - 1	成形加工	259
6 - 5 - 2	調質處理	260
6 - 5 - 3	成形齒輪的尺寸管理	261
6 - 6	塑膠成形齒輪的齒形	263
6 - 6 - 1	齒形的融通性	263
6 - 6 - 2	標準齒形	263
6 - 6 - 3	減小齒厚的齒形	263
6 - 6 - 4	成形收縮的對策	264
6 - 6 - 5	取齒隙所需的中心距離增加量	264
6 - 6 - 6	過切界限	265
6 - 6 - 7	銷齒輪	266
6 - 6 - 8	傘齒輪	266
6 - 6 - 9	正面齒輪	267
6 - 6 - 10	蝸桿及螺旋齒輪	267
6 - 7	塑膠成形齒輪的特異性	267
6 - 7 - 1	塑膠成形齒輪的強度	268
6 - 7 - 2	軸（金屬）與軸承部份（塑膠）的間隙	268
6 - 7 - 3	成形齒輪的壓力角	269
6 - 7 - 4	溫度、濕度所致的尺寸變化	269
6 - 7 - 5	塑膠成形齒輪的精度	270

第一章 總 論

1-1 齒輪成形法的演進

究竟從何時間始用齒輪為傳達旋轉的手段，已無從稽考，距今 2200 年前，阿基米得 (Archimedes) 已知道齒輪；Ctesibius 將齒條 (rack) 與小齒輪 (pinion) 的嚙合或傘齒輪裝置用於水鐘。

約 450 年前，Leonardo da Vinci 畫成各種齒輪裝置圖，其中包含蝸桿齒輪或切齒工具。

可見，齒輪也許在 2000 年以前就使用，初期主要為水鐘用，以傳達運動為主要目的，傳達力小，這些齒輪由工匠以手作業製造。

300 ~ 400 年前，隨著水力製粉機的發達，使用大形齒輪，比起水鐘用齒輪，水力製粉機用齒輪較不重視旋轉運動的正確性，須在傳達很大的力也不折斷，而且長壽，可能起初是在大木製圓板的周圍開孔，打入齒而作成齒輪。

這些齒輪在晃動中旋轉，不過旋轉速度尚小，大可勝任利用水力的製粉工作。

後來有金屬鑄造的技術，1770 年頃起也鑄造齒輪，在鑄成狀態使用。

人們在使用齒輪的期間，思索以何種齒形可更滑順，而且不晃動地旋轉。

欲使齒輪以均勻速度圓滑旋轉的齒形理論研究約 300 年前才有正式的記錄，丹麥的天文學者 Olaf Roemer 研究鐘錶用齒輪，1674 年發表擺線齒形 (cycloid) 齒輪的嚙合可達成等速旋轉運動。

法國的 Philippe de Lahire 報告漸開線齒形 (involute) 的齒輪也可傳達等速旋轉運動。

其後盛行齒輪齒形的理論研究，甚至考慮交換性齒形。

1837 年英國人 Robert Willis 指出漸開線齒輪即使中心距離有

誤差，旋轉角度也不變，可等速旋轉，這對漸開線齒輪的實用化大有貢獻。

在研究齒形理論的同時，加工方面也從手工方法轉變為機械加工，約 200 年前，法國人 Jacques de Vaucanson 以鑿子在圓板周圍加工溝槽，以它為切刃，作成銼狀旋轉銼刀，也可說是旋轉銼，乃從長期手工加工邁向機械加工的第一步。

切齒機械是 1802 年由法國發表手動切齒機，這是初期的機械。

正式的齒輪機械加工是約 100 年前由 Joseph R. Brown 作成動力切齒機，接著作成有分度頭的銑床、成形銼刀等。

齒輪的機械加工由利用成形銼刀的成形切齒法開始。

約 70 年前，Fellows 發表利用齒輪形刨齒刀 (pinion cutter) 的創成切齒法，才能以一種刀具切削各種齒數的齒輪。後來，很多人研究用齒輪形刨齒刀的切齒法、用齒條形刨齒刀 (rack cutter) 及滾齒刀 (hob cutter) 的切齒法，隨著實用化的推展，已可作成偏差少、堅固而耐用的齒輪。

由於創成切齒法的實用化，齒輪加工法增高效率，齒輪加工精度也增高，所以創成切齒法在現在很普遍。

素來有關齒輪加工的研究，主要着重製造嚙合性能良好、精度高的齒輪，在增高加工效率方面的努力比其他機械加工法晚些。

1-2 齒輪成形上的課題

近年隨著汽車工業等工業的發展，齒輪也要求快速而低成本。改善切齒的加工效率乃一大課題，所以檢討切齒刀具、切齒機械、切齒方法。切削速度漸增快，也開發剛性耐重切削的切齒機械。成形切齒法似為古老的切齒法，但加工效率比創成切齒法高，已有大量生產用成形切齒機，諸如直齒傘齒輪用的 Revacycle 切齒機等。

也嚴格要求齒輪的性能，盡量以小形齒輪傳達大力，而且要耐用。所以齒輪使用強韌材料，此種材料硬度高，通常有難削性質，不過，也有人兼慮加工精度、加工效率，研究高硬度齒輪的切齒。

可見現在的大課題是改善精度和加工效率，以及切製高硬度齒輪。

但是，為了增高加工效率而增大切削速度、重切削的話，切齒精度

有下降的傾向。素材硬度高的話，須減小切削速度，加工效率下降，齒輪採用切削成形時，須克服如此矛盾的內涵，所以，切齒技術的進步並非易事。

1-3 切削以外的齒輪成形方法

除了切削加工以外，齒輪另有很多成形技術，目前實用化者如下述：

(1)鑄造法 鑄造法比切削加工更古老，但由於材料熔解法、鑄模製造法等進步，已可高效率作成良質製品，目前大形齒輪幾乎都採用鑄造法。開發精密鑄造法後，鑄造齒輪的精度增高，常在鑄成狀態使用。非鐵金屬的齒輪採用壓鑄法。不只齒輪單體，也可組合其他零件而一體成形，有利於加工效率。

(2)鍛造法 鍛造成形法的歷史也長，最近已易得高精度齒輪用鍛造模，由於模材料的進步，鍛造模壽命延長，也開發無氧化加熱法，可高效率大量生產直接使用鍛造齒面的齒輪，實用於汽車的差動裝置用齒輪等。較軟而有延性的材料可用冷間鍛造法，也可採行利用高能量的高速鍛造。鍛造法不發生切屑，材料可少，鍛造的齒輪也可增大變曲強度。

(3)滾製法 齒輪的滾製成形法也是加工時間極短，生產性優秀的加工方法，使素材旋轉，擠入滾製工具，藉創成運動，將塑性流動的材料加工成齒形。素材與工具的接觸面積小，加工力可小，可以較小形的機械產生大變形。因藉創成運動加工齒形，故可用1種工具加工齒數不同的齒輪。

但是，齒形全體未同時被模具規制，加工精度有問題，只適用於不嚴求精度的齒輪，不過，由於滾製方法、滾製機、滾製工具的改進，精度已可與切削齒輪同等，擴大實用範圍。

滾製加工不發生切屑，也不切斷材料的金屬纖維，能以較少的材料高效率作成強齒輪。軟材料可藉冷間滾製法成形模數小的齒輪，若利用高周波加熱，進行熱間滾製，也容易成形強韌材料的齒輪。

(4)衝造法 玩具用等齒寬小的齒輪常從金屬板衝造而成，衝造也是高效率的成形法，但精度不高，實用範圍只限於玩具類。但由於衝造

模具製造技術的進步，又開發精密衝造法，已可得相當高精度的齒輪。鐘錶、計測機器類用小形板齒輪可用精密衝造法高效率製造。

(5) 粉末冶金法 粉末冶金法可極度省略機械加工，近年來急速發展。早期只有多孔質而密度小者，強度有問題，實用範圍不廣，但最近已能製造密度大者，強度也改善，廣用於各產業分野，特色是可高精度、短時間大量生產形狀複雜的零件。此成形技術也可應用於齒輪，常用於汽車、農業機械、電器、事務機械等的齒輪或鏈輪的大量生產。

(6) 射出成形法 工業用塑膠已顯著改善品質，開發很多種類，用途擴大，生產量也大增，塑膠齒輪有其特色，大都用熱可塑性塑膠，用射出成形法，可高效率大量生產形狀複雜的齒輪，成本甚低。塑膠齒輪輕量、耐摩耗性、耐蝕性優秀，嚙合比金屬齒輪圓滑。

耐熱性、機械性強度不如金屬，不適於傳達大力，却適於計測機器、事務機器等，今後仍會擴大用途。

1-4 今後的齒輪成形法

設計、製造齒輪時，先考慮使用目的、使用條件，檢討要求事項，運動傳達用者考慮旋轉速度、嚙合精度、嚙合音、壽命等，決定齒輪諸元，選定使用材料。動力傳達用者還要考慮面壓強度、彎曲強度等，也不可疏忽生產數量及價格的要求。檢討這些事項後，設計齒輪、決定加工方法，付諸製造。

設計的基礎主要為性能上的要求事項，同時須滿足容易加工的條件。加工方法只考慮切削時，容易切齒的條件未必與性能上的要求事項一致，特別是最近性能上的要求嚴格，常與容易切齒的條件相逆，但總須容易加工，不得不犧牲性能上的要求。

現在齒輪性能的要求更多樣化，設計製造符合使用目的的齒輪須採用切削法以外的成形方法。

前節所述的各種非切削加工法未必都比切削法有利，但是，加工時間短，加工效率極高，也不產生切屑，材料費可少，而且增大齒輪的彎曲強度或耐摩耗性。

因此，須考慮何種成形方法最能滿足要求事項、作成符合使用目的的齒輪，具體決定加工方法，如此才能不受加工的限制，可較合理設計齒

輪，因而可較經濟作成性能較好的齒輪。

本以切削法作成的齒輪欲改用非切削加工時，也有的不易加工或無法成形，或即使能成形，也不經濟，原因是現在的齒輪大都以切削加工為前提，設計成容易切齒。改變加工方法時，須採用適合加工的形狀或齒形，也要再檢討加工工程，如此才能發揮加工方法的特色。

第二章 切削加工

2-1 概 要

齒輪是在二軸間傳達旋轉時所用的機械要件之一，依軸的關係位置、使用目的等而有各種分類，亦即，2 軸平行時所用的正齒輪、螺旋齒輪、2 軸交差時所用的直齒傘齒輪、螺旋傘齒輪、2 軸錯交時所用的戟齒輪（海波齒輪）、正面齒輪、蝸桿、螺輪等。使用目的為旋轉運動傳達、動力傳達時，齒輪的材料及熱處理各異，可分為運動傳達用齒輪與動力傳達用齒輪。

製造齒輪的方法可分為切削加工式、塑性加工式、鑄造式、燒結式、射出式形成等，本章先談切削加工。

齒輪的切削加工可分為用滾齒刀、齒條形刨齒刀、齒輪形刨齒刀等的創成切齒法、利用成形銑刀的成形切齒法，所用的切齒機械依齒輪為傘齒輪、蝸桿齒輪等形狀而異，表 2 - 1 依材料、熱處理方法分類加工工程。

2-2 齒輪切削的幾何學

現在一般採用的齒輪，除了特殊者之外，大都採用漸開線齒形，以有直線齒輪的齒條形刨齒刀創成漸開線齒形，嚙合漸開線齒形的對方齒輪齒形也同為漸開線齒形，漸開線齒輪即使安裝之際的軸間距離有誤差，速度比也不受影響，這是它廣為實用的理由之一。

2-2-1 漸開線齒形的性質

如圖 2 - 1 所示，在圓 O 的圓周上決定定點 A，在圓周上的任意點 B，在圓引切線 BP， $\overline{BP}$ 的長度等於 $\widehat{BA}$ 時，P 點的軌跡成為漸開線。或將卷於圓的線拉直而解開時，線的前端畫成漸開線。圓與直線滾動

表 2 - 1 切削成形法製作的齒輪之材料・熱處理法別工程分類

分 類	工 程	手 續
普通 調質齒輪	素材材料—鑄造—退火—素材粗削—淬火—回火—素材細加工—切齒	(除去鑄造壓力) (依使用材質施行標準熱處理)
高硬度齒輪	素材材料—鍛造—退火—素材粗削—淬火—回火—素材細加工—切齒	(特選淬火性良好的材質) (比標準減低回火溫度，使素材增硬) (一般可切削的硬度為 H, 55 ~ 60 以下)
高周波淬火齒輪	素材材料—鍛造—退火—素材粗削—淬火—回火—素材中加工	(S 30 C ~ S 40 C 等中碳鋼) 保留高周波淬火後的應變修正加工量 齒面研磨 或 — 抹磨 (依要求精度選擇齒面加工方法) (高周波) 依齒輪模數，齒數 (淬火用) 等規範，選用適正條件，周波數，電力等

滲碳淬入齒輪	素材材料—鍛造—正常化—素材粗削—淬火—回火—素材加工 (一般宜為Cr-Mo (鍛造壓力 鋼, Ni-Cr-Mo (除去與組 織微細化) 鋼)	—防止滲碳—切井—淬破—退火—淬火—回火—素材細削—齒面研磨—齒面研磨 (以鍍銅, 特殊塗料防止滲碳) (使滲碳部組纖球狀化) —抹磨— (依要求精度選齒面加工法)	或
氮化齒輪	素材材料—鍛造—正常化—氮化處理—齒面拋光—素材細削	素材材料—鍛造—正常化—素材粗削—淬火—回火—素材中加工	

* 小形齒輪常不施行鍛造及正常化, 直接從棒材削出素材