



齒輪入門



小原齒車工業株式会社

前言

齒輪是為了傳遞旋轉力、從紀元前便開始使用的重要傳動零件。

為了使大家能更了解自古以來便在使用、今後也仍將在各行各業中被使用的齒輪，因此我們編寫了這部「齒輪入門」。

本入門在淺顯的敘述中，讓大家對齒輪的基本常識能有正確的了解進而掌握齒輪的種類、運動方向、傳動力大小等與齒輪有關的重要資訊。

今後為符合實際上的需要，「齒輪入門」將持續不斷地修訂。如果您認為手冊中有哪一章節不甚明瞭之處，請不要客氣務必向講授者提出您的質問。

謝謝大家的指教。

齒輪入門第二版編輯小組

目錄

第一部分 關於齒輪	3
1. 齒輪的種類.....	4
2. 齒輪概述.....	7
3. 齒輪各部位的名稱.....	11
4. 漸開線齒形.....	14
5. 壓力角.....	16
6. 干涉、下切及轉位齒輪.....	17
7. 齒輪的精度與檢測.....	19
8. 齒輪的材料及熱處理.....	21
9. 齒輪的噪音.....	24
10. 齒輪 Q&A.....	26
第二部分 齒輪的製造程序	27
1. 正齒輪.....	28
2. 齒條.....	30
3. 傘形齒輪.....	32
4. 齒輪的生產設備.....	34

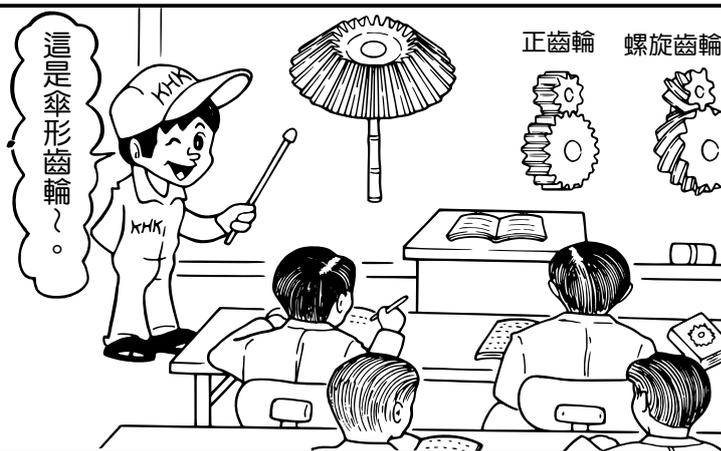
第一部分

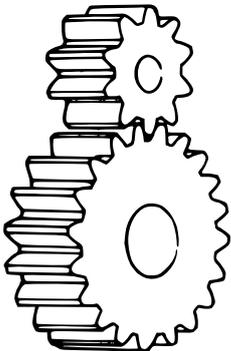
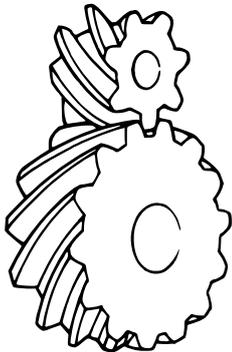
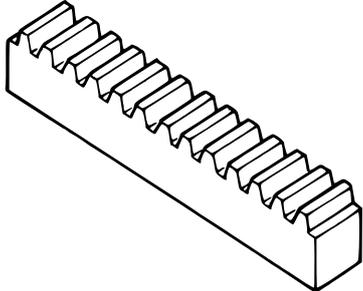
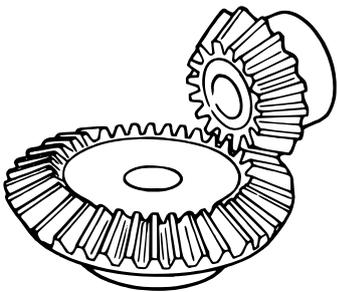
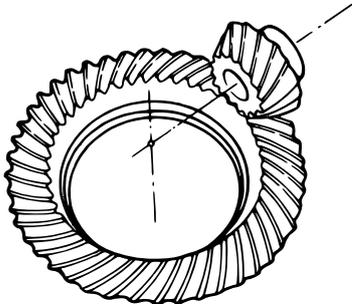
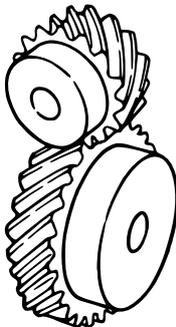
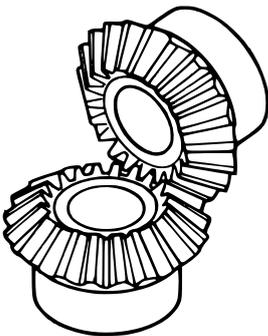
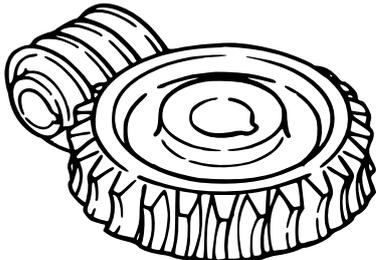
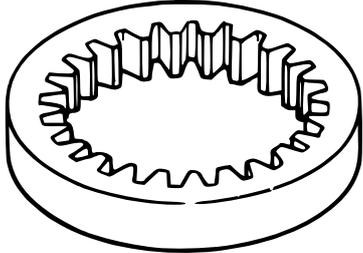
關於齒輪

1. 齒輪的種類
2. 齒輪概述
3. 齒輪各部位的名稱
4. 漸開線齒形
5. 壓力角
6. 干涉、下切及轉位齒輪
7. 齒輪的精度與檢測
8. 齒輪的材料與熱處理
9. 齒輪的噪音
10. 齒輪 Q&A

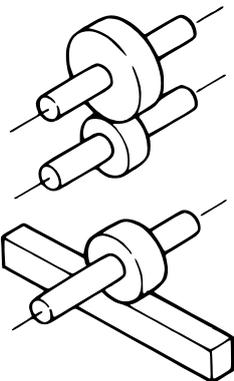
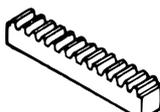
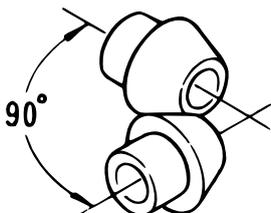
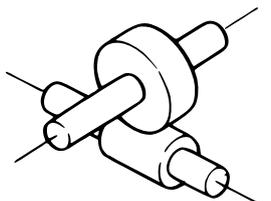
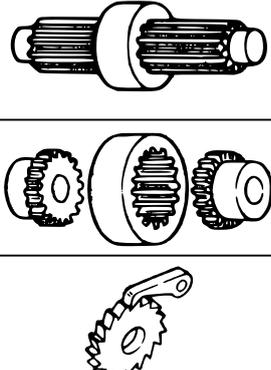
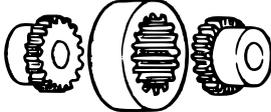
(1)-1

齒輪的種類



<p>正齒輪</p> 	<p>螺旋齒輪</p> 	<p>齒條</p> 
<p>傘形齒輪</p> 	<p>彎齒傘形齒輪</p> 	<p>交錯螺旋齒輪</p> 
<p>等比傘形齒輪</p> 	<p>蝸桿及蝸輪</p> 	<p>內齒輪</p> 

齒輪可依軸心的方向大致分為三種類型

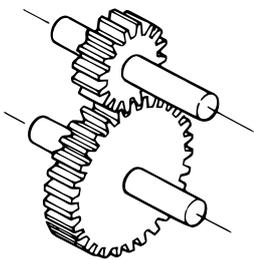
1) 平行軸 (Parallel shafts) 	正齒輪 (Spur gears)		MSG(A,B),SSG(S),SS,SSA,SSY,SSAY,LS,SUS,SUSA,SUSL,DSL,NSU,PU,PS,PSA,DS,BSS,SSCPG(S),SSCP,SUSCP,SSR,KTSCP
	螺旋齒輪 (Helical gears)		KHG,SH
	齒條 (Rack)		KRG(F),KRGD,SRGF,KRF,SR(F),SRFD,SUR(F),SURFD,BSR,DR,PR(F),SRO,SROS,SURO,KRHG(F),SRH,KRG(F)(D),SRCP(F)(D),KRCPF,SURCPF(D),SRCP,FRCP
	內齒輪 (Internal gears)		SI,SIR
2) 相交軸 (Intersection shafts) 	等比傘形齒輪 (Miter gears)		MMSG,SMSG,MMSA(B),MMS,SMS,SMA(B)(C),MM,LM,SM,SAM,SUM,PM,DM
	傘形齒輪 (Straight bevel gears)		SB,CB,SBY,SUB,PB,DB
	彎齒傘形齒輪 (Spiral bevel gears)		MBSG,SBSG,MBSA(B),SBS,KSP
3) 交錯軸 (Non-parallel and non-intersection shafts) 	交錯螺旋齒輪 (Screw gears)		AN,SN,PN,SUN
	蝸桿 (Worms)		KWGDL(S),KWG,SWG,SW,SUW
	蝸輪 (Worm gears, Worm wheels)		AGDL,AGF,AG,PG,CG,BG
4) 其他 	漸開線栓槽軸及栓槽軸套 (Spline shafts & Spline bushings)		SV,SVI
	齒輪聯軸器 (Gear couplings)		GC,GC-I
	棘齒輪及棘齒爪 (Ratchets & Pawls)		SRT,SRT-C

(1) — 2

齒輪概述



正齒輪, Spur gears



齒筋為與軸平行的直線，在平行的兩軸間傳遞軸之回轉運動者為正齒輪。

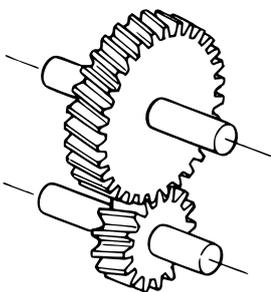
[特點]

- (1) 製作最為簡單。
- (2) 沒有軸方向分力（軸向推力）的發生。
- (3) 可獲得高精度的產品。
- (4) 最被廣泛使用的齒輪。

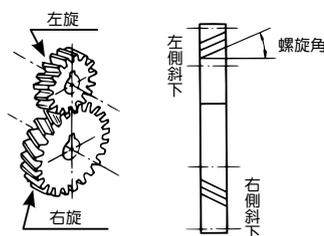
[用途]

用於一般的動力傳達

螺旋齒輪, Helical gears



齒筋方向不平行於軸的方向，在平行的兩軸間傳遞軸之回轉運動者為螺旋齒輪。



由齒筋方向來看
左側斜下者稱為左旋
右側斜下者稱為右旋

一對螺旋齒輪，必須要在螺旋角相同但旋向相反的情形下才能咬合運轉。

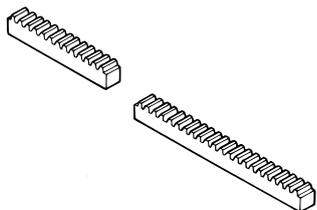
[特點]

- (1) 比起正齒輪強度要來得大些。
- (2) 振動及噪音小。
- (3) 缺點為會產生軸方向分力（軸向推力）。

[用途]

一般的傳動裝置、汽車、減速機等。

齒條, Racks



用於回轉運動與直線運動間之轉換。

可視為當正齒輪或螺旋齒輪其半徑為無限大時之齒輪的一段。
經端面加工的 SRF 齒條（精修成半齒距）可銜接加長使用。

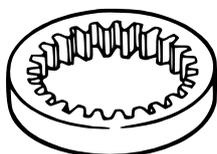
〔特點〕

用於回轉運動轉換為直線運動的場合，或直線運動轉換為回轉運動的場合。

〔用途〕

廣泛使用在工作機械、印刷機械及機器人等各種自動裝置、搬運機械上。

內齒輪, Internal gears



齒位於圓筒或圓環內側之齒輪是為內齒輪。
能與內齒輪咬合的齒輪，只有外齒輪。

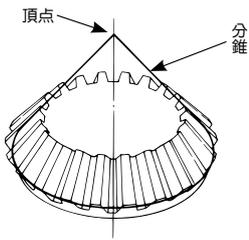
〔特點〕

- (1) 外齒輪間的相互咬合，其間兩軸的回轉方向必定是相反的，而內齒輪和外齒輪間的相互咬合，其間兩軸的回轉方向則是相同的。
- (2) 大齒輪（內齒輪）與小齒輪（外齒輪）之齒數差有一定的限制。
- (3) 一般而言是由小齒輪（外齒輪）帶動大齒輪（內齒輪）來傳動。
- (4) 由於構造簡單，可達到小型化的目的。

〔用途〕

可使用於高減速比的行星齒輪裝置及離合器等裝置上。

傘形齒輪, Bevel gears



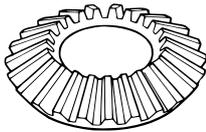
在相交的兩軸之間傳動的圓錐型齒輪。

於相交的兩軸間傳遞回轉運動的圓錐形齒輪者是以圓錐為節面，在此節圓錐面上切刻出齒的齒輪。

傘形齒輪又以齒筋的不同分為兩大類

- 1) 直齒傘形齒輪
- 2) 彎齒傘形齒輪

1) 直齒傘形齒輪, Straight bevel gears



齒筋為直線並全部朝向圓錐頂點。

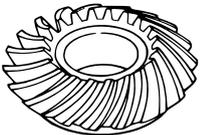
〔特點〕

- (1) 製作較為簡單。 (2) 傘形齒輪的減速範圍大約以 1:5 為上限。

〔用途〕

工作母機、印刷機等，特別是適用在差動裝置（差速裝置）上。

2) 彎齒傘形齒輪, Spiral bevel gears



齒筋為曲線的傘形齒輪。

由於齒承的面積能夠較大，因此強度提高，而且是一種轉動時較為安靜的齒輪。

〔特點〕

- (1) 較直齒傘形齒輪的齒承面積，強度、壽命皆來得大。
- (2) 減速比也可以比直齒傘形齒輪來得大些。
- (3) 噪音較小，傳動效率也比較好。
- (4) 但製作上比較困難。

〔用途〕

適用於高負荷及高速傳動的場合。常被用在汽車，卡車等車輛及船舶之最終減速裝置上。

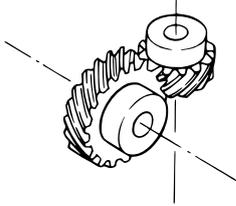
等比傘形齒輪, Miter gears



在直交的兩軸間，使用一對齒數相同的傘形齒輪，做轉速 1:1 的傳動，此齒輪特稱為等比傘形齒輪 (Miter gears)。

僅能被使用於改變方向且無減速需求的傳動上。

交錯螺旋齒輪, Screw gears



將螺旋齒輪使用在交錯軸上時的齒輪稱之為交錯螺旋齒輪。在工作軸心既不平行也不相交的傳動場合使用之。

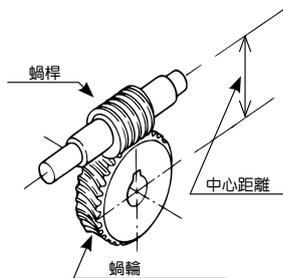
[特點]

- (1) 除了減速的場合外,於增速的情形下也可使用。
- (2) 交錯螺旋齒輪的傳動,在齒面接觸為點接觸,因此比較容易磨耗
- (3) 不適用於大馬力的傳動。

[用途]

使用在汽車的驅動裝置及自動機械等複雜回轉運動上。

蝸桿及蝸輪, Worms & Worm gears



齒數較少呈螺旋狀的一方稱之為蝸桿,而和蝸桿相咬合的另一方稱之為蝸輪。

使用在主動軸與被動軸既不平行也不相交,但其垂直投影為相互垂直之軸間的運動傳達。

[特點]

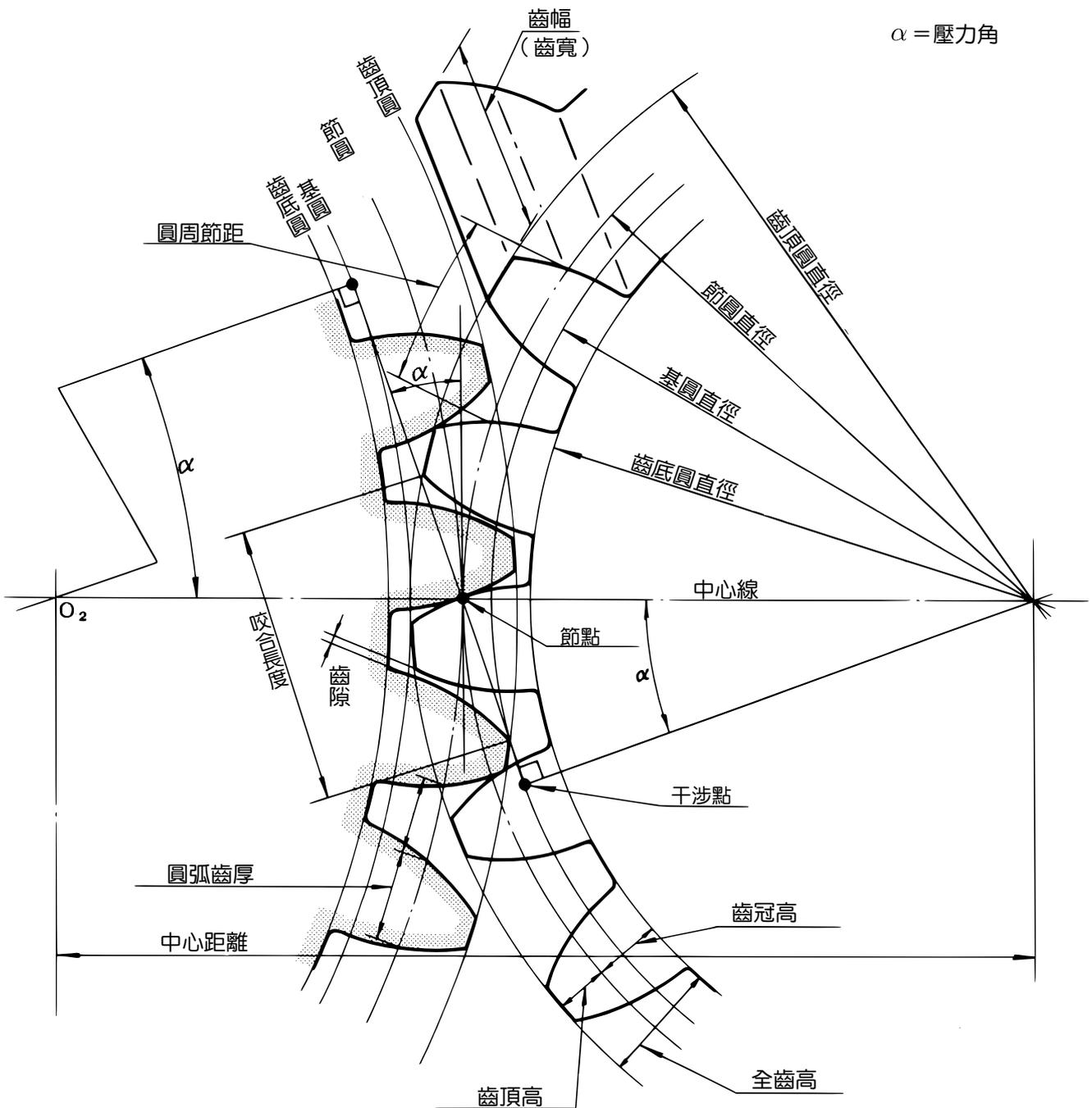
- (1) 以一段減速即可獲得高的減速比。
- (2) 咬合傳動圓滑安靜。
- (3) 由於蝸輪齒輪有自鎖作用,較難由蝸輪帶動蝸桿,因此通常只使用在蝸桿帶動蝸輪的減速場合,較少使用在由蝸輪帶動蝸桿的增速場合。

[用途]

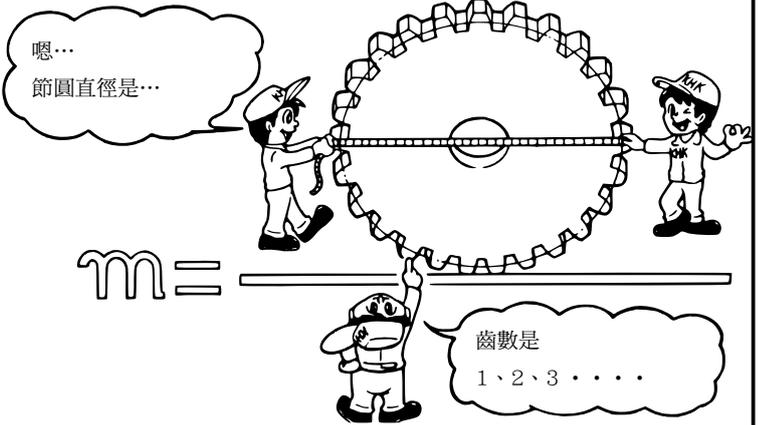
減速裝置,利用自鎖作用之優點可用在防止逆轉之齒輪裝置上,工作母機,分度裝置,鏈條吊具(Chain block),攜帶式發電機。

(1) — 3

齒輪各部位的名稱



齒的大小以模數 m(Module) 來表示



如上圖所示，齒的大小是根據模數 m 來決定的。

以公式表示則為：
$$m = \frac{d}{z} \quad \left(\text{模數} = \frac{\text{節圓直徑}}{\text{齒數}} \right)$$

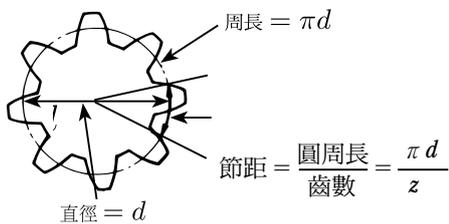
與模數的關係如下所示。

節圓直徑 $d = mz$ (節圓直徑 = 模數 × 齒數)

齒數 $z = \frac{d}{m}$ (齒數 = $\frac{\text{節圓直徑}}{\text{模數}}$)

圓周節距 $p = \pi m$ (圓周節距 = $\pi \times \text{模數}$)

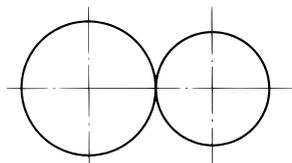
那，節距是什麼意思？



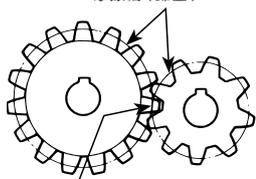
將圓周長以齒數等分之，所得的長度即為節距，簡單的說就是相鄰兩齒間的距離。也就是說：

$$\left(\text{節距} = \frac{\text{圓周長} (\pi d)}{\text{齒數} (z)} \right)$$

這裡所說的節圓又指的是什麼？



左圖為一對摩擦輪，如果不加以大的壓力，則無法傳遞回轉運動。



今假想一對摩擦輪 (圓)，在輪面外長出凹凸的齒並令其相互嵌合，這就是齒輪的原型。

此二摩擦輪的相切外緣稱為此二齒輪的節圓 (假想的圓)，因此兩個能互相咬合的齒輪，其節圓 (假想的圓) 必定相切於一點。

[整理]

- (1) 齒的大小是以模數 m 來表示。
- (2) 齒輪為能相互咬合運轉，必須是要在此兩個齒輪的法線節距相等的情形下才能成立。

習題

正齒輪的計算例練習

已知： 模數 $m = 3$ 小齒輪齒數 $z_1 = 15$ 大齒輪齒數 $z_2 = 55$

(1) 節圓直徑的計算

$$\text{齒數 } z \times \text{模數 } m = \begin{cases} z_1 \cdots \cdots \square \times \square = \square \\ z_2 \cdots \cdots \square \times \square = \square \end{cases}$$

(2) 齒頂圓的計算

$$\text{節圓直徑 } d + 2 \text{ 倍的模數 } m = \begin{cases} z_1 \cdots \cdots \square + 2 \times \square = \square \\ z_2 \cdots \cdots \square + 2 \times \square = \square \end{cases}$$

(3) 中心距離的計算

$$\text{節圓直徑之和的一半} \cdots \cdots \frac{\square + \square}{\square} = \square$$

螺旋齒輪的計算例練習

已知： 模數 $m = 3$ 小齒輪齒數 $z_1 = 15$ 大齒輪齒數 $z_2 = 55$ 螺旋角 $\beta_0 = 16^\circ 15'$ ※ $\cos \beta_0 = 0.96$

(1) 節圓直徑的計算

$$\begin{cases} z_1 \cdots \cdots \frac{\square \times \square}{\square} = \square \\ z_2 \cdots \cdots \frac{\square \times \square}{\square} = \square \end{cases}$$

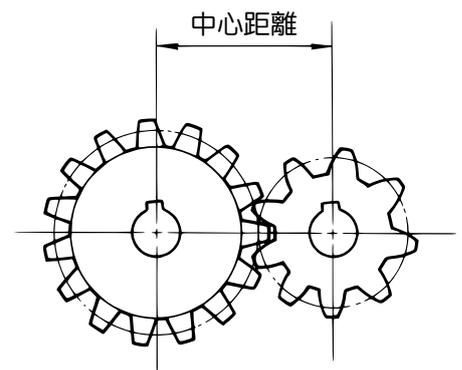
(2) 齒頂圓的計算

$$z_1 \cdots \cdots \square + 2 \times \square = \square$$

$$z_2 \cdots \cdots \square + 2 \times \square = \square$$

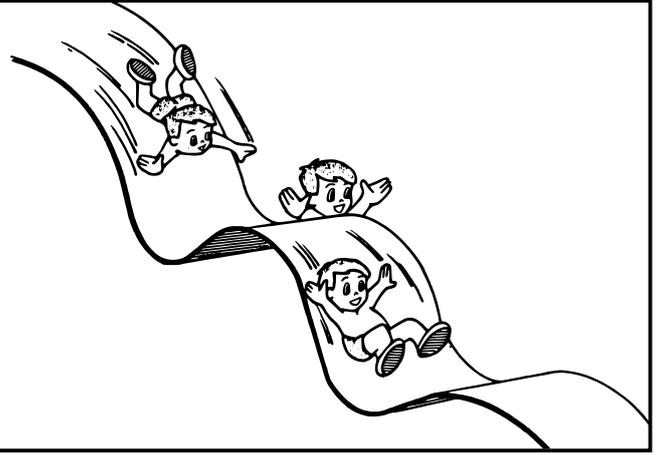
(3) 中心距離的計算

$$\cdots \cdots \frac{\square + \square}{\square} = \square$$



(1) — 4

漸開線齒形



如果齒輪只是於摩擦輪的外緣，取節距長將之等分，僅以任意凹凸形狀之齒安置於其上並將之嵌合，而不考慮齒形的話，則會發生：

- 不只是齒輪的切點會有滑動產生（亦即切點會變動，造成轉速比的不穩定）
- 且此切點的移動速度，時快時慢
- 因此也會產生振動及噪音

這種齒形是無法作為齒輪之齒形來使用的。

齒的傳動，如果不是以安靜的、圓滑的傳達是不行的。由於這個需求才產生了漸開線齒形。

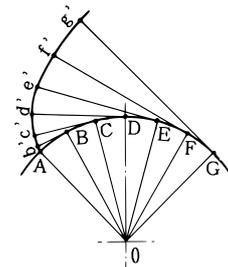
漸開線齒形中所使用的漸開線曲線，所為何物？



取一條細線與一圓筒，將圓筒置於一張白紙上。今將細線一端固定於圓筒上，另一端綁上一枝鉛筆，並將細線纏繞在圓筒上。

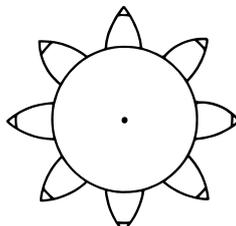
現在，手握鉛筆於細線張緊的狀態下，將線以反纏繞的方向解開卸除。此時於白紙上所繪出的軌跡（曲線）稱為漸開線曲線（Involute curve），簡稱為漸開線（Involute）。

而圓筒之外緣（一個圓，是漸開線曲線的起始圓），則稱為基礎圓（Base circle, 簡稱為基圓）。



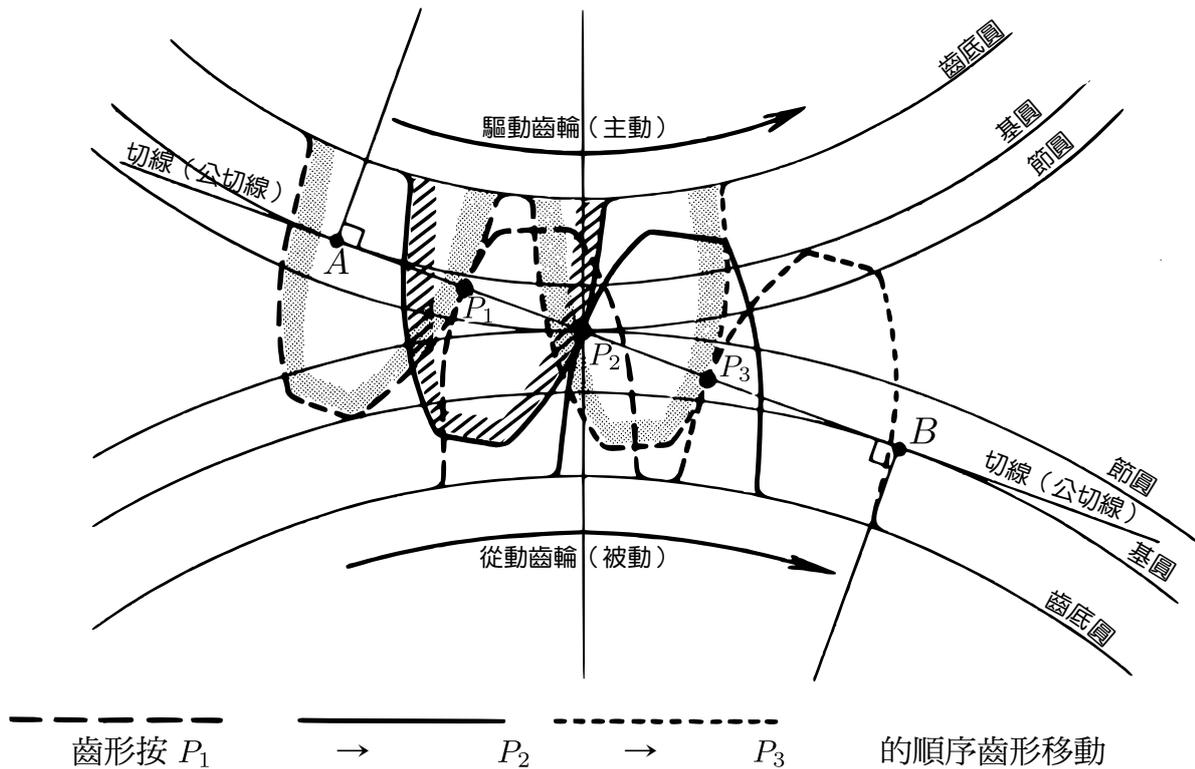
今準此方法，先於基圓外繪出 8 條等間距的漸開線。再將細線反向纏繞，可繪出另 8 條相反方向的漸開線。將兩方向漸開線交點以外的曲線擦除，所剩下的曲線就是於基圓外長出 8 個齒的齒輪雛形了。

分別解開由兩方向纏繞的細線，所繪製出的 16 條（每一方向上有 8 條）漸開線。



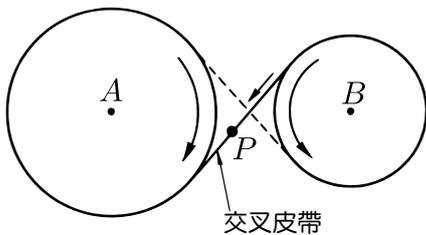
漸開線齒形的齒輪

下圖為兩個擁有漸開線齒形的齒輪，在相互咬合下傳達回轉運動時的情形。



當齒輪傳動時，兩漸開線曲線齒面上的切點（接觸點） P 的軌跡，由 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ 的順序移動。怎麼樣？這切點（接觸點） P 的移動是不是很圓滑、很平順呢？

不僅如此，切點（接觸點） P 的移動軌跡恰好落在兩基圓的公切線上，從接觸開始到結束不曾脫離，又由於運轉方向上的公切線也只有這一條，這表示漸開線齒形的齒輪，能穩定的傳達兩齒輪間的回轉運動。



前述齒面接觸點 P 的運動情形，就如同在兩個圓板的外緣掛上交叉皮帶，以交叉皮帶為媒介來傳達此兩圓板的回轉，皮帶上的一點 P 會隨著驅動圓板的轉動而跟著移動，進而帶動被動圓板的回轉。而此兩圓板的回轉方向相反。

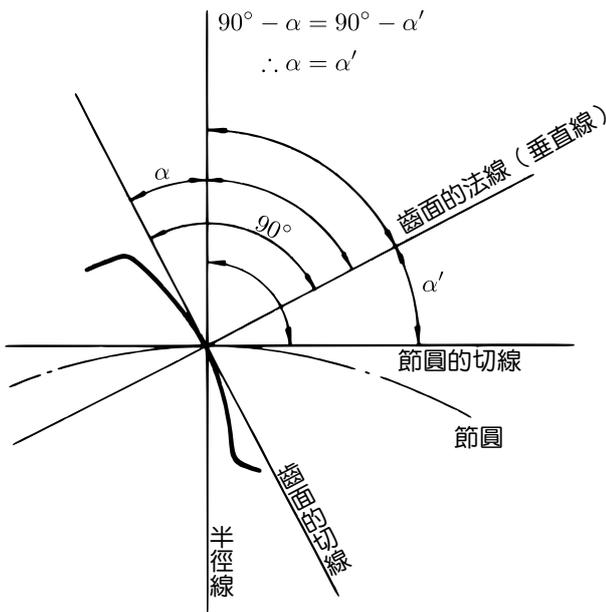
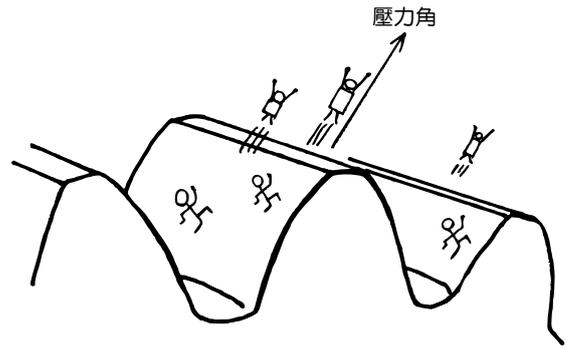
總之，若以漸開線曲線作為齒輪的齒形時，則兩齒面的接觸點（兩曲線的切點）會以圓滑平順近似滾動的擦動運動來傳達兩齒輪間的轉動。

〔特點〕

- (1) 由於齒面（齒形）是以同一曲線所構成，因此容許中心距離在少許誤差的情形下也能正常咬合運轉。
- (2) 由於漸開線齒形容易製作（創生法），因此價格也較其他齒形來得便宜。
- (3) 由於漸開線齒輪的齒根部較擺線齒輪來得肥大，因此強度也十分充足。
- (4) 漸開線齒形是目前所使用齒形的代表。
- (5) 不可不知的漸開線函數（Involute function）： $\text{inv } \alpha = \tan \alpha - \alpha$ ，其中 α 表壓力角，以徑度（弧度）表示。漸開線函數常使用在非標準齒輪（轉位齒輪）之計算上。漸開線函數可利用計算機計算，或透過漸開線函數表查得其值。



(1) — 5 壓力角



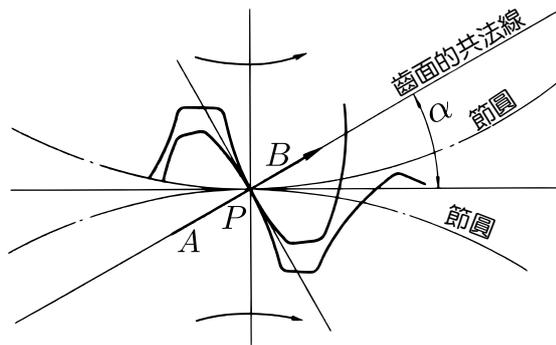
講到齒輪，一定會伴隨提到「壓力角」。

JIS 對壓力角定義為：「於齒面上的一點（通常指的是節點，節圓與齒面的交點），通過其上的半徑線與齒面（齒形）切線間的夾角角度，稱為壓力角」。

也就是說， α 為壓力角（如圖所示）。

如圖所示，由於 $\alpha = \alpha'$ ，所以 α' 也為壓力角。

於節點上，就咬合下的 A 齒與 B 齒之狀態來看：A 齒在節點上對 B 齒施加作用力。

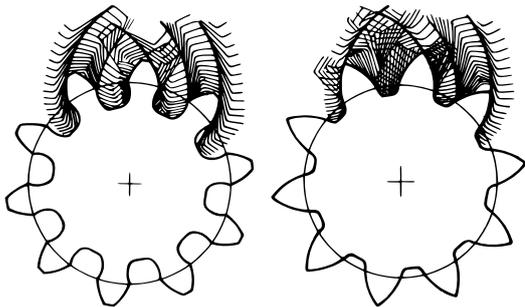


此時的推壓力量（稱為作用力）會在 A 齒及 B 齒的共法線方向上移動。總之，共法線為力的傳動方向，換句話說，就是壓力的賦予方向，而 α 則為壓力角。

〔註〕

以前也有使用 14.5° 為壓力角的情形，不過近來則以 20° 壓力角較為普遍。

(1) — 6

干涉、下切及
轉位齒輪

有下切的齒輪

無下切（轉位後）的齒輪

少齒數的齒輪在切齒時齒的根部會被刀具挖出凹槽來，讓齒的根部變細，這就是下切現象。為防止下切現象的發生，除了增大壓力角外，採用「轉位（Profile shifted）」的方式也能防止下切的發生。另外，為配合新的齒輪的中心距離，也能利用轉位的導入來達成。

實際的情形會是如何，現在以下例來計算看看。

$$m = 3 \quad z_1 = 10 \quad z_2 = 60 \quad \alpha = 20^\circ$$

為使 $z_1 = 10$ 時不發生下切，我們取 $x_1 = +0.5$ (x 稱為轉位係數) 之正轉位來看看。

以下為計算過程的簡易表示。

(I) 首先，計算咬合壓力角 α 。

(II) 接著，求取中心距離增加係數 y 。

$$\begin{aligned} \text{inv } \alpha' &= 2 \tan \alpha \left(\frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} \right) + \text{inv } \alpha \\ &= 2 \times 0.36397 \left(\frac{0.5}{10 + 20} \right) + 0.014904 \\ &= 0.020104 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{z_1 + z_2}{2} \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} - 1 \right) \\ &= \frac{10 + 60}{2} \left(\frac{0.93969}{0.92707} - 1 \right) \\ &= 0.476447 \end{aligned}$$

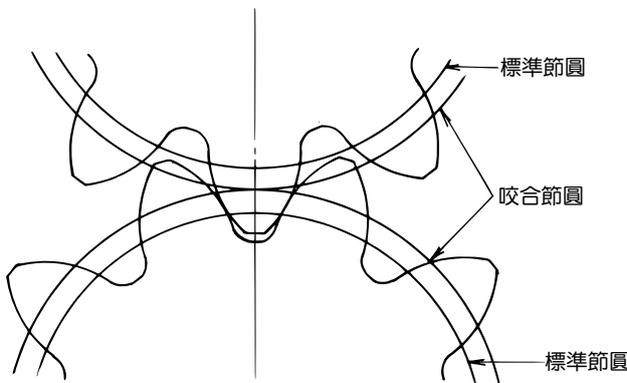
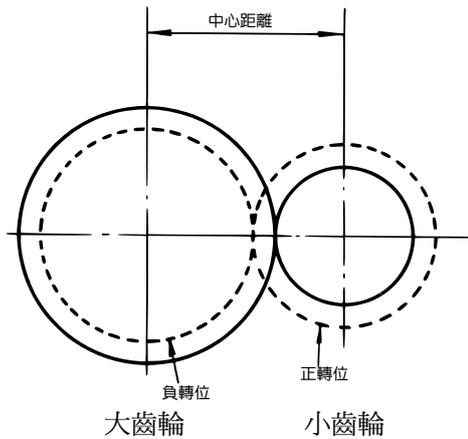
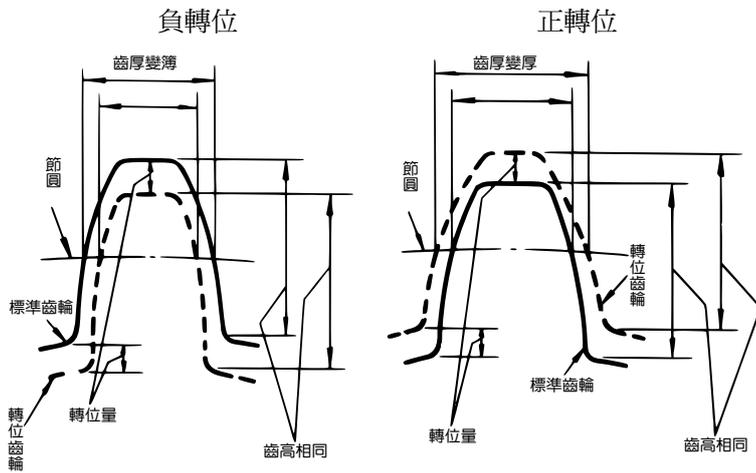
反求咬合壓力角，則 $\alpha = 22^\circ 01' 03''$

(III) 因此可算得中心距離 a 。

$$\begin{aligned} a &= \left(\frac{z_1 + z_2}{2} + y \right) m \\ &= \left(\frac{10 + 60}{2} + 0.4764 \right) 3 \\ &= 106.43 \end{aligned}$$

(IV) 最後計算小齒輪的外徑 d_a 。

$$\begin{aligned} d_{a1} &= \{ z_1 + 2(1 + y - x_2) \} m \\ &= \{ 10 + 2(1.4764 - 0) \} 3 \\ &= 38.86 \end{aligned}$$



因為有兩個節圓在，因此隨著這兩個節圓會產生兩個壓力角，換句話說，會有標準壓力角和咬合壓力角兩個不同的壓力角產生。這是轉位齒輪在設計時重要的因素。

〔特點〕

- (1) 因少齒數所引起的下切得以防止。
- (2) 可經由轉位得到希望的中心距離。
- (3) 在大小齒數相差太多（齒數比太高）的一對齒輪中：
可對容易磨耗的小齒輪施以正轉位來增加齒厚，
對大齒輪一方則施以負轉位，讓齒厚變薄使這兩個齒輪得到相當一致的壽命。

轉位齒輪可分為正轉位及負轉位兩種。

以相同齒高而言，正轉位時齒厚會變得較厚，而轉位時齒厚會變得較薄。

遇到兩個齒輪的中心距離不能改變的情形時，將小齒輪施以正轉位（避免下切）、大齒輪施以負轉位，此時中心距離會因為小、大齒輪的正、負轉位量之絕對值大小相同，而維持原中心距離不會改變。

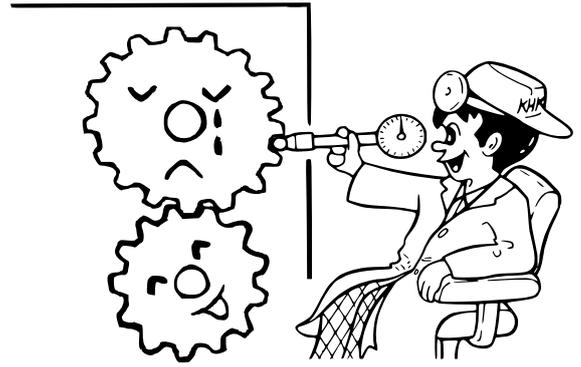
在轉位齒輪的狀態下，會有兩個節圓產生。

第一個節圓為轉位施做前的標準齒輪之節圓，也就是標準節圓，也是切齒時的切齒節圓（太神奇了，無論是負轉位、無轉位或是正轉位齒輪，在切削時都是以標準節圓做為切削節圓來切削的）。

另一個節圓為轉位後，齒輪咬合時之假想摩擦輪(圓)，也就是咬合節圓。

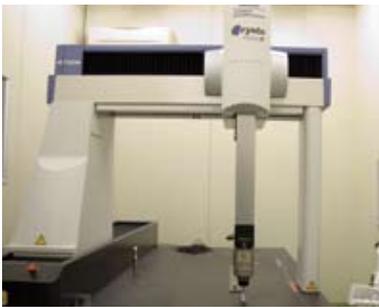
(1) — 7

齒輪精度與檢測



KHK 小原齒車工業株式會社所使用的齒輪檢測機如下：

- (1) 齒輪測定機……………測定齒輪的齒形、齒筋、節距、齒溝偏擺等精度
(大阪精密機械、Tokyo Technical Instruments Inc.)
- (2) 三次元測定機……………可量測齒條節距的精度 (Mitutoyo Corporation、Carl Zeiss)
- (3) 咬合試驗機……………量測齒輪的咬合精度 (Tokyo Technical Instruments Inc.)



三次元測定機



齒輪測定機

齒輪於製作過程中所使用的檢測儀器，於下列說明。

- (1) 游標卡尺、內外徑用之千分表、缸徑量規……………用於外徑、孔徑、齒厚等的量測
- (2) 偏心測定機……………用於側面偏擺及節圓偏擺（偏心）之量測
- (3) 硬度計……………用於材料及齒輪硬度的檢測
- (4) 齒厚測定用千分表……………跨齒厚的量測
- (5) 齒形齒厚卡尺……………用於蝸桿齒厚的量測
- (6) 蝸桿蝸輪之齒承檢查機……………用於蝸輪蝸桿之齒承及齒隙之量測
- (7) 傘形齒輪齒承檢查機……………用於傘形齒輪之齒承及齒隙之量測



游標卡尺



齒厚測定用千分表



缸徑量規

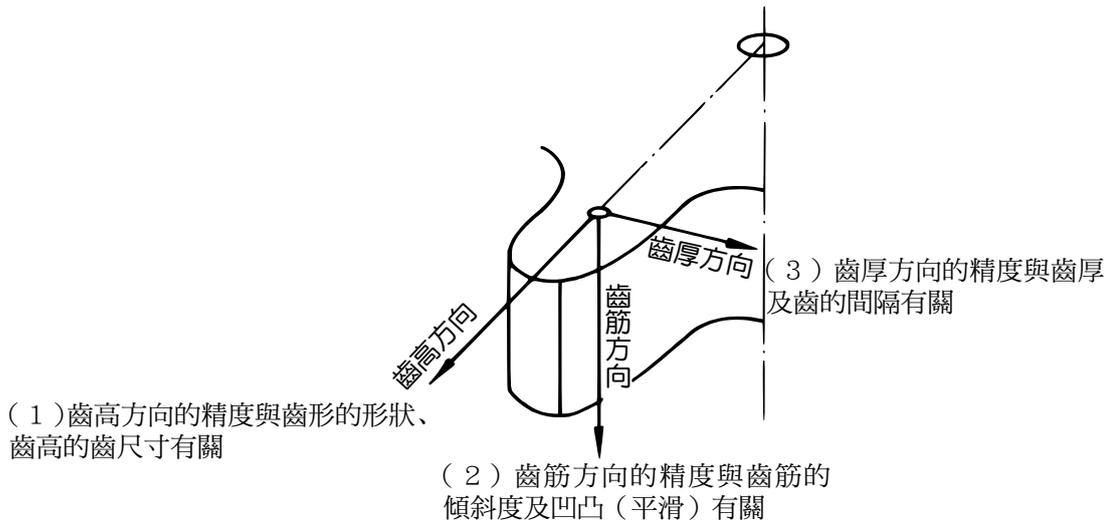


齒形齒厚卡尺



偏心測定機

《齒輪的精度是立體的喔！》

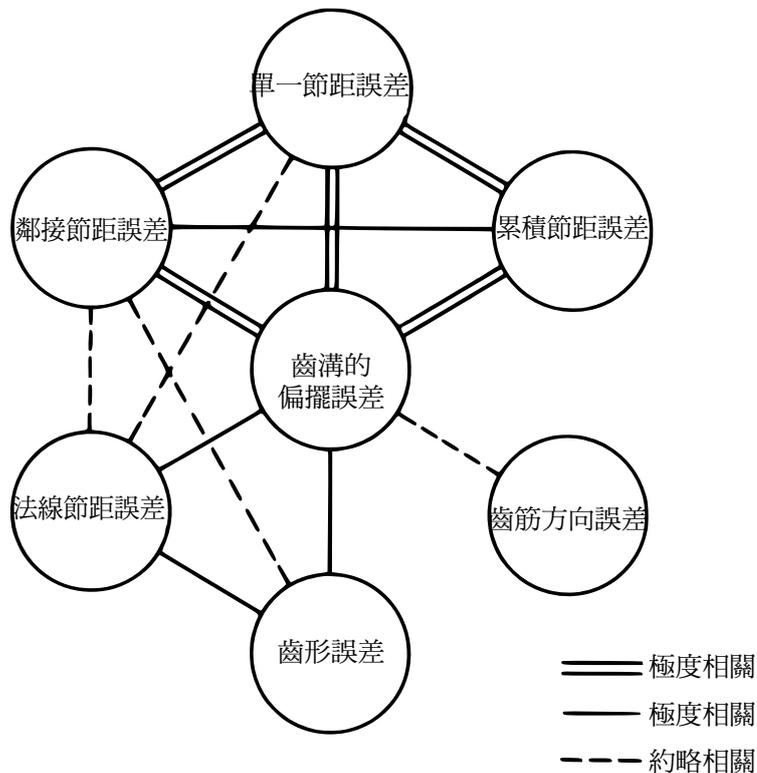


要決定齒輪的精度，必須要對上述立體上三個方向的尺寸來量測。而根據測定方向來分，所使用的量測儀器（機）分為：

- (1) 齒高方向的測量……齒輪測定機、三次元測定機
- (2) 齒筋方向的測量……齒輪測定機、三次元測定機
- (3) 齒厚方向的測定……齒厚測定用千分表、齒形齒厚卡尺、跨梢、跨球千分表

另外、齒輪的精度有下列相關的關係存在，其中尤以齒溝的偏擺與其他的誤差的關係相關性強，而各種節距間之相關度也高。

《齒輪精度的特徵》



個別誤差之關係圖（以研磨齒輪為例）

(1) — 8

齒輪的材料
及熱處理

〈 表面硬化鋼 〉

表面硬化鋼是指低碳合金鋼而言。對含碳量在 0.15% ~ 0.20% 之間的鋼材添加 Ni、Cr、Mo、Mn 等合金成分，是為低碳合金鋼。由於是低含碳量的關係，無法使用一般的熱處理淬火方法（高周波、火焰）加硬，必須先經過滲碳的手續對工作物的表面加入適當的碳份後，才能使用（或合併）一般的淬火方法加硬之。

日本國內常用的表面硬化鋼有如下幾種，今以 JIS 記號及化學成分說明。

JIS 記號	化學成分 %							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SCr420	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.90	<0.030	<0.030	-	0.90~1.20	-
SCM415	0.13~0.18	〃	〃	〃	〃	-	〃	0.15~0.25
SCM420	0.18~0.23	〃	〃	〃	〃	-	〃	〃
SNC815	0.12~0.18	〃	0.35~0.65	〃	〃	3.00~3.50	0.6~1.00	-
SNCM220	0.17~0.23	〃	0.60~0.90	〃	〃	0.40~0.70	0.40~0.60	0.15~0.25

〈 鋁青銅鑄造物 〉

種類	記號	化學成分 %						抗張試驗		硬度試驗	使用例
		Cu	Al	Fe	Ni	Mn	雜質	抗張強度 N/mm ²	延伸	HB 10/1000	
鋁青銅鑄造物 第2種	CAC702	80.0 ~ 88.0	8.0~ 10.5	2.5~ 5.0	1.0~ 3.0	<1.5	>0.5	>490	>20	>120	適用於對強度、耐腐蝕性、耐磨耗性有需要的地方，如船用小型螺旋槳、齒輪、軸承、軸套、開關閥、渦輪葉片等地方適用。

〈 青銅鑄造物 〉

種類	記號	化學成分 %					抗張試驗		使用例
		Cu	Sn	Zn	Pb	雜質	抗張強度 N/mm ²	伸長率	
連鑄青銅 第6種	CAC406C	83.0~87.0	4.0~6.0	4.0~6.0	4.0~6.0	>2.0	>245	>15	耐壓性、耐磨耗性、被削性、鑄造性良好，適用於一般的開關閥頭機械零件等地方。

〈 機 械 構 造 用 碳 鋼 〉

最為普遍的材料，因此小原齒車工業株式會社這採用種材料的產品種類最多。可使用高周波熱處理。

JIS 記號	化學成分 %				
	C	Si	Mn	P	S
S43C	0.40~0.46	0.15~0.35	0.6~0.90	<0.030	<0.035
S45C	0.42~0.48	〃	〃	〃	〃
S48C	0.45~0.51	〃	〃	〃	〃

〈 鉻 鉬 合 金 鋼 〉

使用淬火、回火、高周波淬火等熱處理。

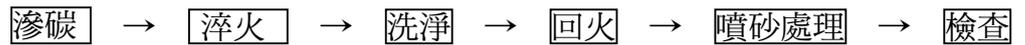
種類	JIS 記號	化學成分 %						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
鉻鉬合金鋼第3種	SCM435	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.90	<0.030	<0.030	0.90~1.20	0.15~0.30
鉻鉬合金鋼第4種	SCM440	0.38~0.43	〃	〃	〃	〃	〃	〃

〈 熱 處 理 〉

對齒的表面予以加硬處理，以增加齒輪的強度。

方法有許多種，今將較具代表性的兩種介紹如下。

滲碳熱處理



〔方法〕

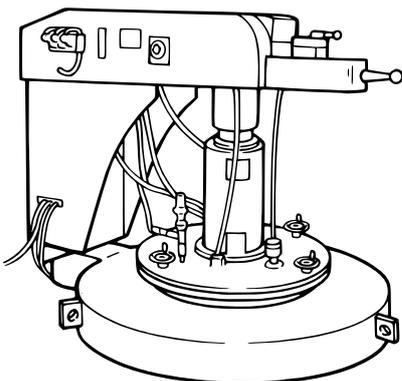
- 在日本通常以氣體 (CO₂) 滲碳的方法處理滲碳的步驟。
- 表面硬度………55 ~ 60HRC
- 硬化層深度………1.0 mm左右 (負荷較大的齒輪會採用較厚的硬化層)

將低碳合金鋼置於滲碳的環境中，加熱至變態點以上並保持一段時間，讓碳份滲入至合金鋼的表面內。當滲入合金鋼表面的碳份百分比升高至約與 S45C 相等的程度 (中碳) 時，便能予以淬火，將合金鋼表面硬化。

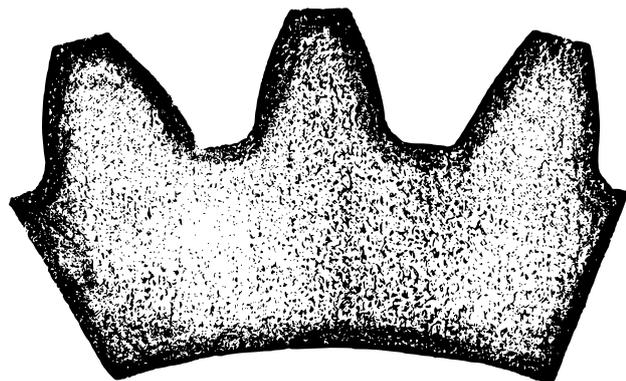
〔特點〕

靠近材料中心的部分會因為碳份沒有滲入而質地較軟，因此變成表面硬芯部富有韌性的材質。以材料來舉例，SCM415 等低碳合金材料常使用滲碳淬火熱處理。

《滲碳熱處理爐》



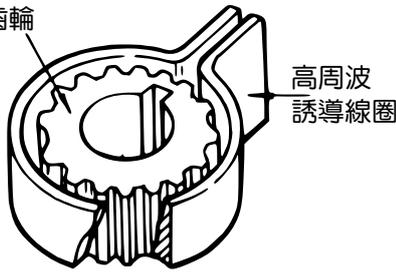
《齒輪的硬化層》



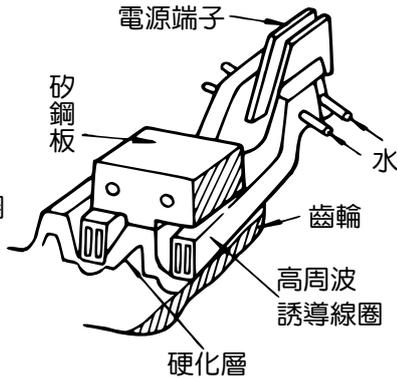
高周波淬火

[方法]

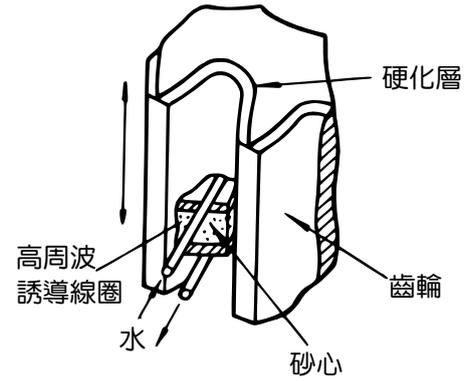
齒輪



(a) 全齒輪一次淬火



(b) 一次淬火一齒



(c) 連續淬火

調質材 → 淬火 → 回火

[特點]

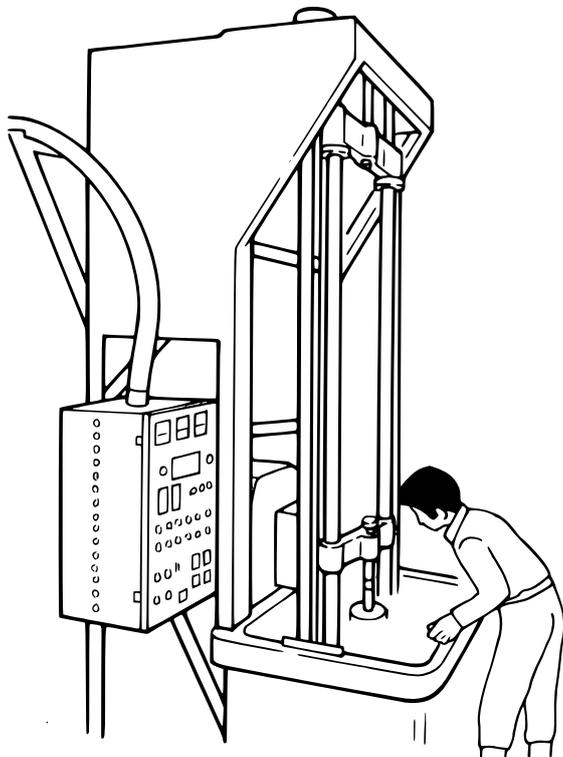
只有被感應圈所加熱的周圍產生硬化。

依被熱處理物的形狀不同，應使用不同的高周波線圈，不過較不能令人忍受的是，容易產生龜裂及變形。

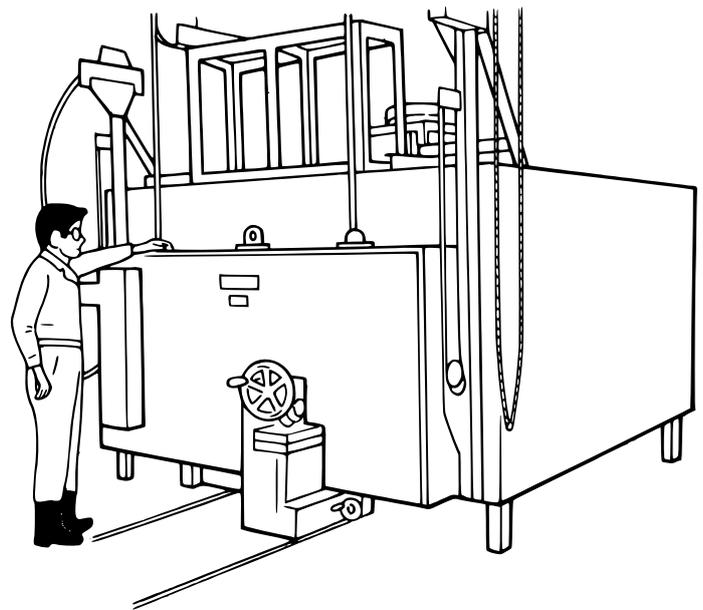
硫磺、磷等雜質成分也有助於防止淬火的龜裂。又碳含量通常在 0.55% 以下時，可不必擔心淬火龜裂的發生。

以材料來舉例，S35C、SCM435、SCM440 等中碳材料適合高周波淬火熱處理。

《淬火裝置》



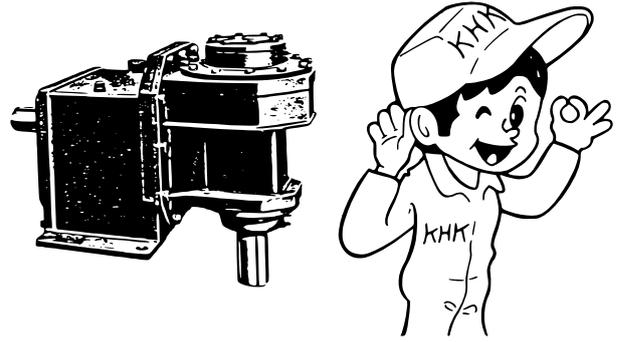
《回火爐》



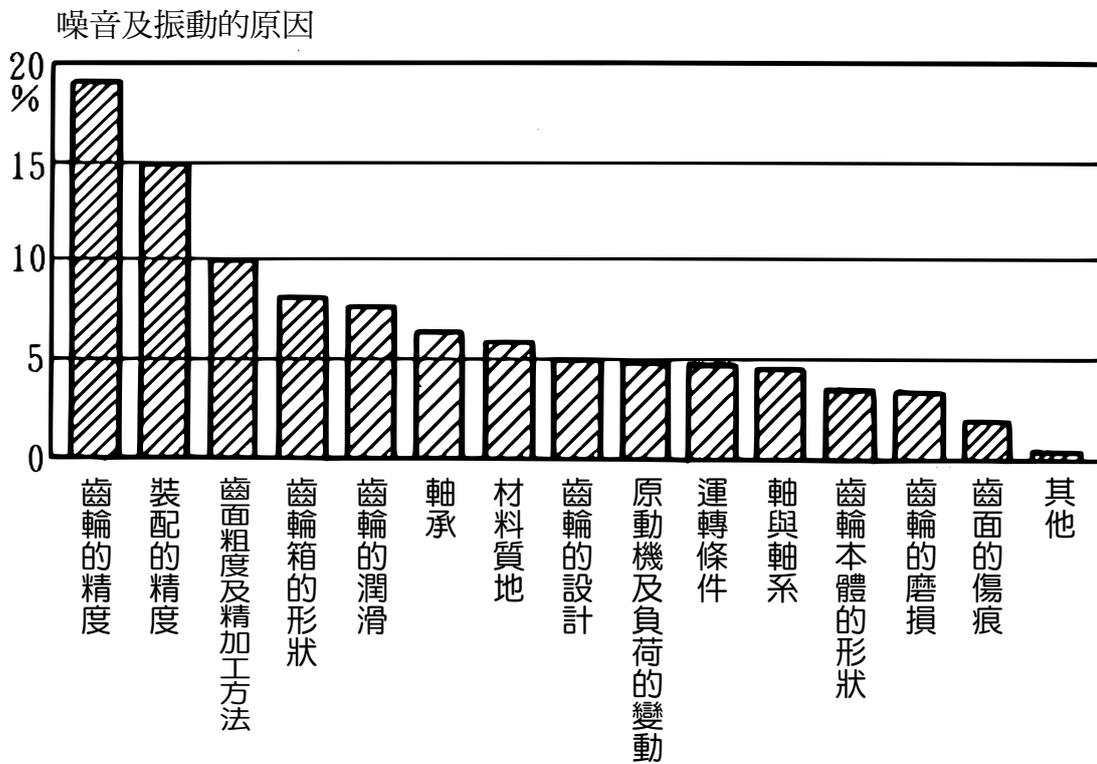
(1) — 9

齒輪的噪音

ス — ス —



下圖是汽車用齒輪、工作母機、減速機等製造公司對齒輪的振動與噪音之發生原因所做調查結果的分析整理。



依原因別來看，可歸納成下列四大類。

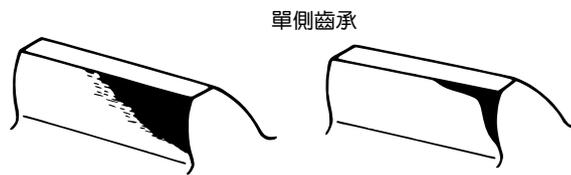
- 設計上的原因……………佔 35%
- 製作上的原因……………佔 30%
- 使用方法的原因……………佔 20%
- 裝配作業的不適當……………佔 15%

〔原因〕(會產生噪音的相關原因)

- 齒承情形不良
- 齒形誤差大
- 齒面精加工的程度不良
- 回轉速度過高
- 因齒輪箱所產生的共鳴及共振會將聲音及振動放大
- 由熱處理變形所造成的
- 節距誤差大
- 齒輪軸所傳達之力矩有脈動現象
- 中心距離過小
- 由滾珠軸承或滾柱軸承所發出的聲響或振動

〔對策〕(如何製造出運轉安靜的齒輪)

- 製造出正確的節距，減少節距誤差的產生。
- 以正確的漸開線曲線的賦予齒形。
- 對齒實施削鼓形加工。
- 利用齒的彎曲變形會造成節距誤差的特性，整修被動齒輪的齒冠，使之與主動齒輪的齒跟部不在第一時間直皆碰觸，避免噪音的產生。
- 增加同時咬合的齒數對數。
- 對齒輪箱上的孔給予正確的加工，使之不產生不必要的振動，加上使用能吸收振動的設計。
- 使齒輪箱的外形盡量接近圓形。
- 使用能吸收衝擊的齒輪軸將振動吸收。
- 齒的四周之毛邊尖角予以倒角加工。
- 裝配時要確認是否會產生單側齒承的情形。



- 在驅動軸與齒輪軸、齒輪軸與次一齒輪軸間之連結，應使用能隔絕振動的可撓性聯軸器。
- 齒冠附近採用齒形整修加工（特別對高速回轉時噪音的降低有幫助）。
- 應採用光滑齒面的精加工及應避免齒面傷痕的發生。

一般而言，對正齒輪及螺旋齒輪能採用齒面研磨精加工是最為理想的。

對傘形齒輪而言，能採用齒面研磨精加工是最為理想的，或者採取對磨的方式，也可降低噪音及振動的發生。

以上資料摘錄自技術評論社 大山政一著「齒輪裝配作業的秘訣」

右圖是「KHK 標準齒輪」噪音實驗之一例。

KHK 標準齒輪噪音實驗之一例 1984 ~ 1985

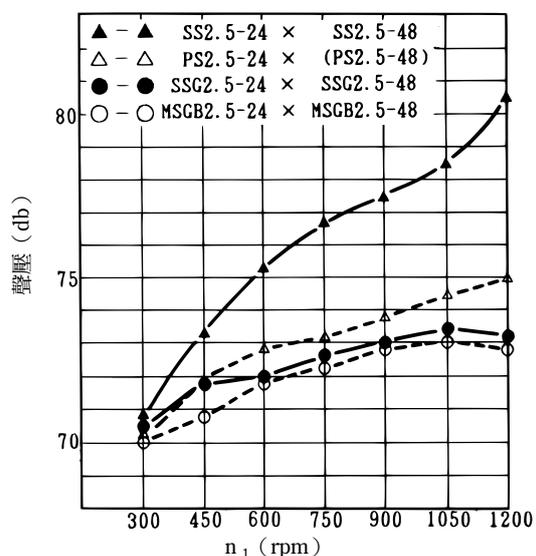
材質

▲—▲：SS2.5-24、SS2.5-48
(S45C 無熱處理)

△—△：PS2.5-24、PS2.5-48
(尼龍樹脂齒輪)

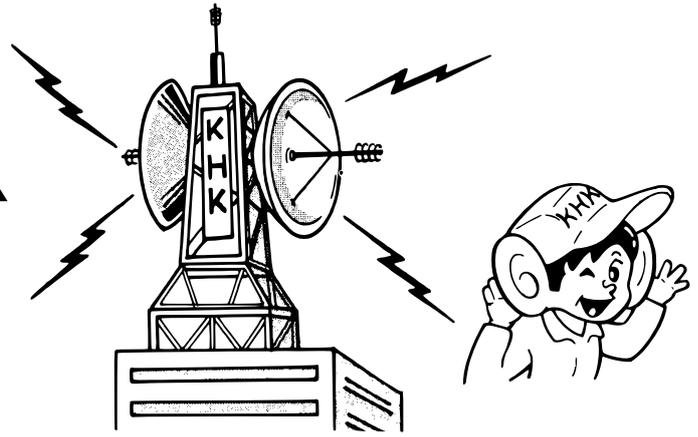
●—●：SSG2.5-24、SSG2.5-48
(S45C 齒部淬火研磨加工)

○—○：MSGB2.5-24、MSGB2.5-48
(SCM415 全面滲碳淬火齒面研磨加工)



(1) — 10

齒輪的 Q & A



Q：哪一種齒輪稱得上是靜音齒輪：

A：齒面經過研磨的高精度齒輪稱得上是靜音齒輪。若單就正齒輪與螺旋齒輪比較，螺旋齒輪因為有正齒輪所沒有的「重疊咬合率」，因此能獲得較正齒輪更安靜的傳動。另外，就材料而言，塑膠齒輪的運轉也較鋼製齒輪安靜許多，不過強度也低了多。

Q：哪一種材料所製成的齒輪防銹性能較高？

A：不銹鋼及塑膠齒輪的防銹性能較高。塑膠齒輪甚至可以在沒有潤滑的情形下使用。不過，在同為塑膠齒輪對之咬合時，由於運轉時所發的熱不易發散，容易導致膨脹變形，因此建議最好為塑膠齒輪與金屬齒輪搭配使用效果較好。

Q：何謂齒隙？

A：齒隙是指一對齒輪咬合時，兩齒輪齒面間的縫隙。齒隙可以吸收齒輪些許的誤差，可以吸收中心距離的誤差，可以吸收運轉時因熱所產生的變形、也可以讓潤滑油得以進入，才不至於在運轉時造成卡死。因此，齒隙是齒輪圓滑運轉的重要關鍵。

Q：可以完全去除齒隙嗎？

A：在 KHK 標準齒輪中，沒有齒隙為零的產品。但是有可將齒隙調整至「最小限度」的產品（請注意不是零而是最小限度，若將齒隙調為零，則後果實難想像），例如，「錐度齒條及錐度齒輪」、「雙導程蝸輪組」等。

Q：經過淬火處理齒輪的強度大約可提高多少？

A：如 SS 正齒輪等材質為 S45C 中碳鋼的產品，在齒面經過高周波淬火後，齒面的面壓強度大約可提高 4 倍，對頻繁使用或長期使用而言，不可謂沒有幫助。美中不足的是在提高面壓強度的同時，齒輪的精度約會下降一個等級。

第 2 部分

齒輪的製造程序

1. 正齒輪
2. 齒條
3. 傘形齒輪
4. 齒輪的生產設備

(2) — 1

正齒輪的製造程序

介紹製造正齒輪產品時較具代表性的製造程序。

材料 (Z)



從材料供應商購入，存放在材料倉庫。
購入的材料長度為 6 公尺。

裁剪 (SW)



利用剪裁機具依需要的長度裁剪。

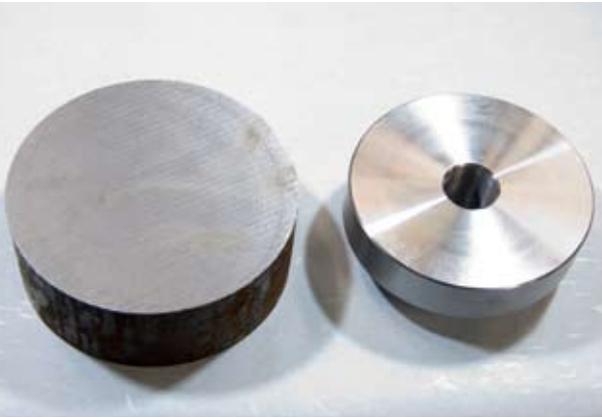
包裝 (C)



一個一個單獨包裝，裝箱出廠。



車製 (L)



裁剪後的粗胚利用車床車削切齒前的毛胚。

切齒 (TH)



將毛胚置於切齒機 (滾齒機) 上切齒。切齒後會留下相當多的毛邊。

表面處理 (Q)



齒輪表面經染黑處理, 提高防銹能力。

去毛邊 (H)



去除毛邊。

(2) — 2

齒條的製造程序

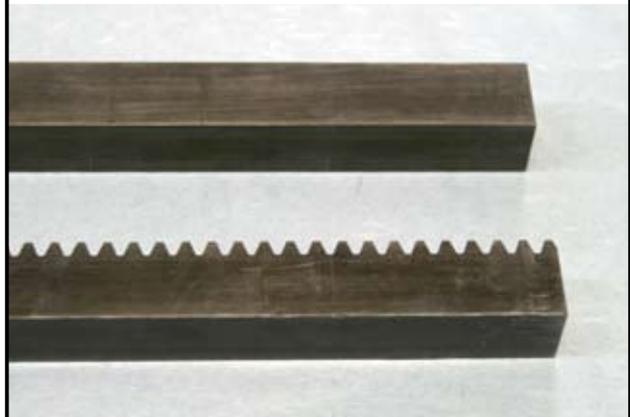
介紹製造齒條產品時較具代表性的製造程序。

材料 (Z)



從材料供應商購入，存放在材料倉庫。

切齒 (TR)



將毛坯置於切齒機（滾齒機）上切齒。
切齒後會留下相當多的毛邊。

包裝 (C)



一個一個單獨包裝，裝箱出廠。

表面處理 (Q)



齒輪表面經染黑處理，提高防銹能力。



去毛邊 (H)



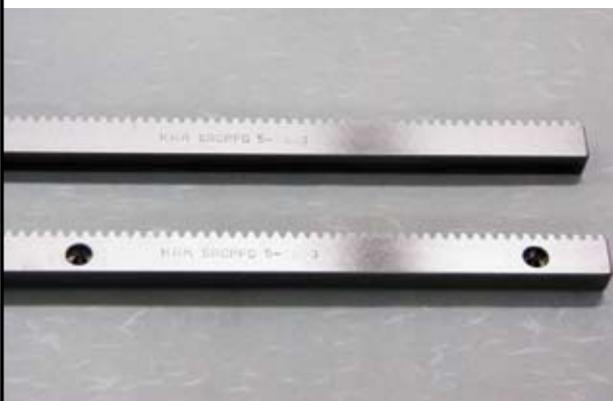
去除毛邊。

整形 (P)



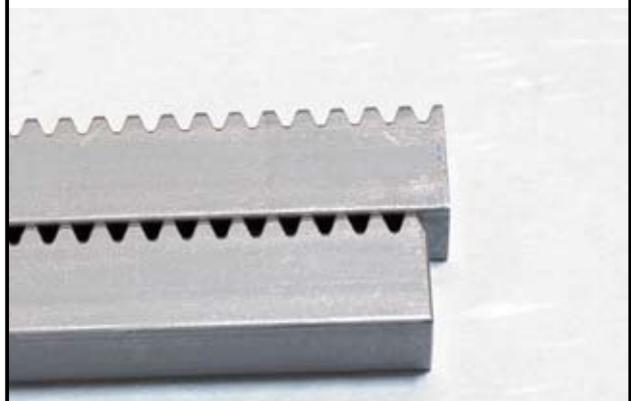
切齒後的齒條會彎曲變形，必須利用油壓整形機加以整形校直。

鑽孔 (DU)



加工安裝孔，提高使用方便度。

端面加工 (MH)



為能方便使用者的接長使用，齒條的兩端面以齒溝為基準加工兩端面。

(2) — 3

傘形齒輪的製造程序

介紹製造傘形齒輪產品時較具代表性的製造程序。

材料 (Z)



從材料供應商購入，存放在材料倉庫。
購入的材料長度為 6 公尺。

裁剪 (SW)



利用剪裁機依需要的長度裁剪。

包裝 (C)



一個一個單獨包裝，裝箱出廠。



車製 (L)



裁剪後的粗胚利用車床車削切齒前的毛胚。

切齒 (TB)



將毛胚置於切齒機上切齒。
切齒後會留下相當多的毛邊。

表面處理 (Q)



齒輪表面經染黑處理，提高防銹能力。

去毛邊 (H)



去除毛邊。

(2) — 4

齒輪的生產設備

介紹齒輪生產時較具代表性的加工機械設備。



CNC 齒條研磨機 (NRG-100)



CNC 乾式滾齒機 (N60)



CNC 齒條切齒機 (NR-18S)





CNC 齒輪研磨機 (TAG 400)



CNC 乾式滾齒機 (GP 130)



CNC 傘形齒輪研磨機 (PH-200G)

齒輪入門

昭和61年5月1日 初版第1刷發行
平成18年4月1日 第2版第2刷發行

發行人 小原敏治
發行所 小原齒車工業株式会社
〒332-0022 埼玉県川口市仲町13番17号
編集製作 齒輪入門第2版編輯小組



小原歯車工業株式会社

本社 〒332-0022 埼玉県川口市仲町 13-17 TEL:048-255-4871(代) FAX:048-256-2269

大阪営業所 〒540-0012 大阪市中央区谷町 5-6-32 谷町優越館ビル 4F TEL:06-6763-0641 FAX:06-6764-7445

名古屋営業所 〒465-0093 名古屋市名東区一社 3-96 ルーブルビル 6F 603 TEL:052-704-1681 FAX:052-704-1803

URL <http://www.khkgears.co.jp/> E-mail kohara@khkgears.co.jp

