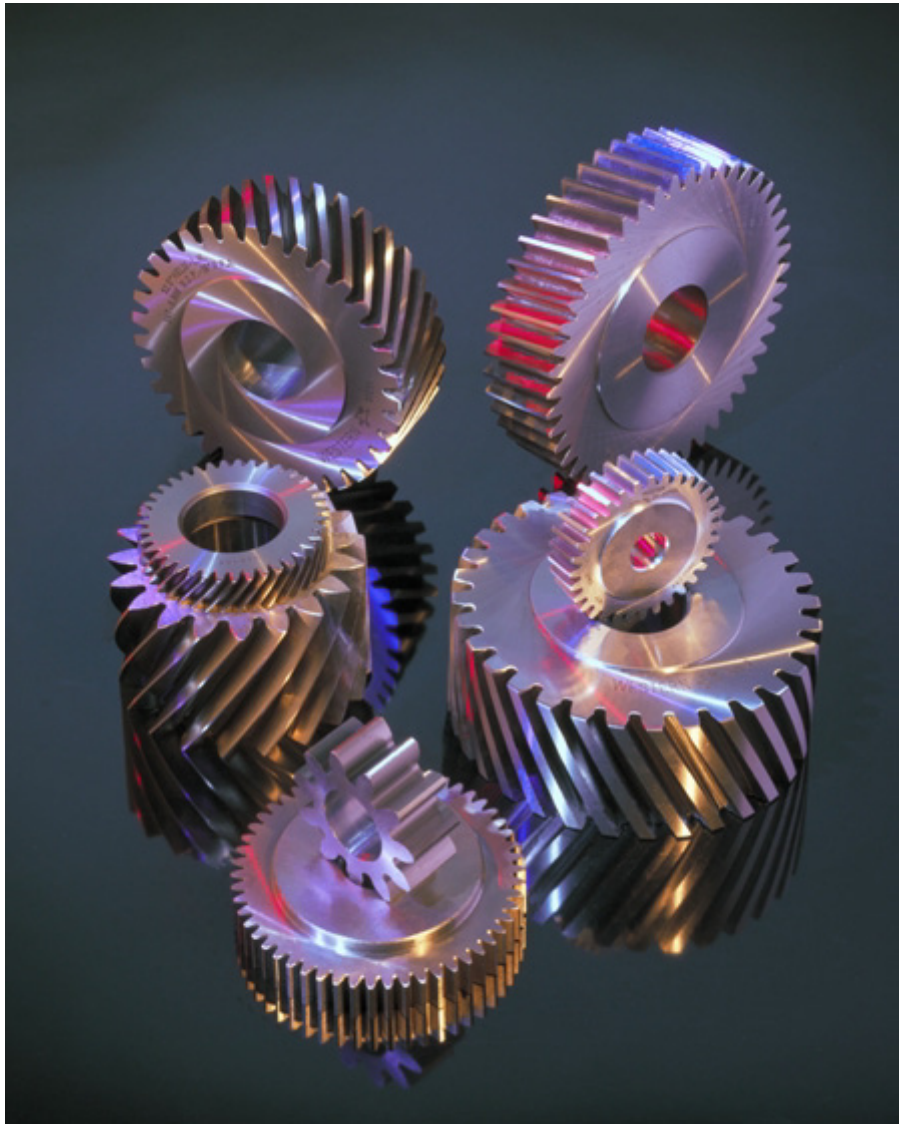
Gears in General



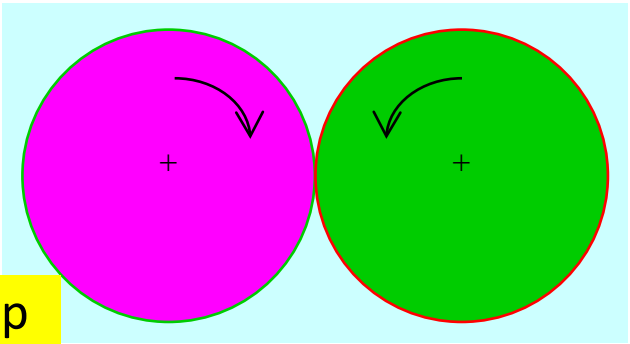
2103320 Des Mach Elem
Mech. Eng. Department
Chulalongkorn University

Introduction

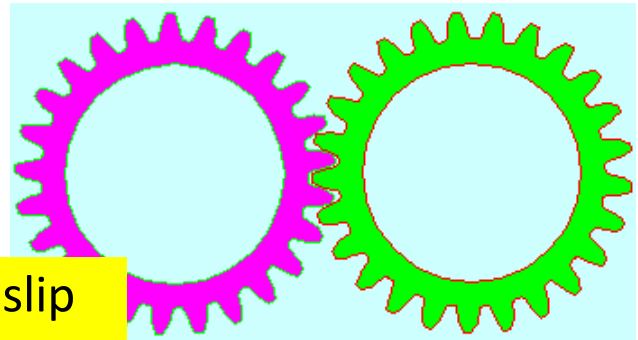
เฟือง (Gear)

- ส่งผ่านกำลัง การเคลื่อนที่
- เปลี่ยนขนาดแรงบิด ความเร็วรอบหมุน
- เปลี่ยนทิศทางการหมุน ทิศทางการเคลื่อนที่

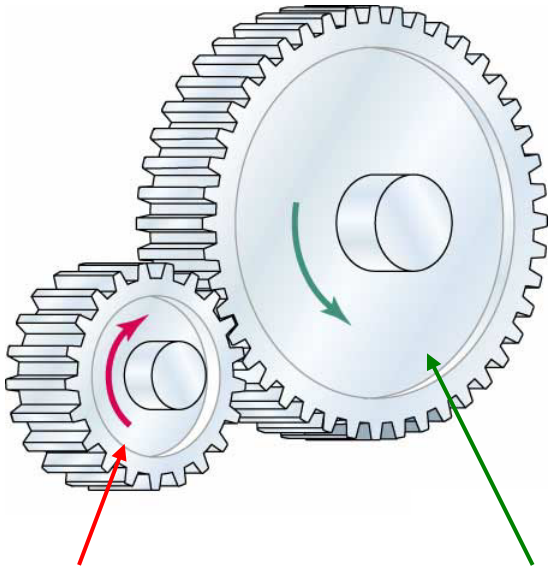
Friction Gear



Slip



Less slip



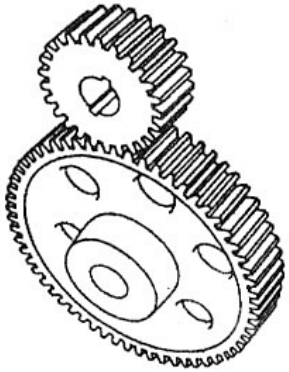
Small gear
"Pinion"
(usually driving)

Large gear
"Gear"

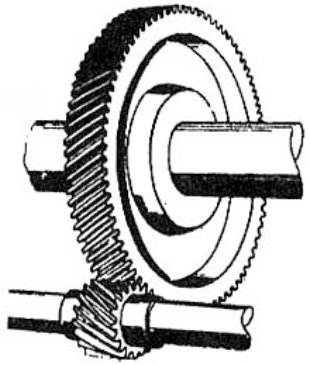
Gear types (1)

แกนของเพลาวางขนานกัน

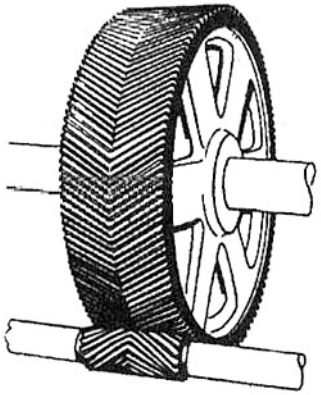
Spur gears

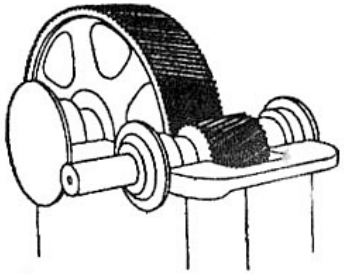


Helical gears

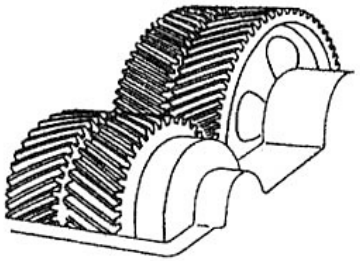


Herringbone gears

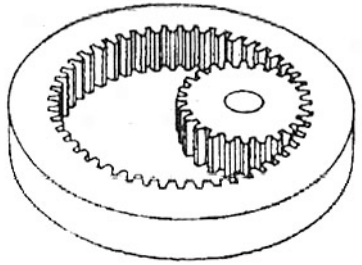




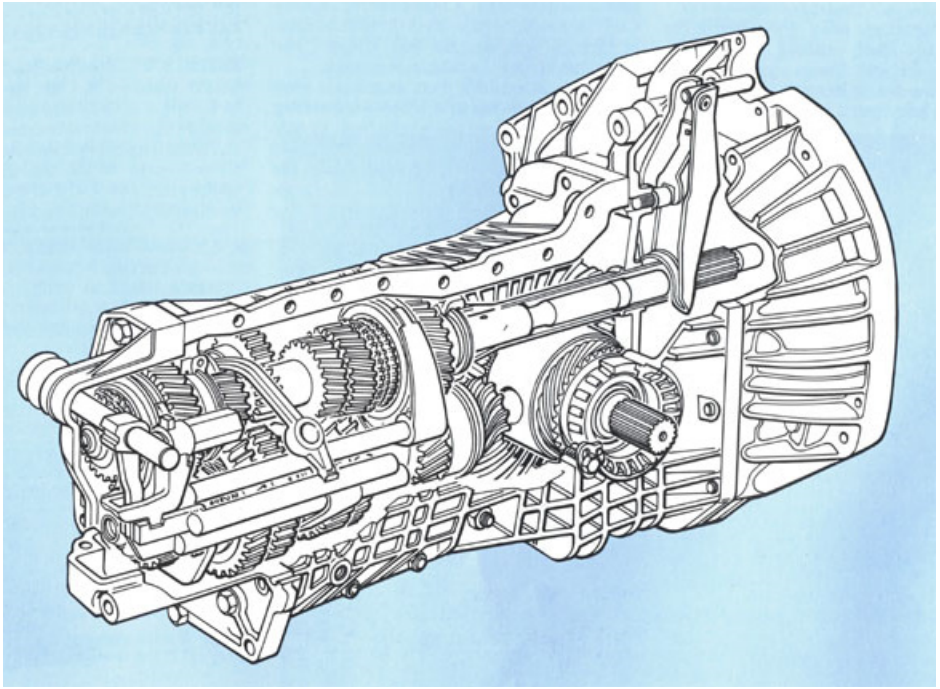
Helical gears



Double helical gears



Internal gears



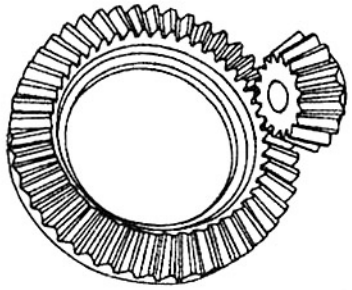
http://www.lotusespritturbo.com/Renault_UN1_16_Transmission.htm

http://www.vfxtalk.com/forum/engine-room-vfx-gets-gear-radium-dot-t6723.html

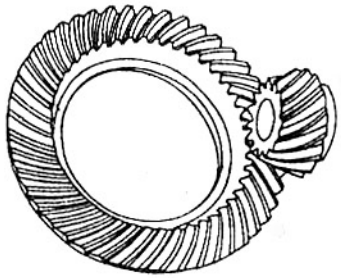
Gear types (2)

แกนของเพลาตัดกัน

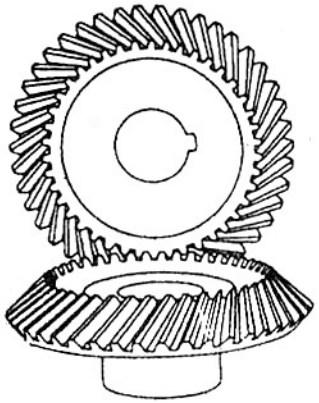
Straight bevel gears



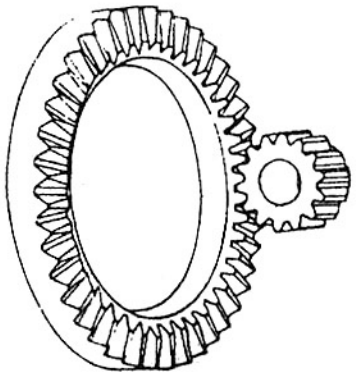
Spiral bevel gears

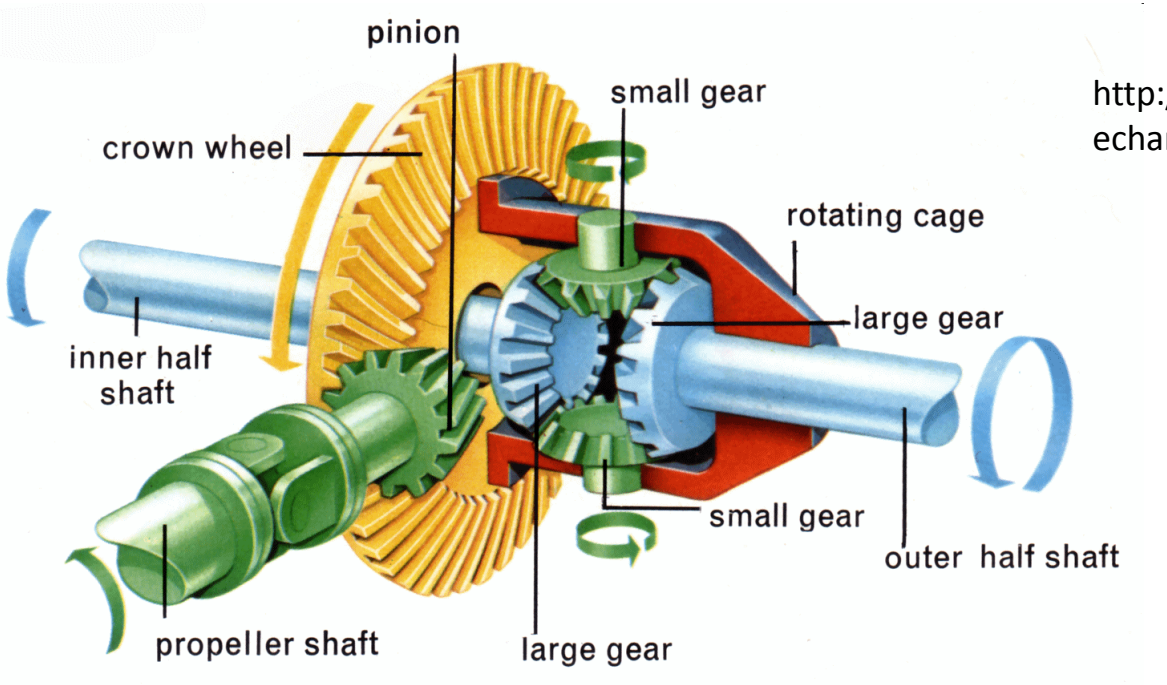


Skew bevel gears



Face gears





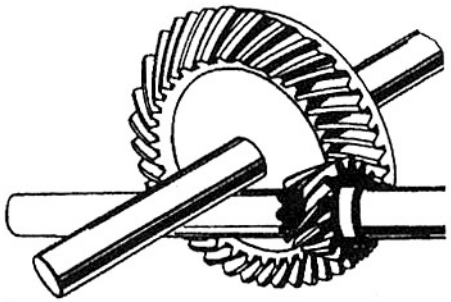
http://www.arthursclipart.org/carmechanic/mechanic/page_02.htm

http://littlemachineshop.com/products/product_view.php?ProductID=1212&category

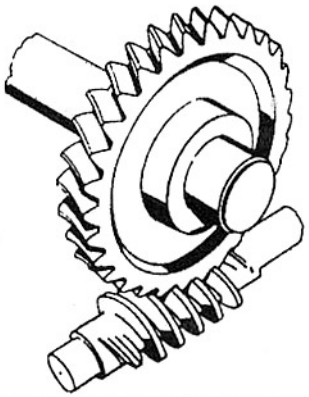
Gear types (3)

แกนของไม่ขนานและไม่ตัดกัน

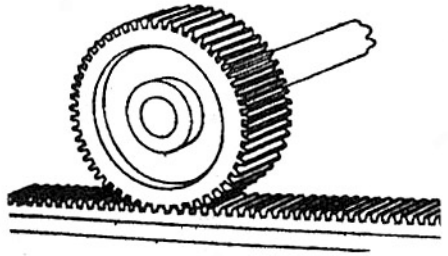
Hypoid gears



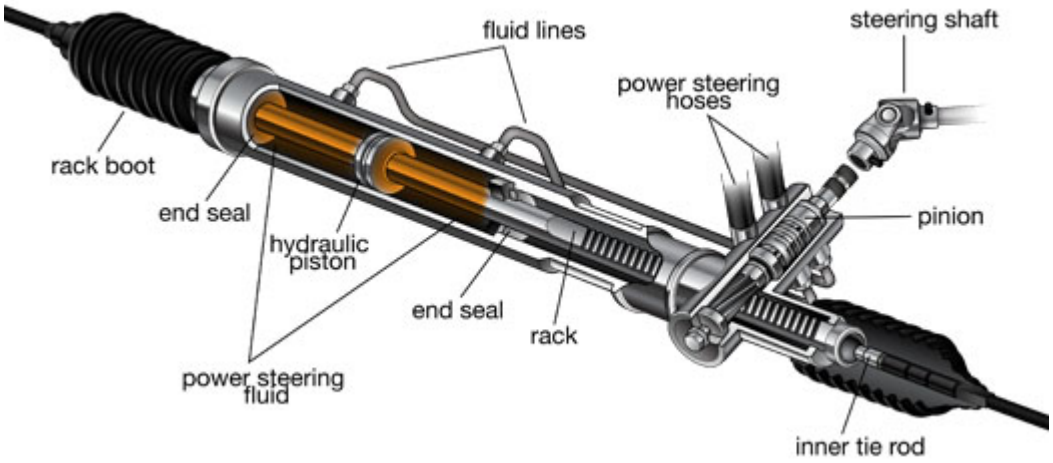
Crossed axis helical gears



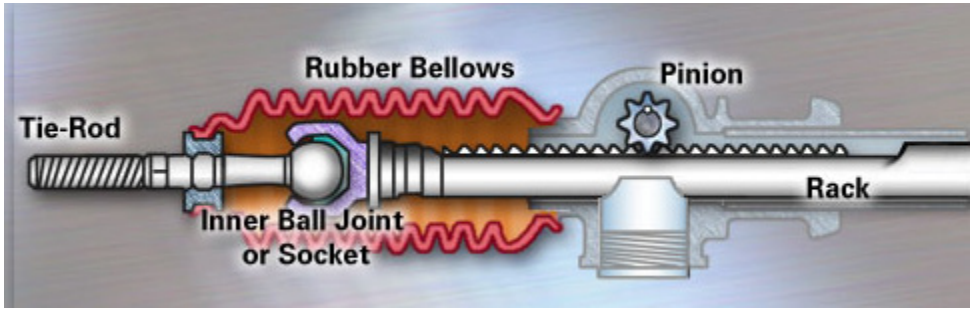
Worm gears



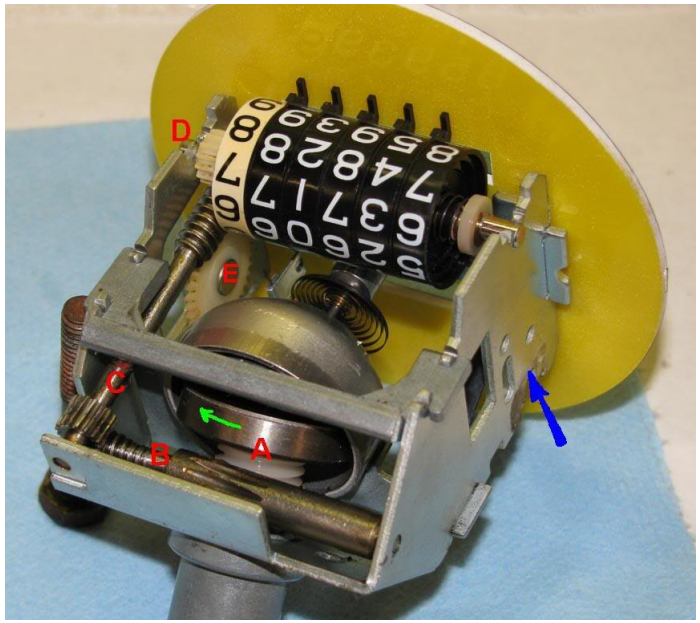
Spur rack and pinion



http://repairpal.com/steering-rack-and-pinion

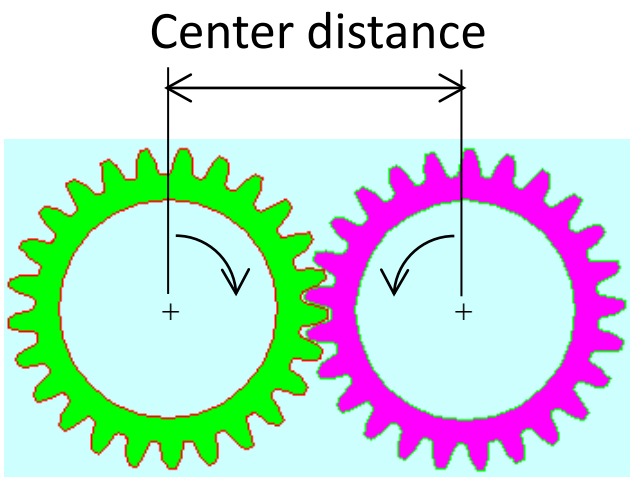


http://www.cdxetextbook.com/steersusp/steer/princ/rackandpinion.html

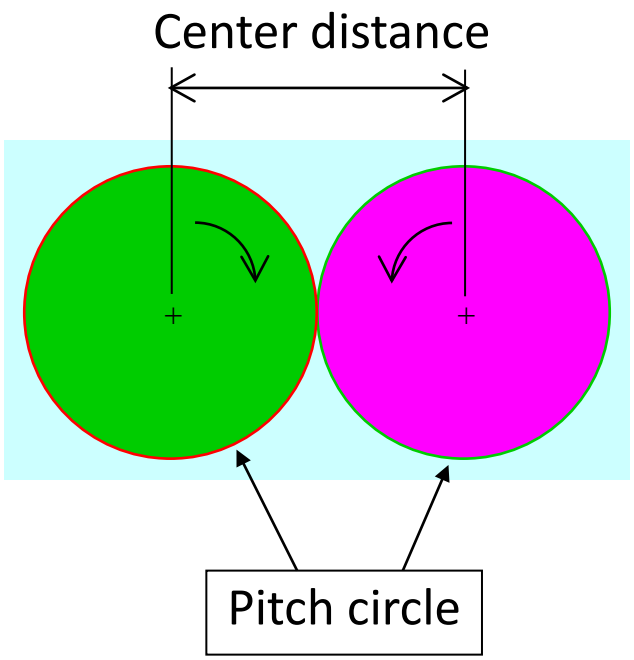


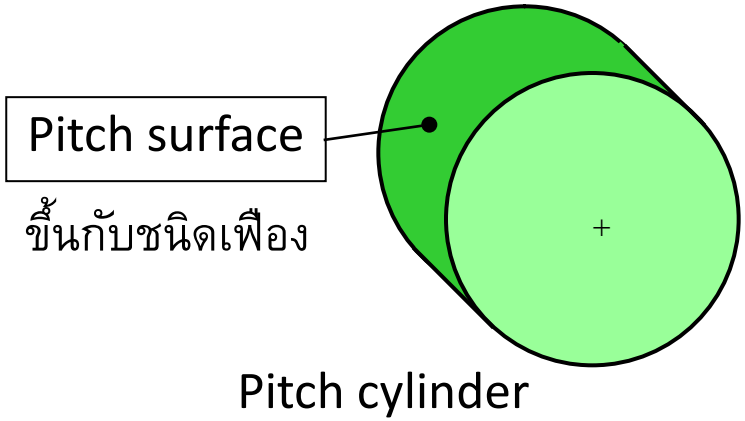
http://xjbikes.com/Forums/viewtopic/p=202812.html

Gear tooth nomenclature (1)



การถ่ายทอดการเคลื่อนที่เหมือนกัน



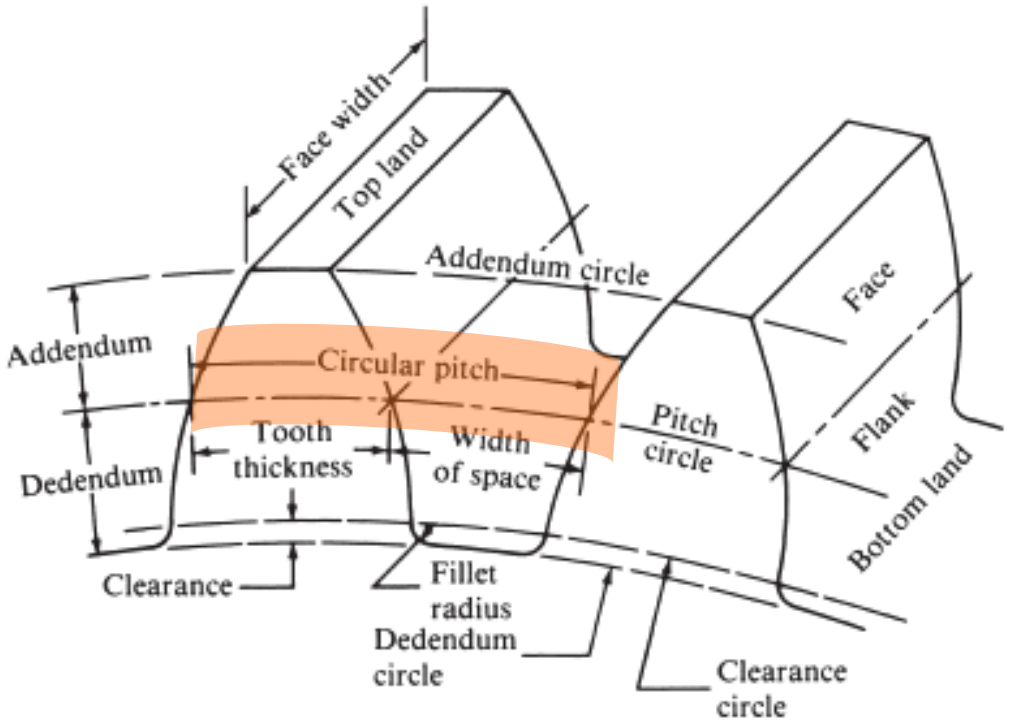


การบอกขนาดของเฟือง จะบอกเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมพิตช์

Gear tooth nomenclature (2)

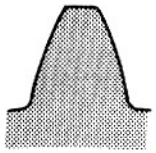
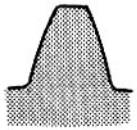
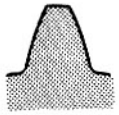
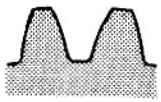
- Circular pitch (CP) = π D/z
- Diametral pitch (DP) = z/D (inch.)
- Module (m) = D/z (mm)

D = pitch dia.
z = number of teeth



- m = 25.4/DP
- CP×DP = *p*

Module and tooth size

Module For metric Size gears	Diametral Pitch For inch Size gears	Pressure angle 14.5°	Pressure angle 20°
6.35	4		
5.08	5		
4.23	6		
3.18	8		

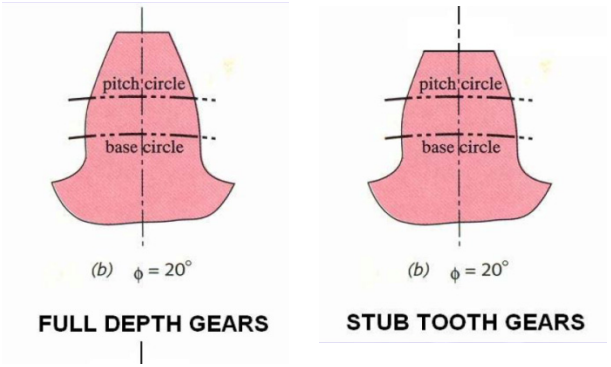
Module sizes shown are converted inch sizes

ตัวอย่างค่ามาตรฐานของโมดูล

โมดูลนิยม	โมดูลเลือกอันดับสอง	โมดูลนิยม	โมดูลเลือกอันดับสอง
0.1	0.15	1.5	1.75
0.2	0.25	2	2.25
0.3	0.35	2.5	2.75
0.4	0.45	3	3.5
0.5	0.55	4	4.5
0.6	0.7	5	5.5
0.8	0.75	6	7
1	0.9	8	9
1.25		10	11

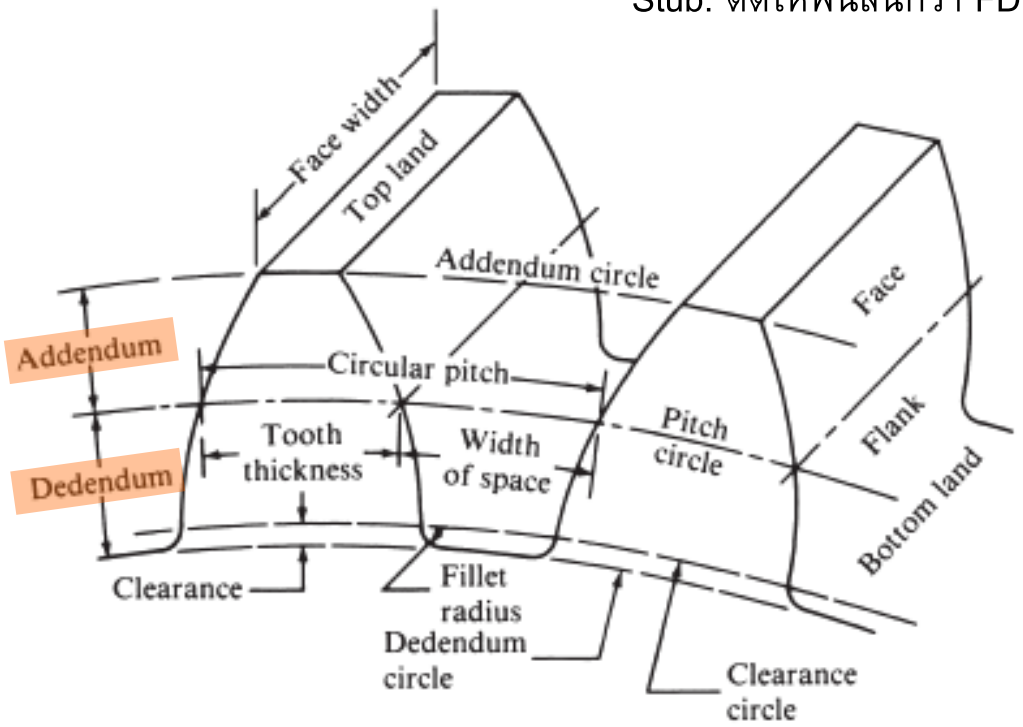
Gear tooth nomenclature (3)

	Pressure angle (deg.)		
	14.5 (FD)	20 (FD)	20 (Stub)
Addendum a	m	m	0.8m
Dedendum b	1.157m	1.25m	m



FD: Full depth

Stub: ตัดให้ฟันสั้นกว่า FD



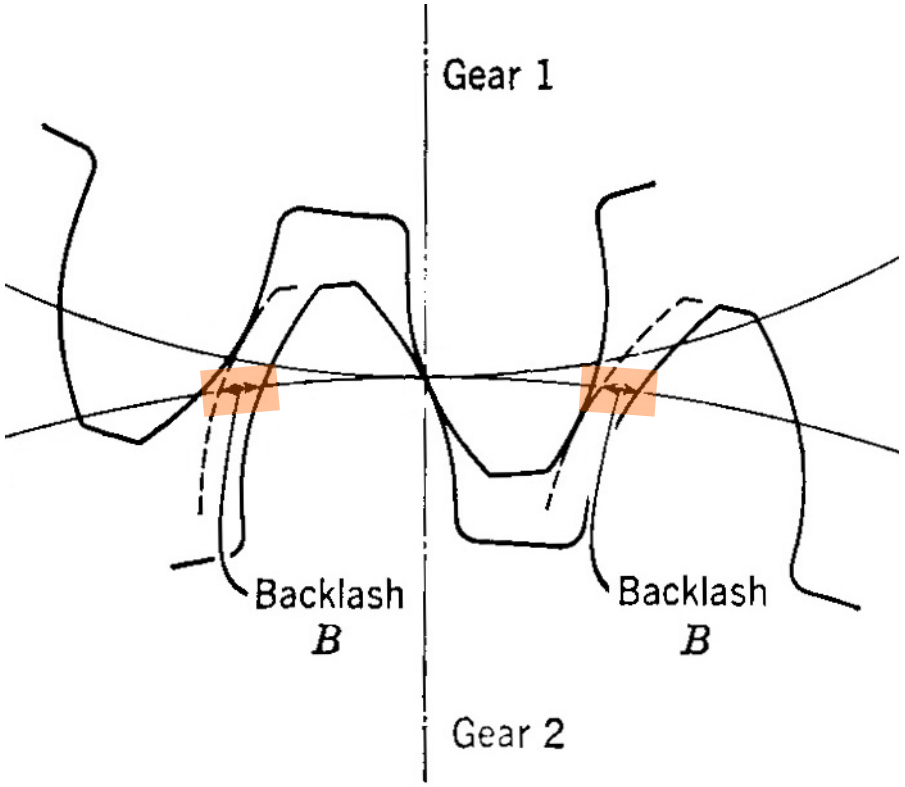
Tooth height	a+b
Working depth	a_1+a_2
Top diameter (Addendum dia.)	$D_o = D+2a$
Root diameter (Dedendum dia.)	$D_r = D-2b$
Clearance	b-a

Gear tooth nomenclature (4)

Backlash : ผลต่างของความหนาของเฟืองตัวหนึ่ง กับช่องว่างของฟันของเฟืองอีกตัวหนึ่ง

ประโยชน์

- เป็นช่องว่างสำหรับน้ำมันหล่อลื่น
- เฟืองสามารถขยายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง
- เผื่อสำหรับความผิดพลาดในการผลิต

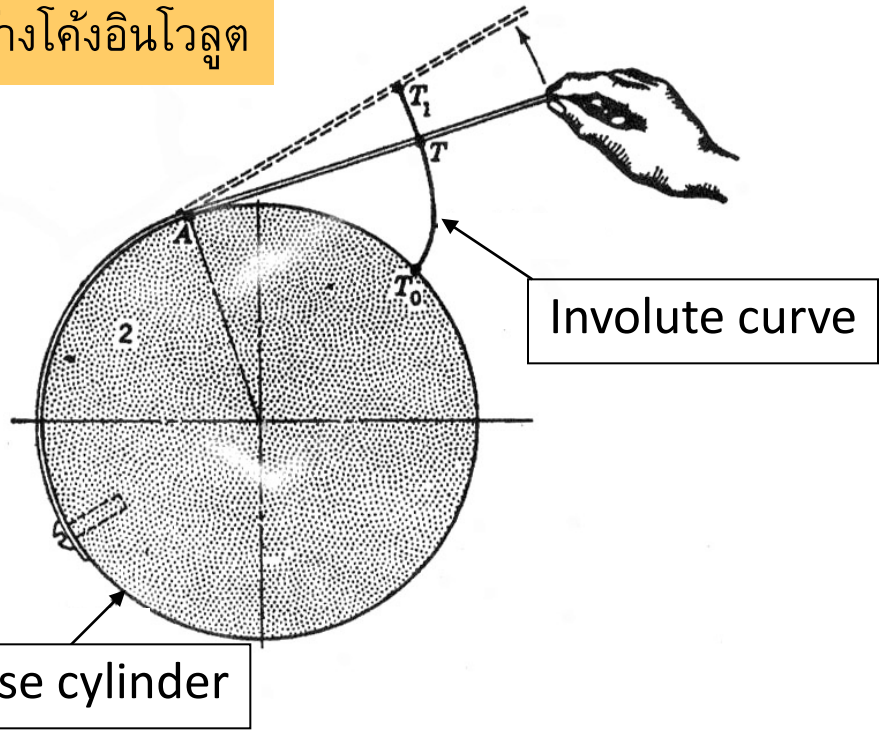


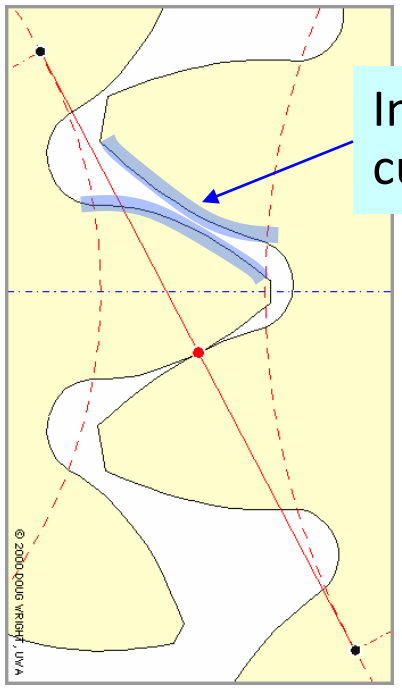
Involute Curve

ในปัจจุบันรูปร่างของฟันเฟืองได้ถูกออกแบบเป็นโค้งอินโวลูต เพื่อให้เฟืองสองตัวขบกันโดยมีอัตราส่วนความเร็วคงที่ได้

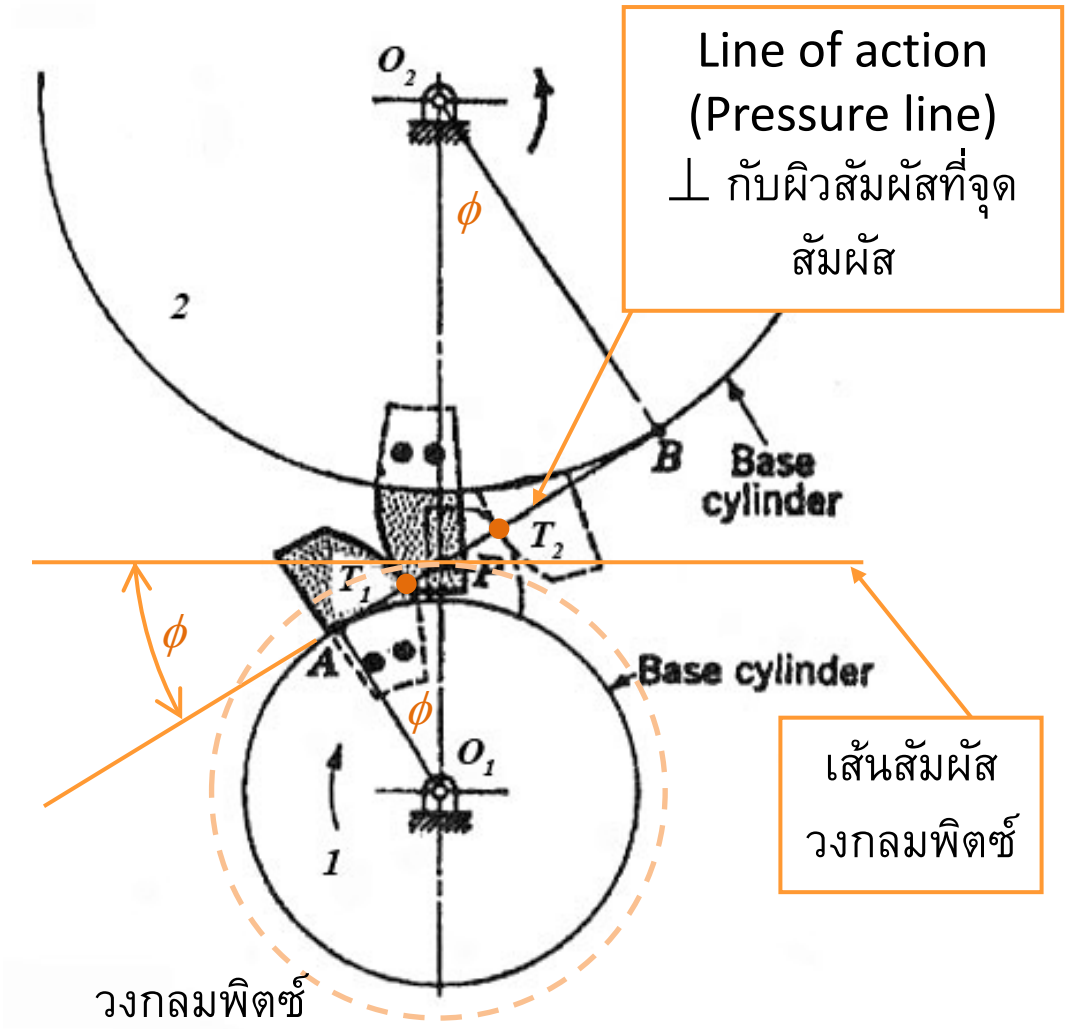
วงกลมฐาน (Base cylinder) : วงกลมที่ใช้สร้างโค้งอินโวลูต ไม่ใช่ Dedendum circle และไม่สามารถระบุได้เมื่อพิจารณาเฟืองด้วยสายตา

การสร้างโค้งอินโวลูต





Pressure angle (1)

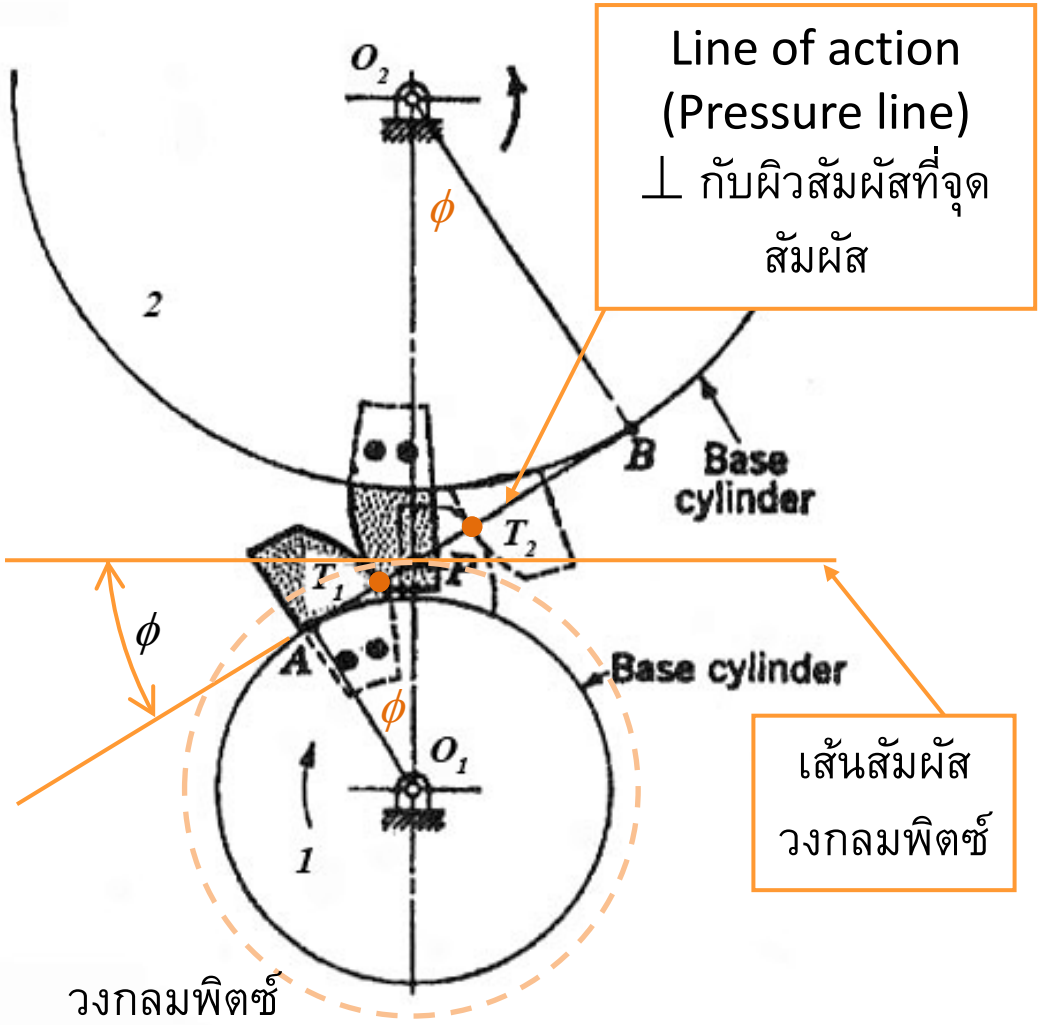


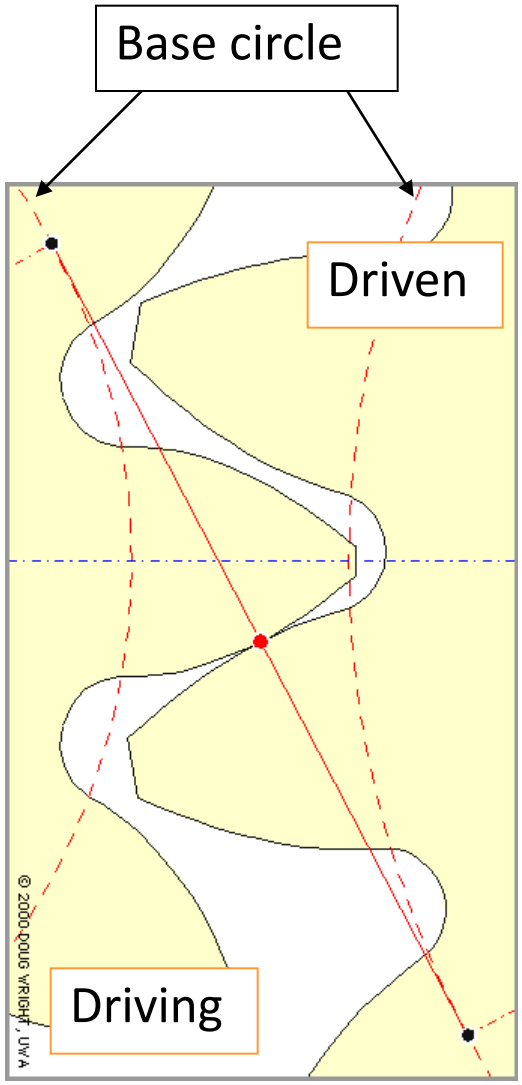
ϕ = Pressure angle (มุมกด, มุมแรงดัน) 14.5°, 20°, 25°

- Line of action (เส้นแรงกด)
  เส้นที่ลากสัมผัสกับวงกลมเบสและผ่านจุดพิตช์
- ระหว่างการขบ แรงที่เฟืองขับกระทำกับเฟืองตามจะกระทำในทิศตามแนวเส้น line of action

$$r_b = r_p \cos\phi$$

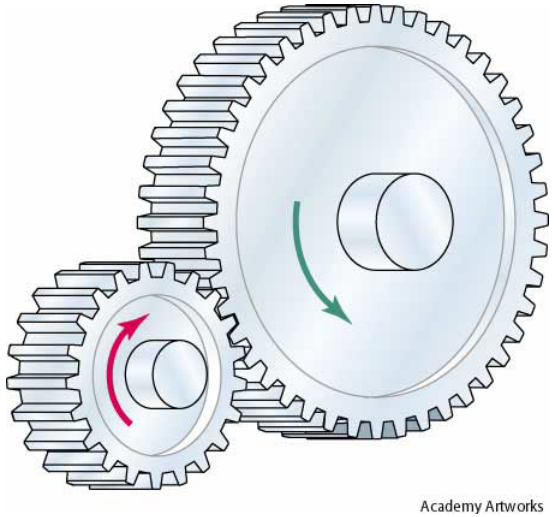
Pressure angle (2)





Velocity ratio

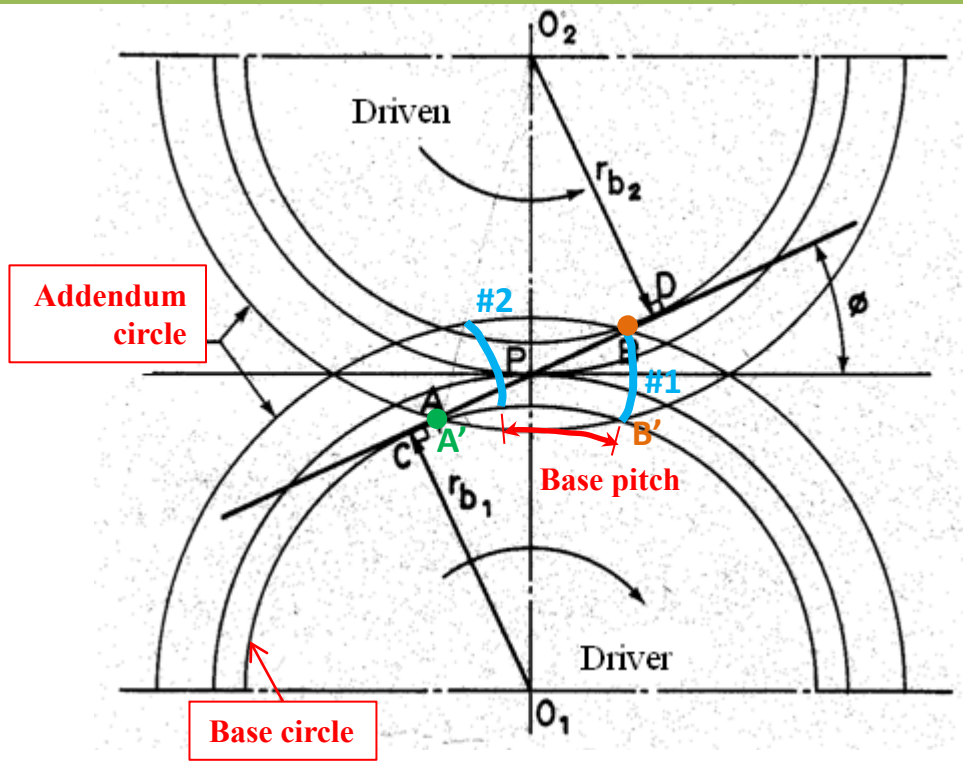
ω_1(rad/s)
n_1(rpm)
D_1
z_1



ω_2(rad/s)
n_2(rpm)
D_2
z_2

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Contact ratio (1)



การขบของเฟืองเกิดบนเส้นแนวแรงกดเสมอ

จุด A (จุดเริ่มต้นขบ)

- รากฟันเฟืองขับขบกับปลายฟันเฟืองตาม
- ปลายฟันเฟืองตามตัดกับเส้นแรงกด

จุด B (จุดสิ้นสุดการขบ)

- ปลายฟันเฟืองขับขบกับรากฟันเฟืองตาม
- ปลายฟันเฟืองขับตัดกับเส้นแรงกด

ส่วนโค้ง A'B' แสดงระยะขบตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุด บนวงกลมฐาน

จากความสัมพันธ์ของโค้ง involute

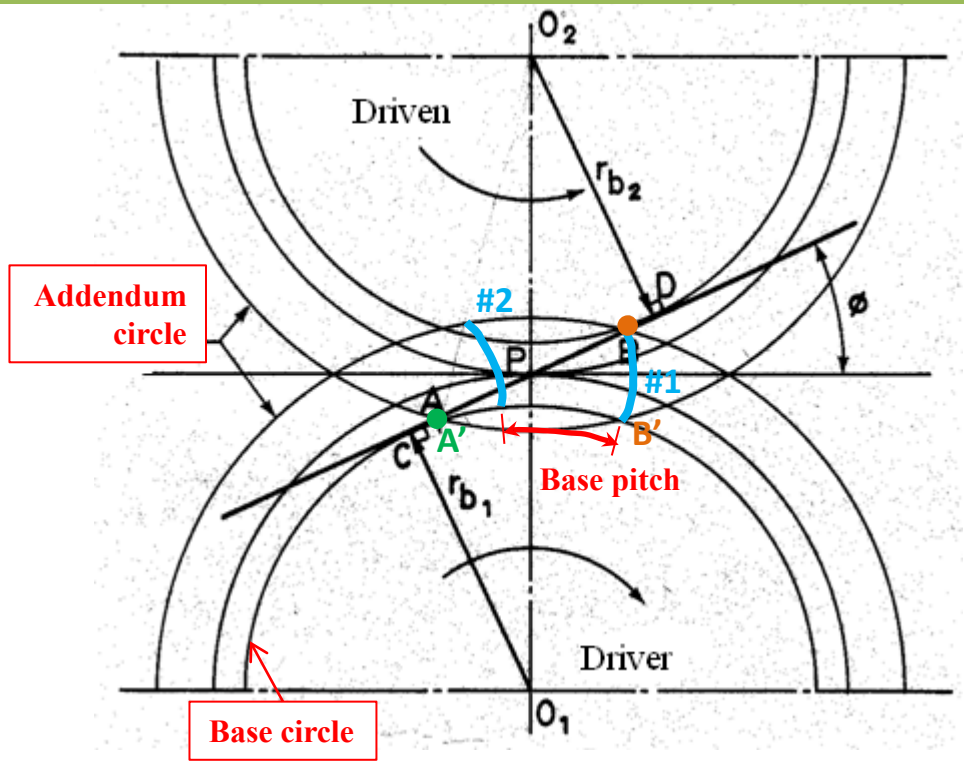
เส้นตรง CA = ส่วนโค้ง CA'

เส้นตรง CB = ส่วนโค้ง CB'

ระยะการขบ AB = ส่วนโค้ง CB' – ส่วนโค้ง CA'

= ส่วนโค้ง A'B'

Contact ratio (2)



Contact ratio (อัตราส่วนการขบ, C.R.)

บอกว่าโดยรวมแล้วในแต่ละเวลามีฟันขบอยู่กี่ฟัน

C.R. = ระยะการขบบนวงกลมฐาน / ระยะระหว่างฟันบนวงกลมฐาน

$$C.R. = \frac{A'B'}{P_b} = \frac{\overline{AB}}{P_b}$$

- Contact ratio ควรมีค่ามากกว่า 1.2
- กรณีเฟืองตรงมีค่าระหว่าง 1-2
- ยิ่งมีค่ามาก เฟืองยิ่งขบกันเรียบและเงียบ

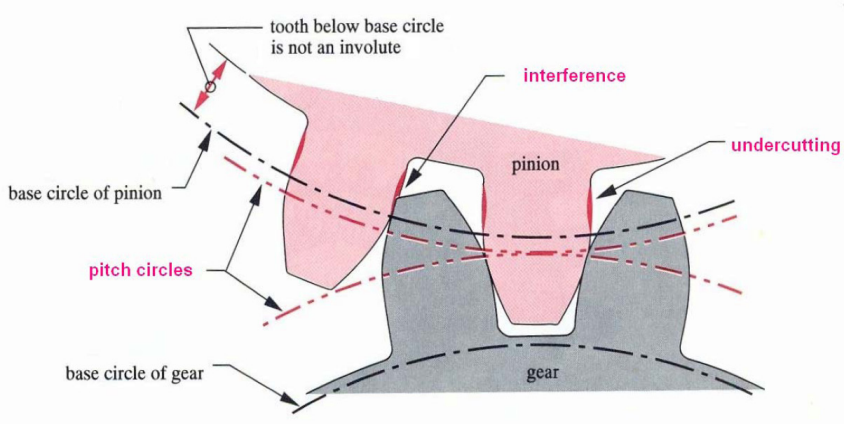
$$P_b = \frac{2\pi r_b}{z} = \frac{2\pi r \cos\phi}{z} = P\cos\phi$$

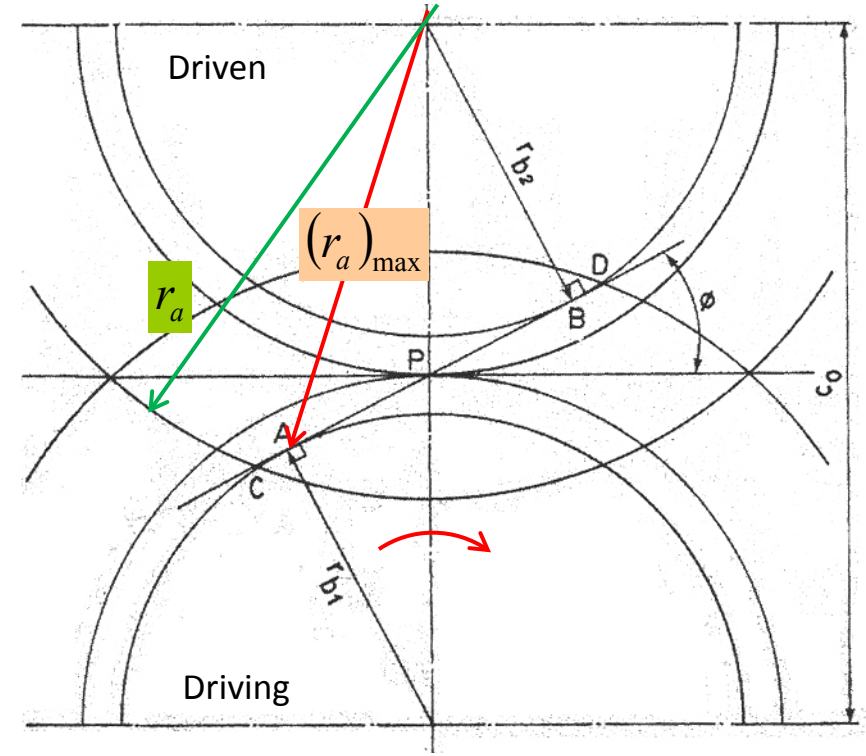
AP

$$\overline{AB} = \left\{\sqrt{(r_2 + a_2)^2 - (r_2\cos\phi)^2} - r_2\sin\phi\right\} + \left\{\sqrt{(r_1 + a_1)^2 - (r_1\cos\phi)^2} - r_1\sin\phi\right\}$$

PB

Interference (1)





- การขบของเฟืองเกิดบนเส้นแรงกดระหว่างจุดสัมผัสของเส้นแรงกดกับวงกลมฐาน (เกิดระหว่าง AB ในรูป)
- ถ้า Addendum circle ตัดเส้นแนวแรงกดเลยจากระยะ AB จะเกิดการขัดกัน
- ในรูป C และ D เป็นจุดที่ขัดกัน

$r_a = r + a$ (รัศมีวงกลมแอดเดนดัม)

$$(r_a)_{max} = \sqrt{r_b^2 + (c_0 \sin\phi)^2}$$
$$= \sqrt{(r\cos\phi)^2 + (c_0 \sin\phi)^2}$$

เกิดการขัดกันเมื่อ $r_a > (r_a)_{max}$

Interference (2)

Interference มีโอกาสเกิดมากขึ้นหาก

- พิเนี่ยนมีจำนวนฟันน้อย เฟืองมีจำนวนฟันมาก
- มุมกดมีขนาดเล็ก

จำนวนฟันเฟืองที่จะไม่เกิด Interference

Pinion : Rack		Pinion : Gear (20°, FD)	
Tooth form	Minimum no. of teeth	No. of pinion teeth	Max. no. of gear teeth
14.5° FD	32	17	1309
20° FD	18	16	101
25° FD	12	15	45
		14	26
		13	16

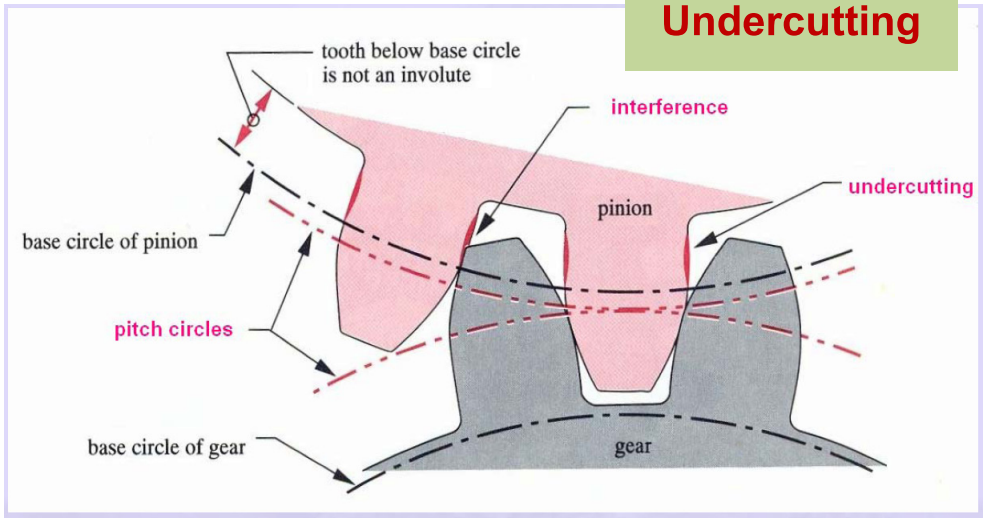
Interference (3)

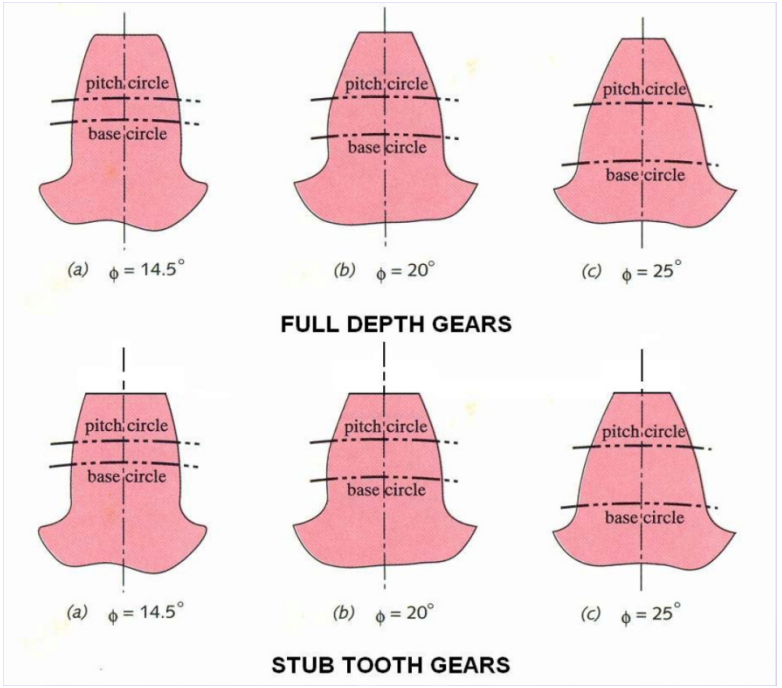
การแก้ไข Interference

วิธีการ	ผลกระทบ
Undercutting : ตัวเนื้อโลหะที่อยู่ต่ำกว่าวงกลมฐาน	เฟืองแข็งแรงน้อยลง
Stubbed teeth : ทำให้เฟืองสั้นลง	อัตราส่วนการขบลดลง ขบราบเรียบน้อยลง เสียงและการสั่นสะเทือนมากขึ้น
เพิ่มมุมกด (ลดขนาดวงกลมฐาน)	อัตราส่วนการขบลดลง ขบราบเรียบน้อยลง เสียงและการสั่นสะเทือนมากขึ้น
Profile shifted gear : ใช้เฟืองไม่เป็นมาตรฐาน เฟืองอันเล็กมีแอดเดนดัมเพิ่มขึ้น เฟืองใหญ่มีแอดเดนดัมลดลง	เฟืองราคาแพง ไม่สามารถใช้กับเฟืองอื่นๆ ที่เป็นมาตรฐานได้

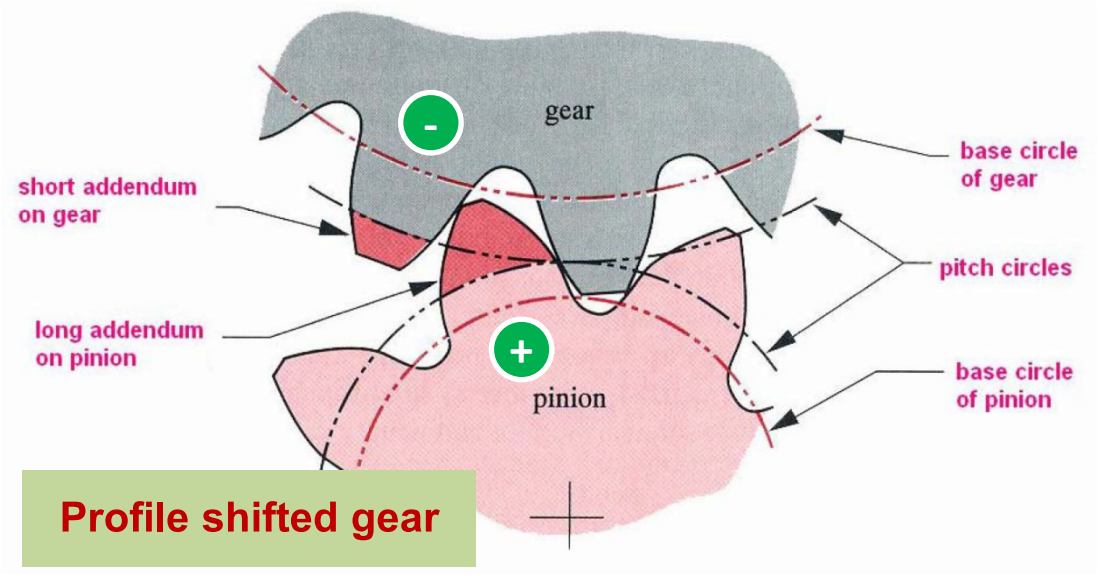
Interference (4)

Undercutting





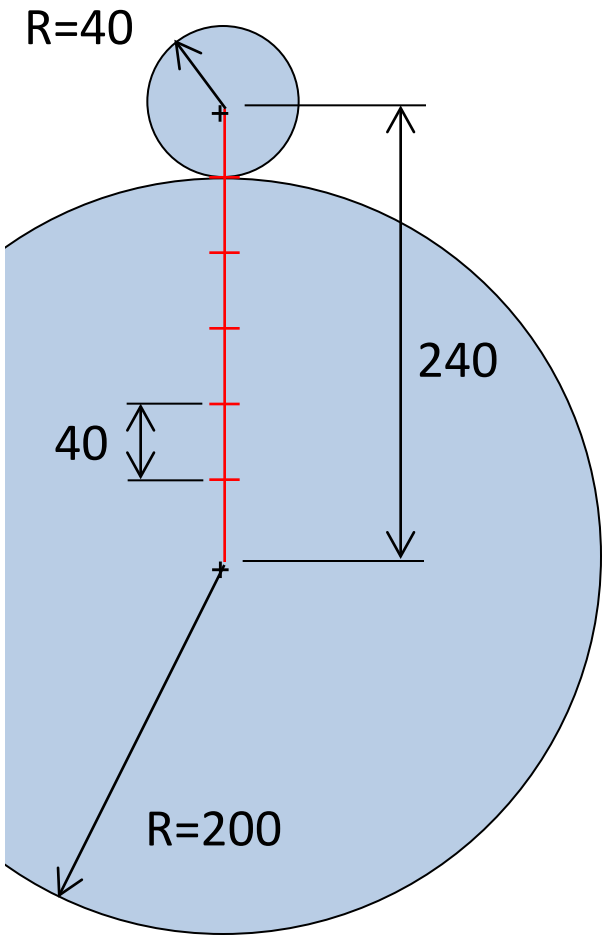
Stub tooth gears



Profile shifted gear

Gear ratio & Center distance (1)

ตัวอย่าง จุดศูนย์กลางเพลาห่างกัน 240 มม.
โมดูล 3
อัตราส่วนความเร็ว 5:1
มุมความดัน 20°



$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$m_\omega = \frac{5}{1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

⇨ เฟืองมีขนาดเป็น 5 เท่าของพิเนี่ยน

แบ่งระยะห่างระหว่างศูนย์กลางออกเป็น 5+1 = 6 ส่วน

ส่วนละ 240/6 = 40 มม. ⇨ R_{pinion} = 40, Dia. = 80

Gear ratio & Center distance (2)

หาจำนวนฟันของพิเนี่ยน $z = D/m = 80/3 = 26.6$ ฟัน ⇨ เลือก 27 ฟัน

หาจำนวนฟันของเฟือง $z_{gear} = 5 \times z_{pinion} = 5 \times 27 =$ 135 ฟัน

	pinion	gear
Dia. Pitch D = m×z	81	405
Center distance = $(D_{pinion}+D_{gear})/2$	243 ⟷ (240)	
Dia. Addendum = D+2a = D+2m	87	411
Dia. Base = D×cos(PA) = D×cos(20°)	76.115	380.58
Addendum = m	3	
Dedendum = 1.25m	3.75	
Tooth depth = a+b	6.75	
Tooth thickness = $\pi D/2z = \pi m/2$	4.712	

Gear ratio & Center distance (3)

หาจำนวนฟันของพิเนี่ยน z = D/m = 80/3 = 26.6 ฟัน ⇨ เลือก 26 ฟัน

เลือกจำนวนฟันของเฟือง 134 ฟัน ⇨ อัตราส่วนความเร็ว = 134/26 = 5.15

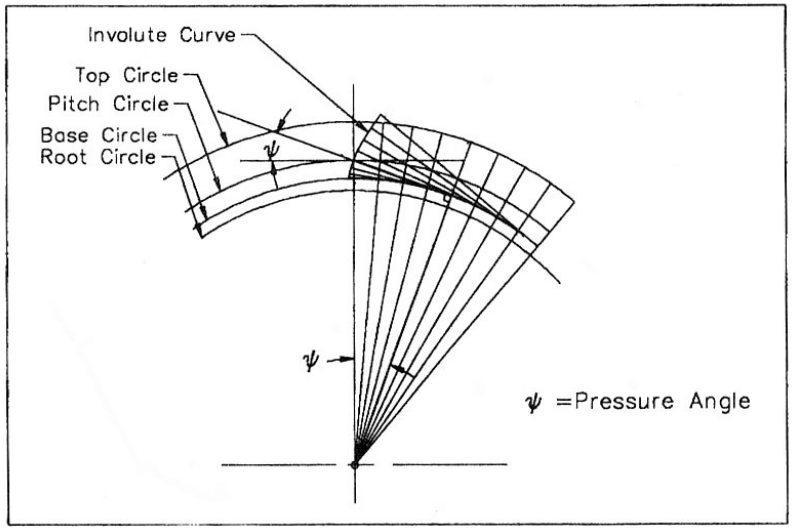
---

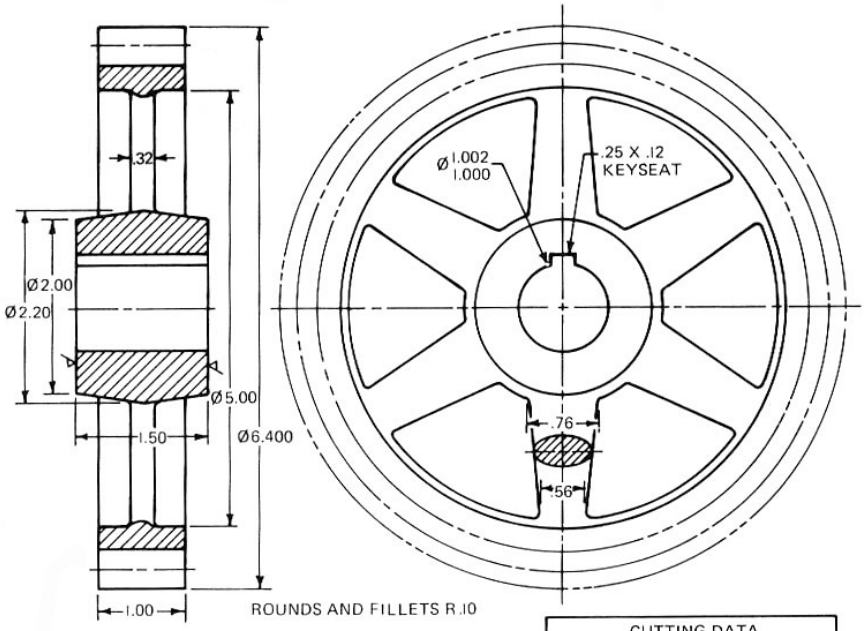
	pinion	gear
Dia. Pitch D = m×z	78	402
Center distance = $(D_{pinion}+D_{gear})/2$	240	
Dia. Addendum = D+2a = D+2m	84	408
Dia. Base = D×cos(PA) = D×cos(20°)	73.30	377.76
Addendum = m	3	
Dedendum = 1.25m	3.75	
Tooth depth = a+b	6.75	
Tooth thickness = πD/2z = πm/2	4.712	

Gear drawing (1)

เฟืองสามารถเขียนได้ 2 แบบ

1. การเขียนฟันเฟืองด้วยโค้งอินโวลูต
2. การเขียนแบบย่อ



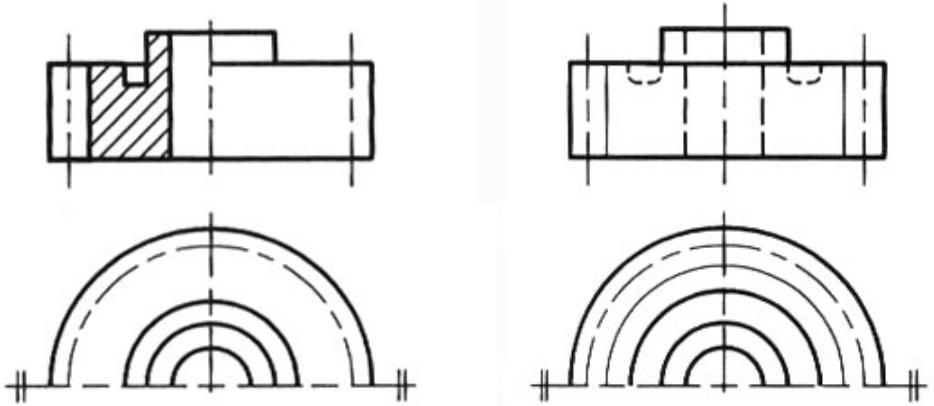


CUTTING DATA	
NUMBER OF TEETH	30
PITCH DIAMETER	6.000
DIAMETRAL PITCH	5
PRESSURE ANGLE	25°
WHOLE DEPTH	.431
CHORDAL ADDENDUM	.204
CHORDAL THICKNESS	.300
CIRCULAR THICKNESS	.314
WORKING DEPTH	.400

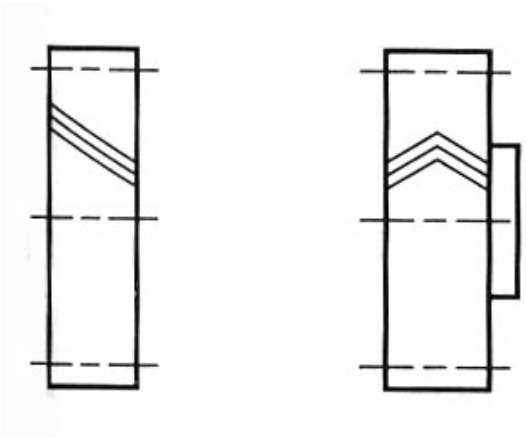
Gear drawing (2)

ตัวอย่างการเขียนแบบย่อ

Spur gear



Helical gear

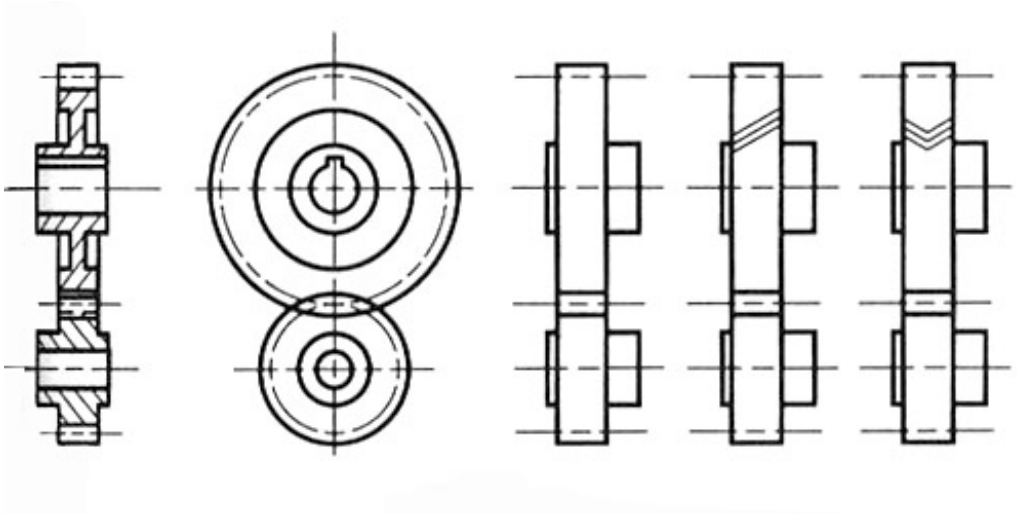


ระบบฟัน	สัญลักษณ์
ฮีลิกเฉียงขวา	
ฮีลิกเฉียงซ้าย	
ฮีลิกคู่	
สไปรัล	

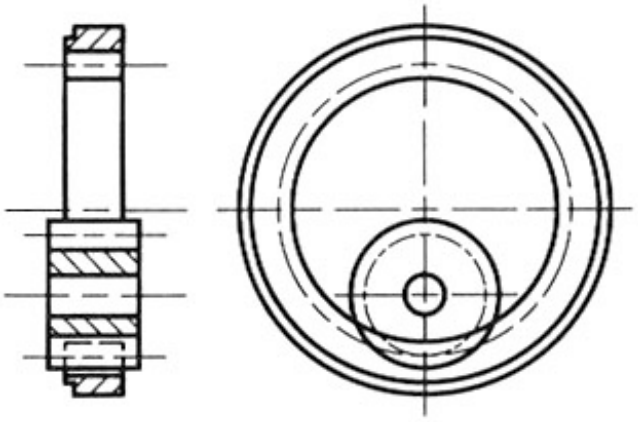
Gear drawing (3)

ตัวอย่างการเขียนแบบประกอบคู่เฟือง

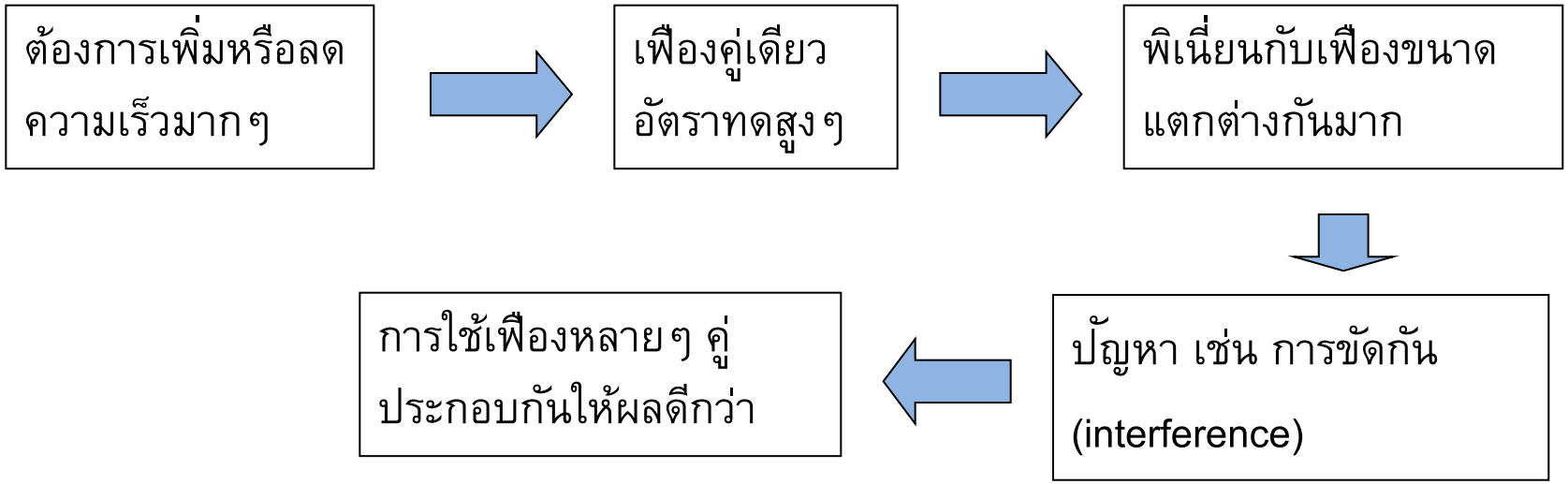
Spur & Helical gear pair



Internal gear pair



Gear train (1)

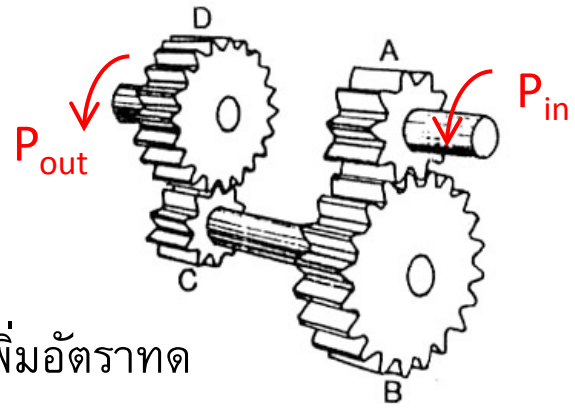


ชุดเฟือง (Gear train) การใช้เฟืองทดหลายๆ คู่ประกอบกัน เพื่อให้ได้อัตราทดที่สูงขึ้น

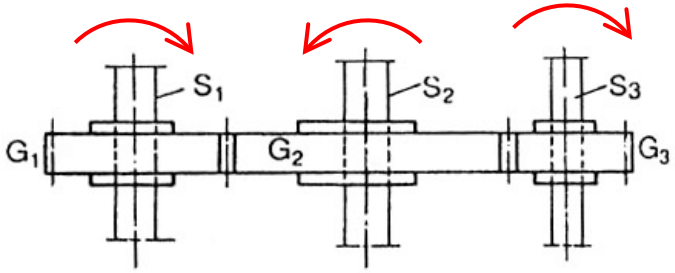
- ชุดเฟืองธรรมดา
- ชุดเฟืองดาวเคราะห์

Gear train (2)

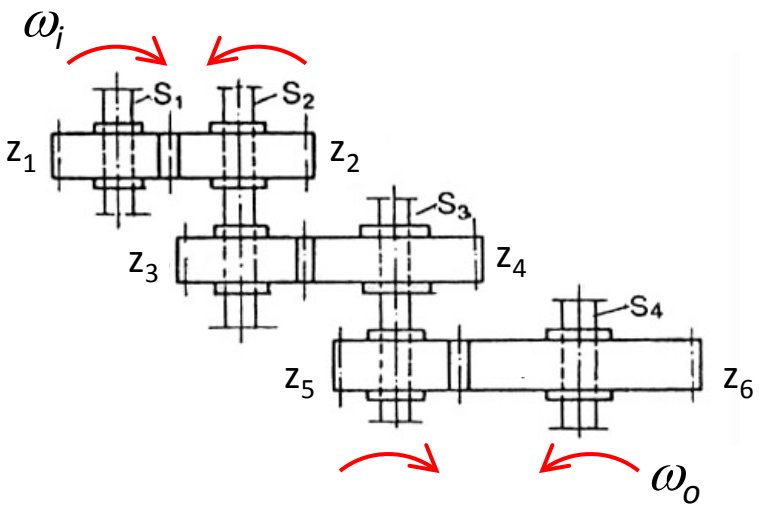
1. ชุดเฟืองธรรมดา



เพิ่มอัตราทด



เพิ่มเฟือง G_2 เพื่อเปลี่ยนทิศทางการหมุน

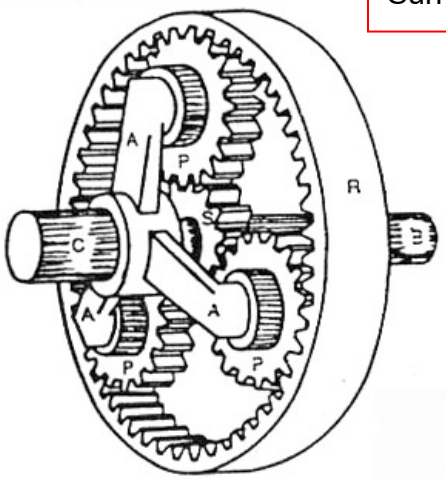


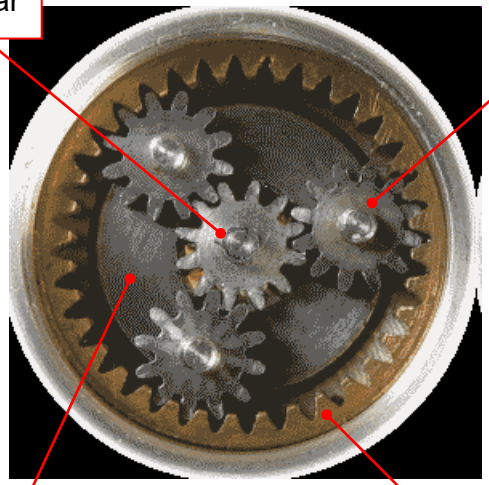
$$m_\omega = \omega_i / \omega_o$$

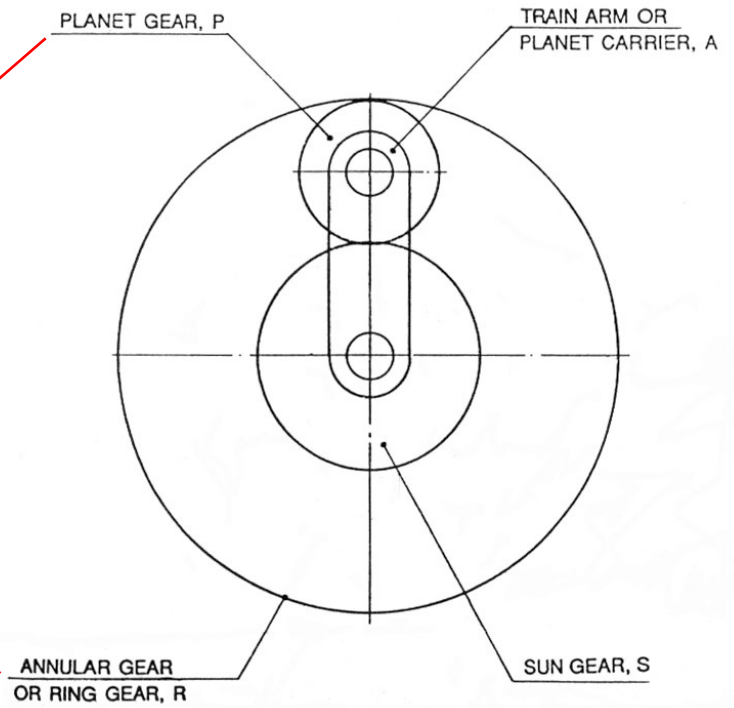
$$m_\omega = (z_2/z_1)\,(z_4/z_3)\,(z_6/z_5)$$

Gear train (3)

ชุดเฟืองดาวเคราะห์ (Epicyclic gear train, Planetary gear train)







ชิ้นส่วนหมุนรอบจุดศูนย์กลาง

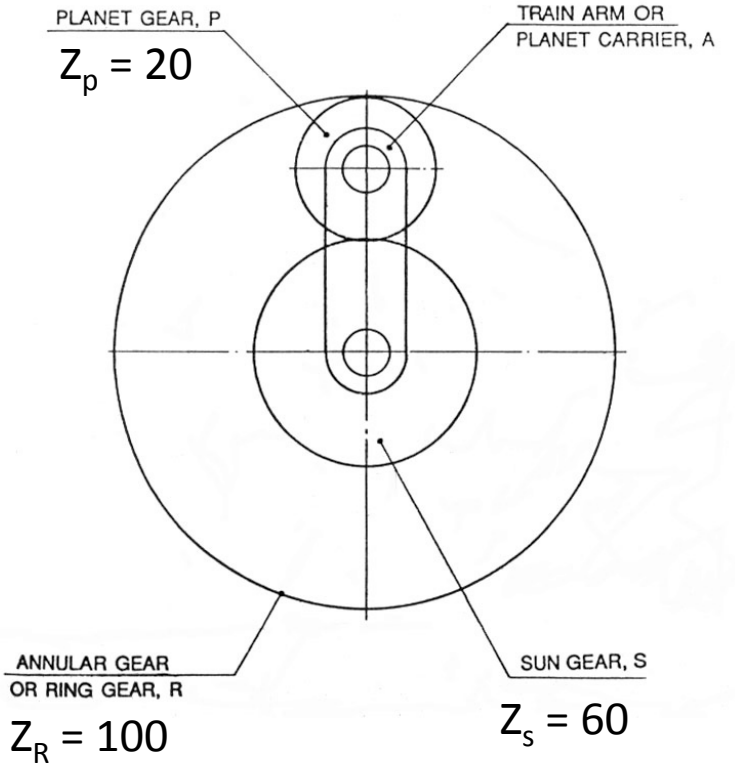
- Sun gear
- Planet carrier
- Ring gear

แต่ละชิ้นสามารถกำหนดให้หยุดนิ่ง เป็นตัวกำลังเข้า หรือกำลังออกได้

ชุดเดียวทำอัตราทดได้หลายค่า

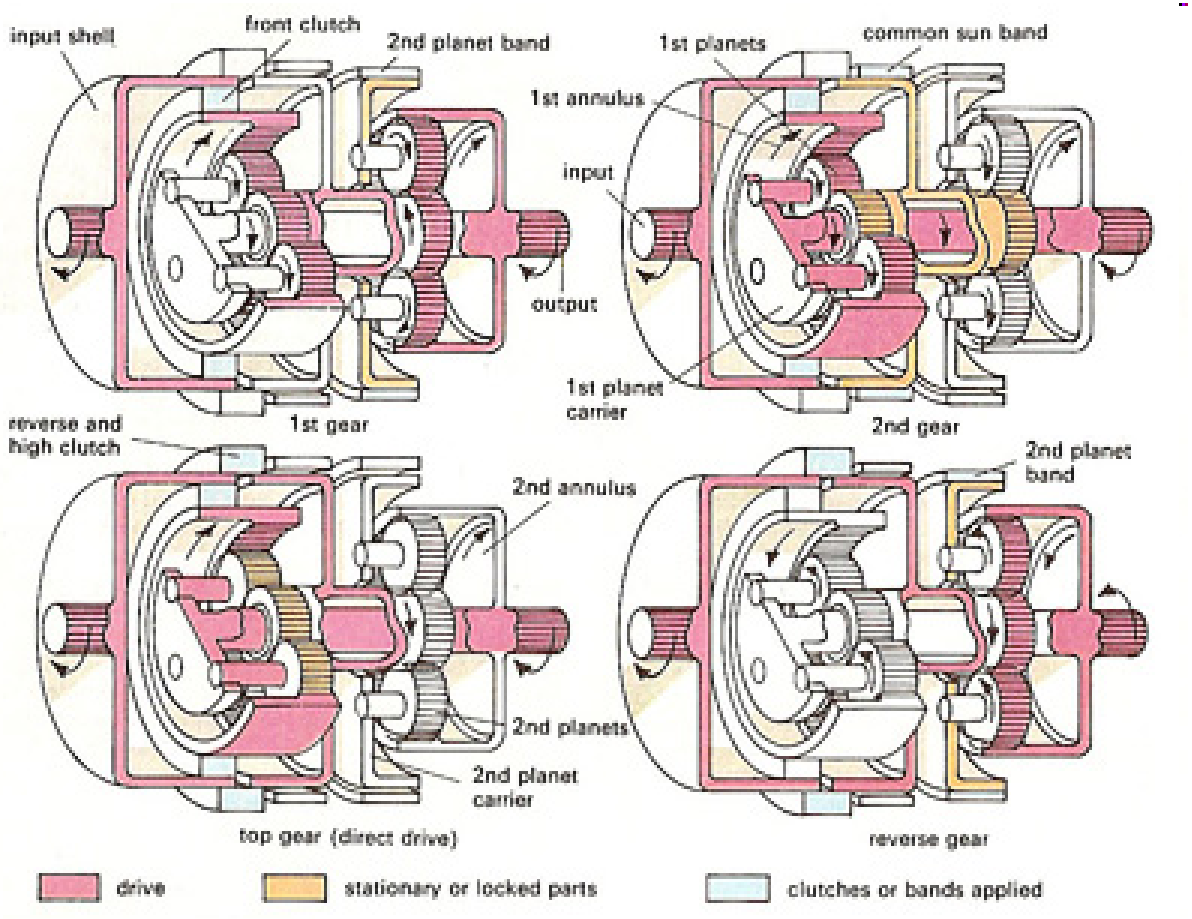
Gear train (4)

ชุดเฟืองดาวเคราะห์ (Epicyclic gear train, Planetary gear train)



Fixed member	Input (rpm)	Planet (rpm)	Output (rpm)	Ratio (ω_i/ω_o)
Ring fix	Carrier 9	36	Sun 24	0.375
Sun fix	Carrier 9	36	Ring 14.4	0.625
Carrier fix	sun 9	27	Ring 5.4	1.667

Gear train (5)



http://www.diseno-art.com/encyclopedia/terms/automatic_transmission.html

Gear manufacture

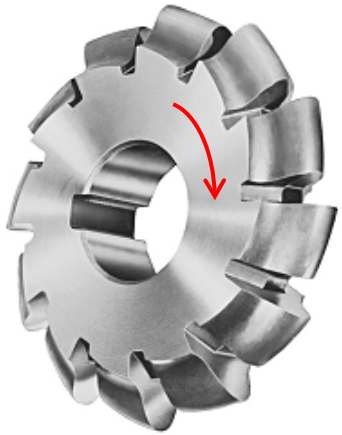
Methods of machining

Form milling : used mostly for large gears. A milling cutter that has the shape of the tooth space is used.

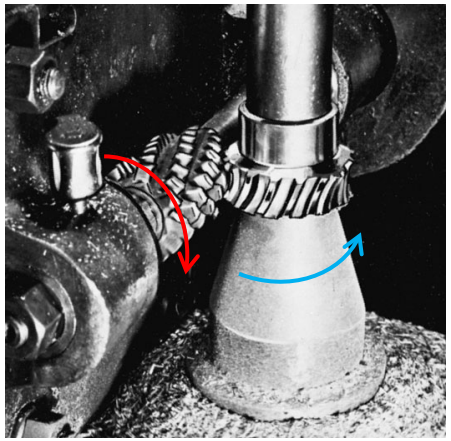
Shaping : frequently used for internal gears. Cutter used reciprocates on a vertical spindle.

Hobbing : similar process to milling except that both the workpiece and the cutter rotate in a coordinated manner.

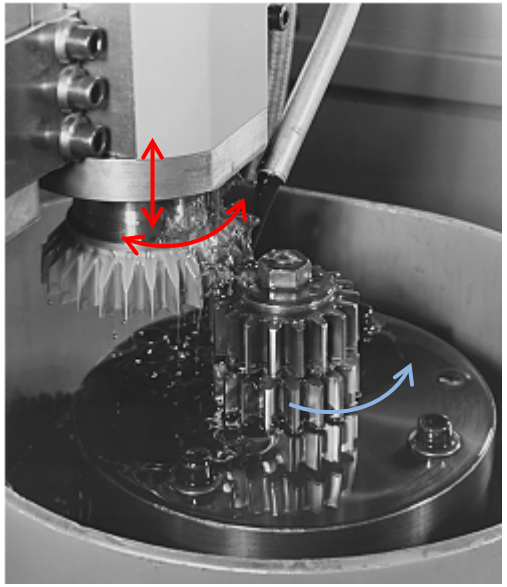
Casting : used most often to make blanks for gears which will have cut teeth. Possible to use to make toothed gears with little or no machining



Milling cutter



Hobbing



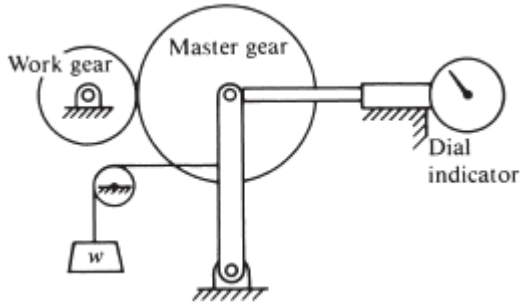
Shaping

VDO

Gear quality (1)

Quality in gearing is the precision of the individual gear teeth and the precision with which two gears rotate in relation to one another.

- Runout
- Tooth-to-tooth spacing
- Profile



Schematic diagram of a typical gear rolling fixture

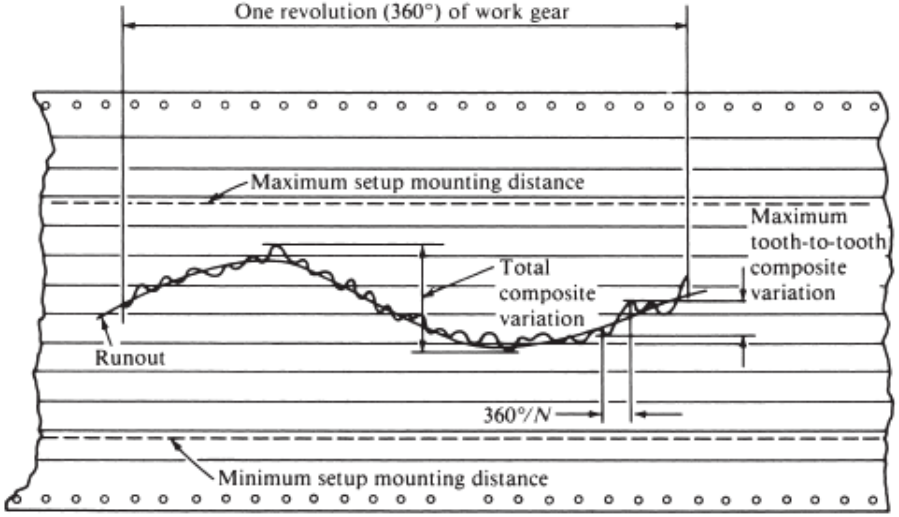


Chart of gear-tooth errors of a typical gear when run with a specific gear in a rolling fixture.

Gear quality (2)

- Gear quality is specified by AGMA as quality numbers.
- Quality numbers range from 5 to 15 with increasing precision (AGMA)
- Besides AGMA standard, there are also other standards (JIS, DIN, ISO-similar to DIN)

Selected values for total composite tolerance

AGMA quality number	Diametral pitch, P_d	Number of gear teeth				
		20	40	60	100	200
Q5	2	0.0260	0.0290	0.0320	0.0350	0.0410
	8	0.0120	0.0130	0.0140	0.0150	0.0170
	20	0.0074	0.0080	0.0085	0.0092	0.0100
	32	0.0060	0.0064	0.0068	0.0073	0.0080
Q8	2	0.0094	0.0110	0.0120	0.0130	0.0150
	8	0.0043	0.0047	0.0050	0.0055	0.0062
	20	0.0027	0.0029	0.0031	0.0034	0.0037
	32	0.0022	0.0023	0.0025	0.0027	0.0029
Q10	2	0.0048	0.0054	0.0059	0.0066	0.0076
	8	0.0022	0.0024	0.0026	0.0028	0.0032
	20	0.0014	0.0015	0.0016	0.0017	0.0019
	32	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014	0.0015
Q12	2	0.0025	0.0028	0.0030	0.0034	0.0039
	8	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014	0.0016
	20	0.000 71	0.000 77	0.000 81	0.000 87	0.000 97
	32	0.000 57	0.000 60	0.000 64	0.000 69	0.000 76
Q14	2	0.0013	0.0014	0.0015	0.0017	0.0020
	8	0.000 57	0.000 62	0.000 67	0.000 73	0.000 82
	20	0.000 36	0.000 39	0.000 41	0.000 45	0.000 50
	32	0.000 29	0.000 31	0.000 33	0.000 35	0.000 39

Source: Extracted from AGMA Standard 2000-A88, *Gear Classification and Inspection Handbook, Tolerances and Measuring Methods for Unassembled Spur and Helical Gears (Including Metric Equivalents)*, with the permission of the publisher, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314.

Table of Gear Precision Grade

Standard	Gear precision Grade					
JIS B 1702-1976	0	1	2	3	4	5
JIS B 1702-1,2:1998	N4	N5	N6	N7	N8	N9
DIN 3962	4	5	6	7	8	9
AGMA 390.03(1973)						
Pitch Tolerance	13	12	10	9	8	7
Profile Tolerance	14	12	11	10	9	8
Runout Tolerance	13	12	11	10	9	8
Lead Tolerance	11	10	10	9	8	7

Gear quality (3)

Recommended AGMA quality numbers

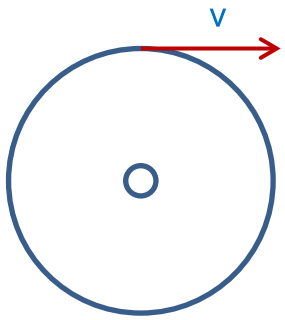
Application	Quality number	Application	Quality number
Cement mixer drum drive	3–5	Small power drill	7–9
Cement kiln	5–6	Clothes washing machine	8–10
Steel mill drives	5–6	Printing press	9–11
Grain harvester	5–7	Computing mechanism	10–11
Cranes	5–7	Automotive transmission	10–11
Punch press	5–7	Radar antenna drive	10–12
Mining conveyor	5–7	Marine propulsion drive	10–12
Paper-box-making machine	6–8	Aircraft engine drive	10–13
Gas meter mechanism	7–9	Gyroscope	12–14

Machine tool drives and drives for other high-quality mechanical systems

Pitch line speed (fpm)	Quality number	Pitch line speed (m/s)
0–800	6–8	0–4
800–2000	8–10	4–11
2000–4000	10–12	11–22
Over 4000	12–14	Over 22

Pitch line speed:

Velocity at the pitch circle



pitch circle

Materials (1)

Steel:

- ปกติจะใช้ medium-carbon steel
- Low surface endurance capacity ต้องทำ Heat treatment (Flame hardening, Induction hardening, Carburizing, Nitriding)
- ถ้าต้องการความแม่นยำ ต้อง surface finish หลังจาก Heat treatment (Grinding)

Cast iron:

ราคาถูก มักจะใช้ ASTM grade 20, 30, 40, 50, 60

มี surface fatigue strength สูงกว่า bending fatigue strength

มีคุณสมบัติที่มีความหน่วงในวัสดุ ทำให้เงียบกว่าเหล็ก

อาจใช้เหล็กหล่อเหนียว (Ductile or Nodular cast-iron) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

Materials (2)

Nonferrous:

- ปกติจะใช้ bronzes
- Bronzes มีสมบัติที่ดีดังนี้ Corrosion resistance, Good wear properties, low friction coefficients

Nonmetallic:

- มักทำจาก Nylon, plastic
- Low weight, quiet operation, low friction, good corrosion resistance
- Light load without lubrication แต่ low thermal conductivity ดังนั้นถ้าทำงานที่ความเร็วสูงต้องมีการ cooling
- High coefficients of thermal expansion ต้องมี backlash มากกว่าเฟืองโลหะ
- วิธีการออกแบบมาตรฐานยังไม่มีเหมือนเฟืองโลหะ