CAPÍTULO 6 TRANSMISIONES POR RUEDAS DENTADAS: MÉTODOS DE TALLADO Y ACABADO, FALLAS Y LUBRICACIÓN

Diseño II

Profesor: Libardo V. Vanegas Useche

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ingeniería Mecánica
15 de abril de 2010

TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.1 MÉTODOS PARA FABRICAR ENGRANAJES

6.1 Métodos para fabricar engranajes: CONFORMACIÓN

- Los dientes se forman todos a la vez
- Fundición
  - En arena (más económica)
  - En dados (de diversos materiales)
  - A la cera perdida (material refractario)
- Sinterizado (metales en polvo + Tra.Ter.)
- Moldeo a presión (para termoplásticos)
- Extrusión, estirado en frío, estampado

6.1 Métodos para fabricar engranajes: CONFORMACIÓN

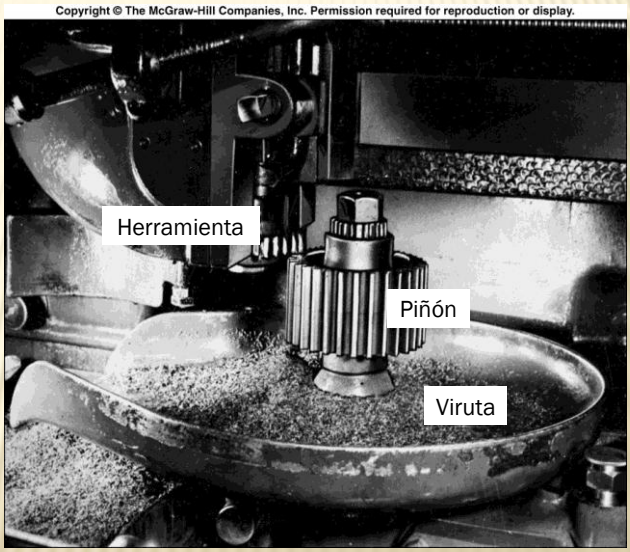
- En general altos costos de herramienta
- Baja precisión
  - $i \neq$ cte → impactos →
    - ↑ esfuerzos
    - ↑ ruido
- Aplicaciones
  - De baja precisión
  - Donde el bajo ruido no sea necesario
  - Para grandes cantidades
  - Para bajas velocidades
  - Ejemplos:
    - Juguetes
    - Aparatos domésticos de baja velocidad y fuerza
    - Revolvedoras de cemento

Confor-mación
- Maquinado (tallado)
  - Desbaste
  - Acabado (terminado)
  - De forma (por copia)
  - Por generación (rodadura)
- Formado en frío

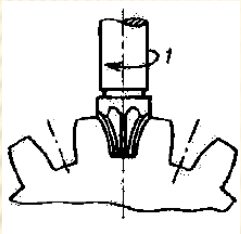
6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO

Los dientes se obtienen por **corte** (generación de **viruta**)

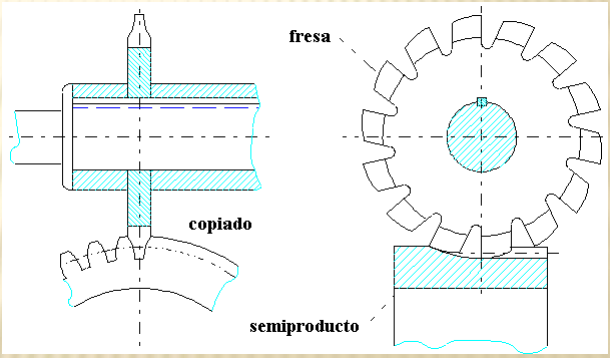
Confor-mación
- Maqui-nado (tallado)
  - Desbaste
  - Acabado (terminado)
  - De forma (por copia)
  - Por generación (rodadura)
- Formado en frío



6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO: de forma



La herramienta tiene la forma del **espacio entre dientes**

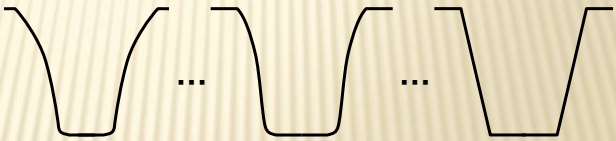


- Conformación
- Maquinado (tallado)
  - Desbaste
  - Acabado (terminado)
  - De forma (por copia)
  - Por generación (rodadura)
- Formado en frío

6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO: de forma

La herramienta tiene la forma del **espacio entre dientes**

- Baja productividad (proc. lento)
- 8 cortadores por cada módulo (y ángulo de presión) ($12 \leq Z_E \leq \infty$)



Z pequeño — *Z* medio — *Z* grande

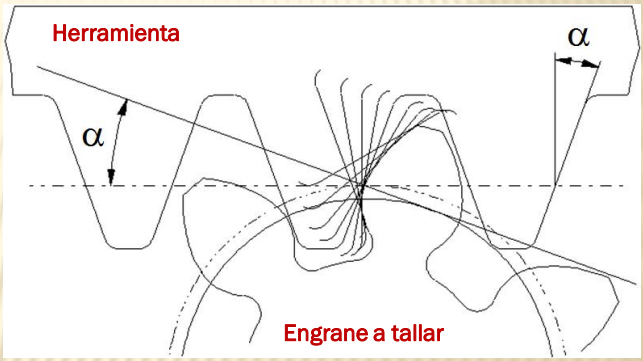
Perfil del filo cortante

- Conformación
- Maquinado (tallado)
  - Desbaste
  - Acabado (terminado)
  - De forma (por copia)
  - Por generación (rodadura)
- Formado en frío

Capítulo 6. Transmisiones por ruedas dentadas: métodos de Tallado y Acabado, Fallas y Lubricación

6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO: por generación

Se realiza el **engrane** entre dos elementos



6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO: por generación

Se realiza el **engrane** entre dos elementos

- Mayor productividad
- 1 herramienta por cada módulo (y ángulo de presión)
- Se usa para corregir dientes

Por ejemplo:

Cualquier *Z*

Perfil del filo cortante

Capítulo 6. Transmisiones por ruedas dentadas: métodos de **Tallado y Acabado**, **Fallas** y **Lubricación**

6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO: desbaste

- ↑ Precisión ($i \approx$ cte)
- ↑ Acabado superficial
- → ↓ impactos, ↓ esfuerzos, ↓ ruido
- Adecuado para:
  - ↑ velocidades
  - Aplicaciones de precisión
  - ↓ ruido

6.1 Métodos para fabricar engranajes: TALLADO: acabado

Mayor costo

- Se efectúa después del desbaste
- ↑ ↑ Precisión ($i \approx$ cte)
- ↑ ↑ Acabado superficial
- → ↓ ↓ impactos, ↓ ↓ esfuerzos, ↓ ↓ ruido
- Adecuado para:
  - ↑ ↑ velocidades
  - Aplicaciones de elevada precisión
  - ↓ ↓ ruido

6.1 Métodos para fabricar engranajes: FORMADO EN FRÍO

- Método más reciente
- Usa matrices o dados que ruedan sobre los cuerpos de los engranes
- Se da forma al engrane mediante deformación plástica
- Buena exactitud
- ↑ Resistencia a la fatiga
- ↑ Productividad
- ↓ Desperdicio de material

TEMAS

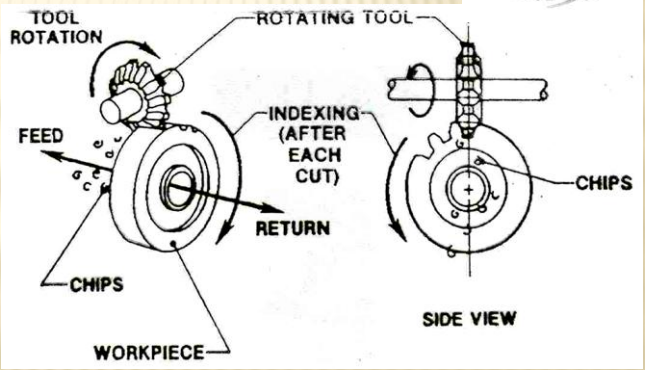
- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.2 MÉTODOS DE TALLADO DE FORMA DE DESBASTE

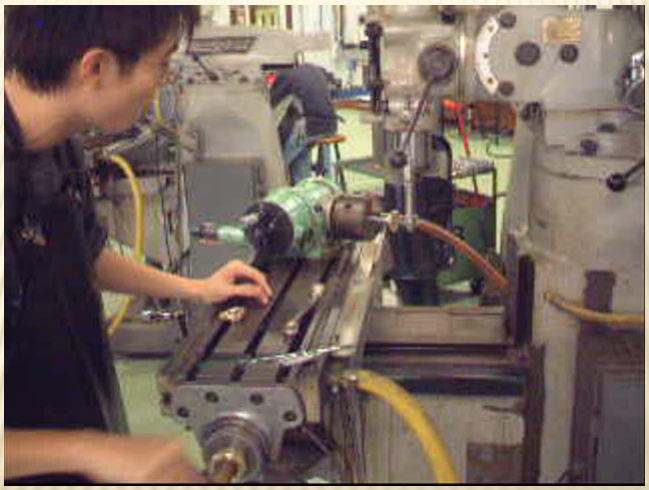
- Fresado con **fresa circular de forma** o módulo
- Fresado con **fresa de extremo** o espigo cónico de módulo
- Mortajado de contorno con cabezas cortantes
- Brochado circular (de ruedas cónicas con dientes rectos)

6.2.1 TALLADO CON FRESA CIRCULAR DE FORMA

- ¿Cómo es el proceso?
- Inexactitudes
- Aplicación



6.2.1 TALLADO CON FRESA CIRCULAR DE FORMA



Mostrar video

6.2.1 TALLADO CON FRESA CIRCULAR DE FORMA

- ¿Cómo es el proceso?
- Inexactitudes
- Aplicación
- Métodos de elevar la productividad

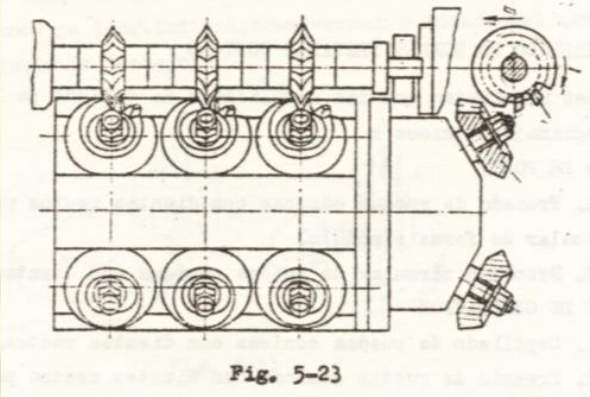
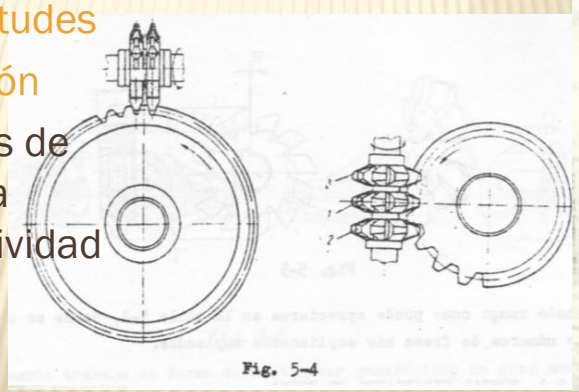
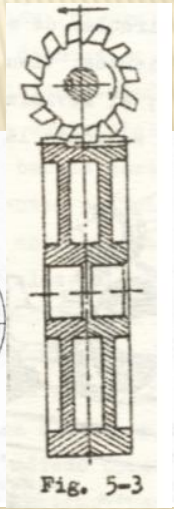


Fig. 5-23

6.2.1 TALLADO CON FRESA CIRCULAR DE FORMA

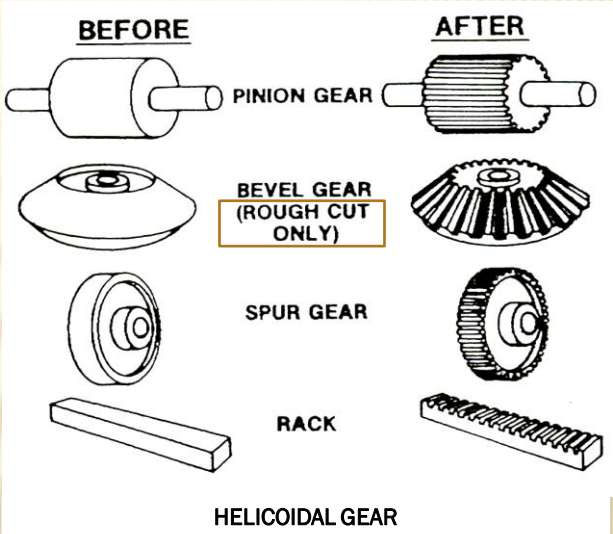
- ¿Cómo es el proceso?
- Inexactitudes
- Aplicación
- Métodos de elevar la productividad





6.2.1 TALLADO CON FRESA CIRCULAR DE FORMA

- ¿Cómo es el proceso?
- Inexactitudes
- Aplicación
- Métodos de elevar la productividad
- Tipos



Capítulo 6. Transmisiones por ruedas dentadas: métodos de Tallado y Acabado, Fallas y Lubricación

6.2.1 TALLADO CON FRESA CIRCULAR DE FORMA

- Selección de la fresa
- Usar $Z_E = \dfrac{Z}{\cos\phi \cos^3 \beta}$

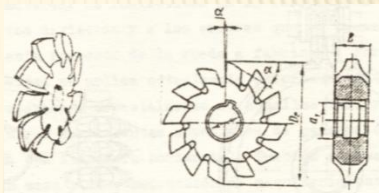


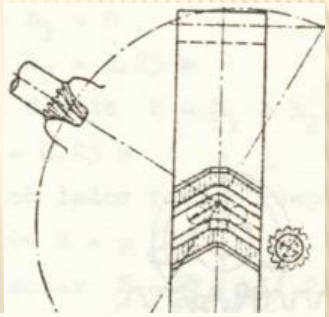
Fig. 5-5

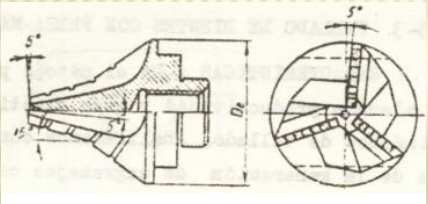
TABLA 5-1 FRESAS CIRCULARES DE FORMA

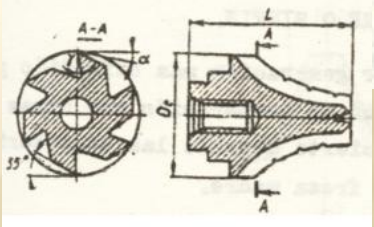
Serie normal		serie auxiliar	
Fresa Nº	Rango de dientes a tallar	Fresa Nº	Rango de dientes a tallar
1	135 hasta cremallera	1 ½	80-134
2	55 - 134	2 ½	42-54
3	35 - 54	3 ½	30-34
4	26 - 34	4 ½	23-25
5	21 - 25	5 ½	10-20
7	14 - 16	7 ½	13
6	17 - 20	6 ½	15-16
8	12 - 13		

6.2.2 TALLADO CON FRESA DE EXTREMO CÓNICO DE MÓDULO

- Para **grandes** ruedas cilíndricas (d. rectos, helicoidales y bihelicoidales)
- Se usan grandes fresadoras o máquinas de avellanar







TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.3 MÉTODOS DE TALLADO DE GENERACIÓN DE DESBASTE

- **Cepillado** de dientes con **cremallera** o peine de tallar
- Mortajado de dientes con **mortaja circular**
- Fresado con **fresa madre** (sinfín o cabeza fresadora)
- Fresado con fresas de peine de tallar o cremallera
- Torneado con buril de generación

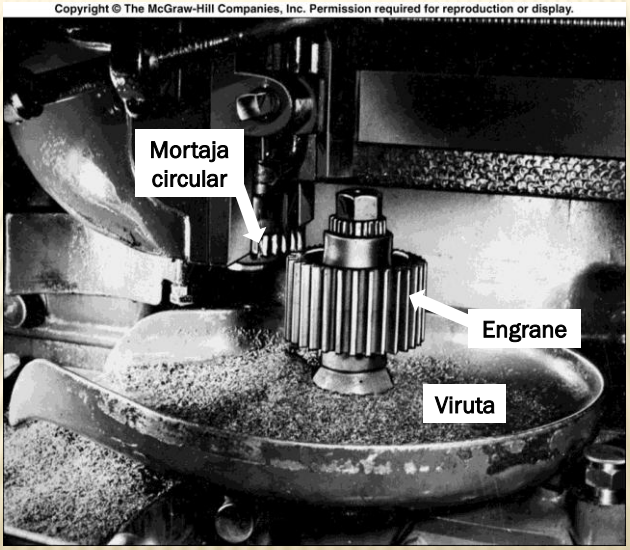
6.3.1 CEPILLADO CON CREMALLERA O PEINE DE TALLAR

- ¿Cómo es el proceso?
- Perfil muy exacto
- Inexactitudes por reposicio-namiento de la cremallera
- Baja productividad

Cualquier engrane debe engranar con una cremallera del mismo módulo y ángulo de presión

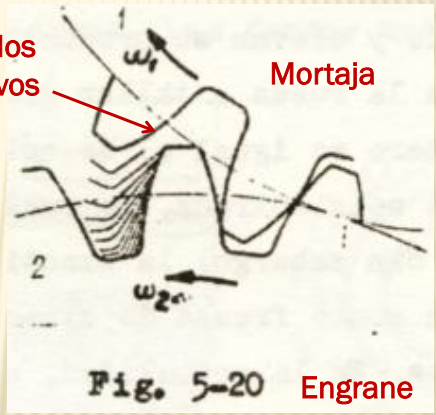
6.3.2 MORTAJADO DE DIENTES CON MORTAJA CIRCULAR

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



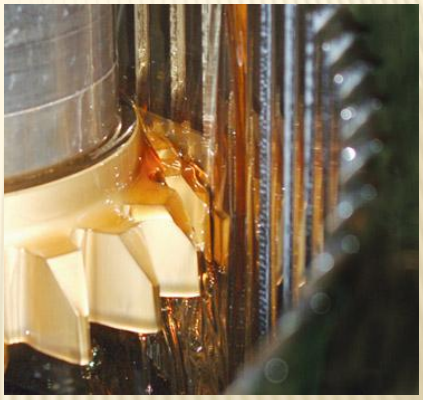
6.3.2 MORTAJADO DE DIENTES CON MORTAJA CIRCULAR

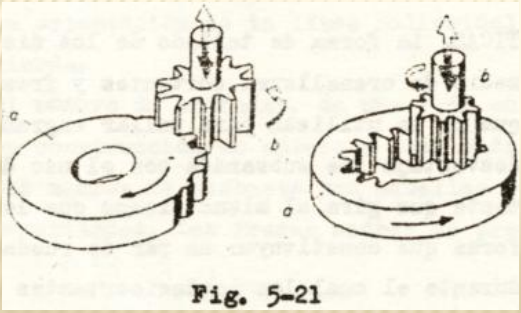
- **Principio y características similares** al tallado con <u>cremallera</u>
- Máquina **mortajadora**



6.3.2 MORTAJADO DE DIENTES CON MORTAJA CIRCULAR

- Engranes exteriores e interiores





6.3.2 MORTAJADO DE DIENTES CON MORTAJA CIRCULAR

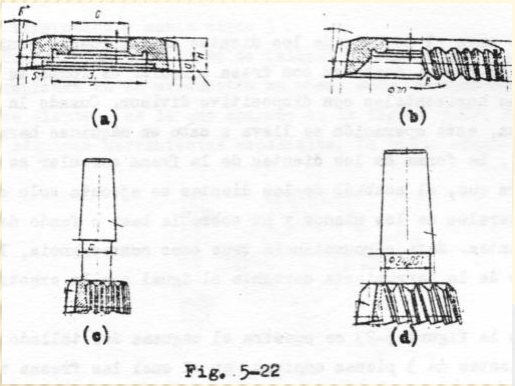
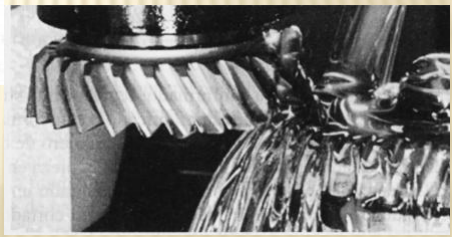


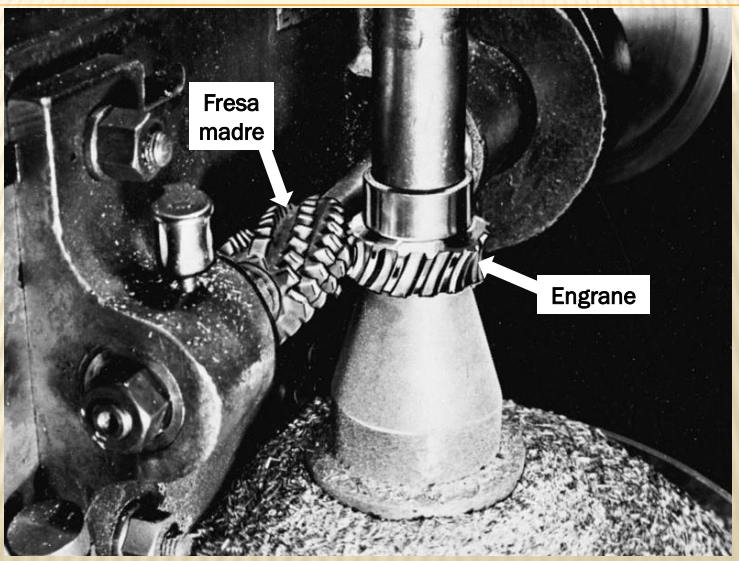
Fig. 5-22

- Tipos de mortajas:
- de dientes rectos o helicoidales
- circular o de cola



6.3.3 TALLADO CON FRESA MADRE O SINFÍN

6.3.3 TALLADO CON FRESA MADRE O SINFÍN



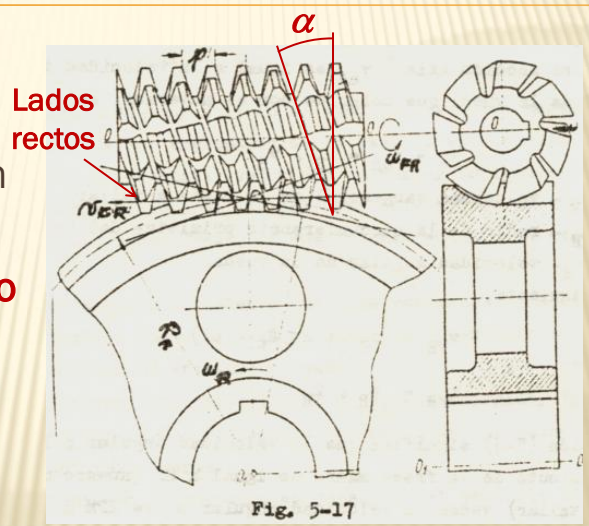
6.3.3 TALLADO CON FRESA MADRE O SINFÍN

Mostrar video

Capítulo 6. Transmisiones por ruedas dentadas: métodos de Tallado y Acabado, Fallas y Lubricación

6.3.3 TALLADO CON FRESA MADRE O SINFÍN

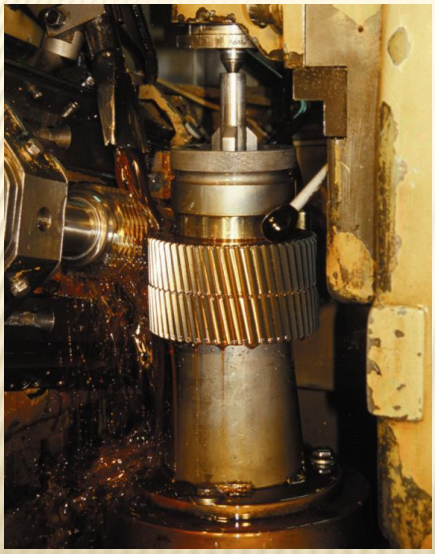
- **Principio similar** a la cremallera
- El de generación **más usado**
- Perfil muy **exacto**
- **Buen acabado superficial**
- **↑ Productividad**



6.3.3 TALLADO CON FRESA MADRE O SINFÍN

- **Forma:**
  - Cilíndrica
  - Dientes de **hélice seccionados**
  - De una o más **entradas**
    ↑ entradas →
    ↑ productividad y ↓ exactitud
  - Derecha o izquierda
  - De desbaste o de acabado y precisión
- Un poco menor **exactitud** que la cremallera por lo complicado de la herramienta
- **Aplicaciones:**
  - Ruedas cilíndricas (d. rectos, helicoidales), TSF, estrellas,…
- Se usa una máquina **generadora**

6.3.3 TALLADO CON FRESA MADRE O SINFÍN



TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.4 MÉTODOS DE ACABADO

6.4 MÉTODOS DE ACABADO

- Eliminan **poco** material
- **De forma** o **por generación**
- ↑ **precisión**
- ↑ **acabado superficial** →
- ↓ impactos, ↓ ruido, ↓ esfuerzos
- Para ↑ **velocidades**
- ↑ **$**
- Algunos métodos: cepillado, rectificado, pulimentado, bruñido

6.4 MÉTODOS DE ACABADO

- Cepillado con **mortaja de alta precisión**
- Rectificado, esmerilado o pulimentado: herramienta en forma de engrane impregnada de **abrasivo** o una **piedra** que se hace recorrer los perfiles
- Bruñido: herramienta dura que induce **deformación plástica**
  - ↑ acabado
  - Endurece por deformación
  - Genera esfuerzos residuales a compresión favorables

6.4 MÉTODOS DE ACABADO

Mostrar video

TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.5 EXACTITUD

- **Errores de elaboración:**
  - **Inexactitudes** de la herramienta y máquina
  - **Deformación** de la herramienta, máquina y pieza a tallar
  - Errores de **montaje** en la máquina
- **Importancia** de la exactitud
  - Afecta i, r_c e **interferencia**
  - →**esfuerzos** (flexión, compresión por contacto), **desgaste, durabilidad, suavidad**

6.5 EXACTITUD

- Estándar 2000-A88 de AGMA
  - Define **tolerancias dimensionales** para dientes de engranajes
  - Mediante un **índice de calidad Q_v**
  - ($3 < Q_v < 16$); 3: menor precisión, 16: mayor
  - **Aplicación y velocidad → Q_v**
  - **Q_v → método de manufactura**

6.5 EXACTITUD

Aplicación y velocidad → Q_v

Tablas de números de calidad AGMA sugeridos :

1. **Para varias aplicaciones**
2. **Según velocidad de la línea primitiva**

Velocidad línea de paso (m/s)	Q_v
0-4	6-8
4-11	8-10
11-22	10-12
>22	12-14

Aplicación	Q_v
Impulsor de malacate para mezcladora de cemento	3-5
Horno para secar cemento	5-6
Impulsores para fresadoras de acero	5-6
Cosechadora de granos	5-7
Grúas	5-7
Prensa de punzón	5-7
Transportador para minería	5-7
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8
Mecanismo para medir gas	7-9
Taladro eléctrico pequeño	7-9
Lavadora de ropa	8-10
Prensa para imprimir	9-11
Mecanismo de computadora	10-11
Transmisión automotriz	10-11
Impulsor para antena de radar	10-12
Impulsor de propulsión marina	10-12
Impulsor para motor de avión	10-13
Giróscopo	12-14

6.5 EXACTITUD

Q_v → Método de manufactura

Q_v	Método de manufactura
3-4	Conformado
5-7	Desbastado
8-11	Cepillado o esmerilado
>11	Pulido o rectificado

6.5 EXACTITUD

Ejemplo: Transmisión automotriz con velocidades periféricas hasta 30 m/s

Aplicación	Q_v
...	
Mecanismo de computadora	10-11
Transmisión automotriz	**10-11**
Impulsor para antena de radar	10-12
Impulsor de propulsión marina	10-12
Impulsor para motor de avión	10-13
Giróscopo	12-14

Velocidad línea de paso (m/s)	Q_v
0-4	6-8
4-11	8-10
11-22	10-12
>22	**12-14**

Q_v	Método de manufactura
3-4	Conformado
5-7	Desbastado
8-11	Cepillado o esmerilado
>11	**Pulido o rectificado**

TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.6 FALLAS

Los dientes fallan debido a:

- Desgaste **normal**
- Deterioro por
  - Diseño incorrecto
  - Fallas en la construcción
  - Mal montaje
  - Lubricación inadecuada
  - Cargas excesivas por mal funcionamiento de la máquina (vibraciones, impactos, sobrecargas)

6.6 FALLAS

Cinco clases de fallas según la AGMA:

- Desgaste
- Fatiga superficial
- Rotura
- Deslizamiento o deformación plástica
- Otras

Desgaste
- Normal
- Por sobrecarga
- Escoriación ligera
- Escoriación fuerte
- Rayado abrasivo
- Por corrosión

6.6 FALLAS - DESGASTE

- Desgaste normal
  - Causa: deslizamiento normal de los flancos de los dientes y contacto metal-metal
  - Proceso: lento
  - Apariencia: superficie brillante y pulida
  - Comentarios: más común a bajas velocidades

Desgaste
- Normal
- Por sobrecarga
- Escoriación ligera
- Escoriación fuerte
- Rayado abrasivo
- Por corrosión

6.6 FALLAS - DESGASTE

- **Desgaste por sobrecarga**
  - **Causa:** cargas fuertes y pequeñas velocidades; mayor contacto metal-metal
  - **Proceso:** más rápido
  - **Apariencia:** superficie brillante y pulida
  - **Comentarios:** más común a bajas velocidades

Desgaste
- Normal
- **Por sobrecarga**
- Escoriación ligera
- Escoriación fuerte
- Rayado abrasivo
- Por corrosión

6.6 FALLAS - DESGASTE

- **Escoriación ligera y fuerte**
  - **Causa:** contacto metal-metal debido a esfuerzos excesivos o lubricación deficiente
  - **Proceso:** rápido
  - **Apariencia:** superficie áspera, rugosa y con rasguños
  - **Comentarios:** se produce la soldadura de partículas de metal por la elevada temperatura. La escoriación fuerte es más severa y se produce generalmente cuando y el piñón y la rueda tienen durezas diferentes

Desgaste
- Normal
- Por sobrecarga
- **Escoriación ligera**
- **Escoriación fuerte**
- Rayado abrasivo
- Por corrosión

6.6 FALLAS - DESGASTE

- **Rayado abrasivo**
  - **Causa**: presencia de pequeñas partículas abrasivas en el lubricante: polvo, metal, arena, impurezas
  - **Apariencia**: rayas verticales finas
  - **Comentarios**: limpiar el reductor y el sistema de lubricación; agregar filtro; aumentar viscosidad del lubricante

Rayado abrasivo severo

Desgaste
- Normal
- Por sobrecarga
- Escoriación ligera
- Escoriación fuerte
- **Rayado abrasivo**
- Por corrosión

6.6 FALLAS - DESGASTE

- **Desgaste por corrosión**
  - **Causa**: acción química de ingredientes activos en el lubricante (ácidos, humedad, aditivos y materiales extraños)
  - **Apariencia**: hoyos superficiales (picado)
  - **Comentarios**: puede afectar los límites de granos produciendo el picado. Cambiar regularmente el aceite y verificar que no esté degradado (brokendown). Aislar el reductor de materiales extraños

Desgaste
- Normal
- Por sobrecarga
- Escoriación ligera
- Escoriación fuerte
- Rayado abrasivo
- **Por corrosión**

6.6 FALLAS

Cinco clases de fallas según la AGMA:

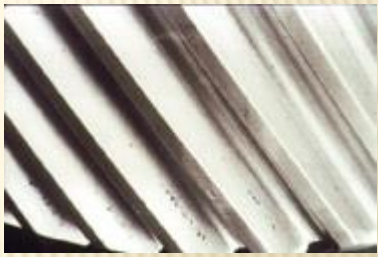
- Desgaste
- Fatiga superficial
- Rotura
- Deslizamiento o deformación plástica
- Otras

Fatiga superficial
- Picado inicial
- Picado destructivo
- Desconchado
- Micropicado

1. Falla por esfuerzos superficiales cíclicos
2. Se nota por la remoción de metal y aparición de cavidades (pequeñas o grandes, crecientes o no)

6.6 FALLAS - FATIGA SUPERFICIAL

- Picado inicial
  - **Causa**: áreas sobreesforzadas debido a errores menores del perfil del diente, irregularidades superficiales o desalineación
  - **Apariencia**: hoyos superficiales (~0.1 mm de profundidad × 0.1 a 0.5 mm de ancho)
  - **Comentarios**: a menudo acaba una vez la carga se distribuya mejor después del desgaste de las zonas "altas"



Fatiga superficial
- **Picado inicial**
- Picado destructivo
- Desconchado
- Micropicado

6.6 FALLAS - FATIGA SUPERFICIAL

- **Picado destructivo**
  - **Causa:** sobrecargas que no se pueden aliviar con el picado inicial
  - **Apariencia:** mayor tamaño o número de hoyos superficiales
  - **Comentarios:** los esfuerzos cíclicos terminan destruyendo el perfil del diente

Fatiga superficial
- Picado inicial
- **Picado destructivo**
- Desconchado
- Micropicado

6.6 FALLAS - FATIGA SUPERFICIAL

- **Desconchado**
  - **Causa:** excesiva fragilidad del material o impactos y vibraciones que producen esfuerzos excesivos (ocurre sólo en engranajes cementados y templados)
  - **Apariencia:** hoyos grandes, no muy profundos e irregulares que tienden a unirse

Fatiga superficial
- Picado inicial
- Picado destructivo
- **Desconchado**
- Micropicado

6.6 FALLAS - FATIGA SUPERFICIAL

- **Micropicado**
  - **Causa:** altas cargas superficiales y generación de calor que producen lubricación límite
  - **Apariencia:** hoyos muy pequeños (< 3 μm)
  - **Comentarios:** tiende a desaparecer si las temperaturas y cargas no son excesivas

Fatiga superficial
- Picado inicial
- Picado destructivo
- Desconchado
- **Micropicado**

6.6 FALLAS

Cinco clases de fallas según la AGMA:
- Desgaste
- Fatiga superficial
- Rotura
- Deslizamiento o deformación plástica
- Otras

Rotura
- Por fatiga
- Por sobrecarga
- Aleatoria

Fractura total o parcial de dientes

6.6 FALLAS - ROTURA

- **Por fatiga**: repetición de esfuerzos (no previstos, por ejemplo, por vibraciones) que sobrepasan la resistencia a la fatiga del material. Comienza con una grieta en la raíz que progresa hasta la rotura.
- **Por sobrecarga**: causado por golpe o sobrecarga
- **Aleatoria**: puede ocurrir en diferentes áreas y puede ser causada por concentradores de esfuerzos tales como grietas de esmerilado y picado, materiales extraños o mal tratamiento térmico

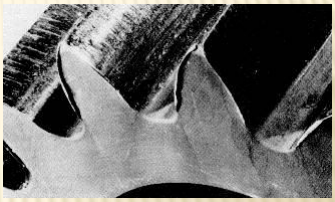
6.6 FALLAS

Cinco clases de fallas según la AGMA:

- Desgaste
- Fatiga superficial
- Rotura
- Deslizamiento o deformación plástica
- Otras
  - Aplastamiento plástico
  - Quemado
  - Vaciado, escoplado o interferencia
  - Agrietado
  - Grietas de temple o de rectificado

6.6 FALLAS

- **Aplastamiento plástico**: producido por baja resistencia de fluencia o esfuerzos elevados debidos a cargas de impacto
- **Quemado**: la superficie del diente se torna oscura. Pérdida de dureza por calentamiento excesivo debido al contacto metal-metal (por sobrecargas, excesos de velocidad, falta de juego en los dientes o falta de lubricación)
- **Vaciado, escoplado o interferencia**: ocurre deformación plástica en los sitios donde ocurre interferencia por mal diseño, construcción o montaje. Ocurre en engranajes no endurecidos
- **Agrietado**: tensiones interiores producen grietas debido a que el material del núcleo es muy blando o a mal tratamiento térmico
- **Grietas de temple o de rectificado** : Tratamiento térmico o rectificado defectuoso; esquinas agudas de las herramientas



Aplastamiento plástico

TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

6.7 LUBRICACIÓN: FUNCIONES

- Los dientes ruedan y deslizan sobre los otros
  - → Deslizamiento (elástico, resbalamiento, etc.)
  - → Se requiere lubricación
- Funciones
  - Reducir al mínimo: contacto metal-metal, coeficiente de fricción, pérdidas, desgaste, sobrecalentamiento (refrigeración), corrosión, impactos (amortiguación), esfuerzos

6.7 LUBRICACIÓN: FALLAS

Una lubricación deficiente puede producir:

- Escoriación
- Rayado abrasivo
- Quemado
- Desgaste por corrosión

6.7 LUBRICACIÓN: MÉTODOS

- **Periódica** (ruedas descubiertas, bajas velocidades)
  - Por goteo
  - Con brocha
- **Permanente** (por inmersión) (cerradas, $v \leq 18$ m/s)
- **A presión** (cerradas, mayores velocidades)
- **Por atomización** (cerradas, mayores velocidades, condiciones especiales)

6.7 LUBRICACIÓN: SELECCIÓN

- **Tipos** de lubricantes para engranajes:
  - Aceites minerales
  - Aceites compuestos (3 a 10% grasa animal)
  - Aceites para extrema presión
  - Grasa
- **Selección** con base en **viscosidad** a determinada temperatura
- **La viscosidad requerida depende de**: **velocidad**, **carga específica** (material del engrane), temperatura ambiente, tipo de engrane o reductor, distancia entre centros, método de lubricación
- **Selección:**
  - Tablas 5-16 a 5-19 de Ocampo (1993)
  - Normas AGMA
  - Tablas del fabricante o proveedor

6.7 LUBRICACIÓN: RECOMENDACIONES

- **Lodos:** evitar lodos de metal, polvo, suciedad, humedad, vapores químicos
- **Limpieza**
- **Cambio de aceite en engranajes cerrados:**
  - 1er cambio: 250 a 300 h
  - 2do cambio: 2500 a 3000 h. Como mínimo cada 6 meses

TEMAS

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste
- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

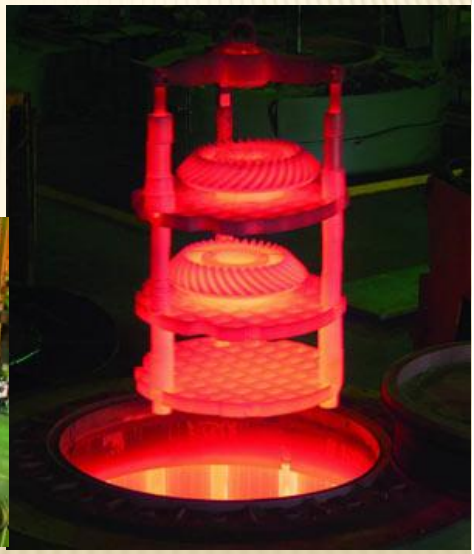
EXTRA: ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

- Existen varios métodos de endurecer los dientes. Los más comunes son:
  - Carburizado
  - Nitrurado
  - Por inducción
  - Por flama

http://www.monografias.com/trabajos30/engranajes/engranajes.shtml

EXTRA: ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

Carburizado

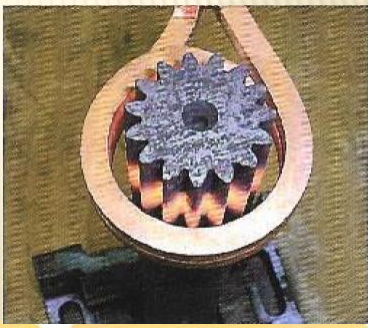


Por flama

EXTRA: ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

Por inducción:

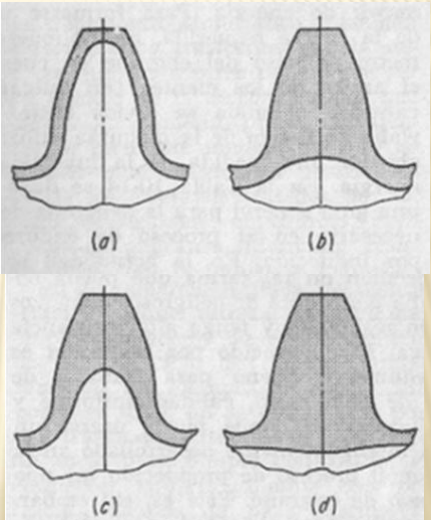
- Temple - chorro de aire (video)
- Temple - chorro de agua (video)



EXTRA: ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

- Carburizado (a)
- Nitrurado (a)
- Por inducción (a,b,c)
- Por flama (d)

Las figuras muestran el endurecimiento **común** producido por los diferentes tratamientos



http://www.monografias.com/trabajos30/engranajes/engranajes.shtml

EXTRA: ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL

Carburizado(a): el engrane cortado se coloca en un medio carburizante y se calienta. La capa superficial de los dientes absorbe el carbono (difusión) durante una o más horas de mantenerlo a temperatura elevada. El carbono penetra cierta profundidad para endurecer el espesor de los dientes requerido.

Nitrurado(a): se aplica a los engranajes de acero aleado. El engranaje a nitrurar recibe un tratamiento de bonificado para darle un endurecimiento promedio. Las zona que no van a ser nitruradas deben ser cubiertas con placas de cobre u otro material adecuado; después se coloca en el horno de nitruración calentándolo a 1000 °F (538 °C). El nitrurado se efectúa mediante gas de amoniaco que se descompone en nitrógeno atómico e hidrogeno sobre la superficie del acero. El nitrógeno atómico penetra lentamente en la superficie del acero y se combina con otros elementos para formar nitruros de extraordinaria dureza. Un acero con aleación de exclusivamente de carbono no puede ser nitrurado con éxito.

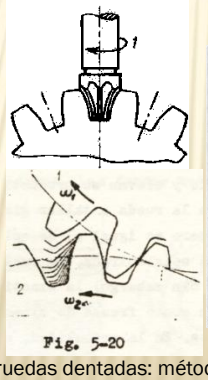
Endurecimiento por inducción (b,c): El engrane es endurecido superficialmente por medio de corrientes alternas de alta frecuencia. El proceso consiste en enrollar una bobina de inducción alrededor de la pieza; generalmente la pieza es girada dentro de la bobina. En pocos segundos los dientes son llevados por encima de la temperatura crítica (de un color rojo intenso); después de este proceso el engranaje es retirado de la bobina y se le da un temple controlado por medio de un baño de rocío aplicado por un rociador anular o se le sumerge en un baño agitado. Antes del endurecimiento por inducción el disco del engranaje se trata térmicamente.

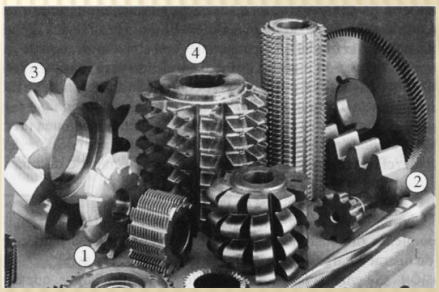
Endurecido con flama (d): es por medio de una flama oxciacetilénica empleando quemadores especiales. Para obtener un calentamiento uniforme, generalmente se hace girar el engranaje en la flama. El engranaje es semiendurecido y los dientes se rebajan y se les da el acabado final antes de endurecerlos.

http://www.monografias.com/trabajos30/engranajes/engranajes.shtml

RESUMEN

- 6.1 Métodos de fabricación de engranajes
- 6.2 Tallado de forma de desbaste
- 6.3 Tallado por generación de desbaste





RESUMEN

- 6.4 Acabado
- 6.5 Exactitud
- 6.6 Fallas
- 6.7 Lubricación

Clases de **fallas** (AGMA):

- Desgaste
- Fatiga superficial
- Rotura
- Deslizamiento o deformación plástica
- Otras

Exactitud

- Estándar 2000-A88 de AGMA: **índice de calidad Q_v** ($3 < Q_v < 16$)
- **Aplicación y velocidad → Q_v**
- **Q_v → método de manufactura**

Lubricación

- **Muchas funciones**
- **Tipos:** periódica (por goteo, con brocha), permanente, a presión, por atomización
- **Selección** con base en **viscosidad, la cual depende de**: **velocidad**, **carga específica**, temperatura ambiente, tipo de engrane o reductor, distancia entre centros, método de lubricación