

Modellieren von Zahnrädern mit Pro/ENGINEER Teil 2:

Schrägstirnrad und Kegelrad

Es ist nicht trivial, aus einem Modell mit Geradverzahnung ein Kegel- oder Strinrad abzuleiten. Mit zusätzlichen Konstruktionselementen lässt sich dies aber realisieren.

- **Spezial Elemente, Variablen Schnitt ziehen** – mit der Option **konstanter Schnitt**:

Dieses KE gibt dem Benutzer die Möglichkeit, ein vorhandenes Profil entlang einer Kurve zu ziehen und dabei durch eine weitere Kurve die Orientierung des Schnittes beliebig im Raum zu steuern.

- **Flächenerzeugung, Spezial Elemente, Variablen Schnitt ziehen** – mit der Option **variabler Schnitt**: Hiermit wurde die Zahnprofilgeometrie gesteuert über eine Formel erzeugt.

- **Musterung von kopierten Konstruktionselementen**:

Der Vorteil liegt klar auf der Hand. Hier wird nur das kopierte Element über einen Winkel um die Mittelachse gemustert, so dass man keine Rücksicht auf die Art, wie das Konstruktionselement erzeugt wurde, nehmen muss. Dies ist nicht der Fall, wenn man das Konstruktionselement selbst mustern möchte. Dann muss sich jede Musterung des KEs durch die Änderung der Bemessung aus dem Original-KE ableiten können.

1. Schrägstirnrad

Das Konzept für die Erzeugung des Schrägstirnrades ist folgendes:

- **Komplette Erzeugung des Zahnprofils** als eine Fläche => **Flächenerzeugung, Spezial Elemente, Variablen Schnitt ziehen** – mit der Option **variabler Schnitt**.

Das Zahnprofil hat ab dem Radius größer oder gleich dem Grundkreis die Form einer Evolvente. Beim Radius kleiner als der Grundkreis liegt das

Zahnprofil exakt auf der Geraden, die den Zahnradmittelpunkt und den ersten Punkt der Evolventen auf dem Grundkreis verbindet (also eine Art Tortenstück). Um diese Form zu erzielen, wird die Funktion der Zahndicke abgeleitet.

- **Erzeugung einer Projektionskurve auf der Mantellinie des Zylinders mit Radius gleich dem Grundkreis.**

Die Tangente zu dieser Kurve schließt den Schrägungswinkel Beta zur Stirnfläche des Zylinders. Wenn auf der Mittelachse des Zahnrades ein Koordinatensystem erzeugt wird, wobei die Z-Achse gleich der Mittelachse ist, kann man die Kurve durch die folgende Formel beschreiben (Zylinderkoordinaten). ZDICKE ist die Dicke des Zahnrades und RT ist der Radius des Teilkreises:

$$\begin{aligned} \text{GAMMA} &= 2 * \text{asin} \\ & \left(\frac{\text{ZDICKE} * \tan(\text{BETA})}{(2.0 * \text{RT})} \right) \\ z &= \text{ZDICKE} * (t - 0.5) \\ r &= \text{RT} \\ \text{theta} &= \text{GAMMA} * (t - 0.5) \end{aligned}$$

Erzeugung einer Fläche (oder Solid) Zug-KE mit variablem Schnitt, SenkrZuSteuerKurv, Schnitttyp = konstant. Dieses KE verkörpert die vollständige Geometrie des Zahnes.

Transformieren der Fläche über #Konstruktionselement, #Kopieren, #Bewegen, #Abhaengig, #Rotieren ...

Dieses transformierte KE kann jetzt über die Transformation (Drehwinkel) gemustert werden. Wichtig ist, dass wir auf keinen Fall das Ursprungskonstruktionselement mustern können! Das wäre nur möglich, wenn wir im Voraus alle Elternreferenzen über einen Winkel rotiert erzeugt hätten.

- **Soweit zum Konzept und hier in Kurzform die für die Erzeugung notwendigen Arbeitsschritte:**

1. Ausgehend von der Standard-Schablonen-Datei „mmns_part_solid“ ein neues Teil erzeugen
2. Folgende Parameter definieren

ZDICKE	Reelle Zahl	→Zahnraddicke
ZA	Ganzzahl	→Zähnezahl
BETA	Reelle Zahl	→Schrägungswinkel
M	Reelle Zahl	→Zahnradmodul

3. Erzeugen des Fußkreiszylinders (Bild1)
4. Folgende Beziehungen definieren. Die letzten Zeilen betreffen die später erzeugten Elemente und werden deswegen zu diesem Zeitpunkt noch nicht erkannt. Man kann diese Zeilen auskommentieren /* und später reaktivieren oder entsprechend modifizieren:

/* RT	→ Teilkreisradius
RT	= ZA * M / 2
/* ALPHA	→ Eingriffswinkel
ALPHA	= 20
/* ev_alpha	→ EVOLVENTE des EINGRIFFWINKELS
ev_alpha	= tan(ALPHA) - PI * ALPHA / 180
/* RG	→ Grundkreisradius
RG	= RT * cos(ALPHA)



Roland Raytchev

➔ Im Anschluss an den Artikel aus der PTC iNEWS Quartal 1/2001, weitere Betrachtungen für die Modellierung von Zahnrädern.

<i>/*</i> RF → Fusskreisradius
RF = RT - M*(1 + 0.25)
<i>/*</i> RK → Kopfkreisradius
RK = RT + M
<i>/*</i> Winkel des schrägen Zahnes
GAMMA = 2 * asin ((ZDICKE*tan(BETA))/(2.0*RT))
d28 = RG -M*3/2
d27 = RK -RG + M*5/4
<i>/*</i> Fusskreisdurchmesser
d0=RF*2
<i>/*</i> Zahndicke
d1=ZDICKE
<i>/*</i> Winkel zwischen 2 Zähnen
d115 = 360/ZA
<i>/*</i> Zähnezahl
p116 = ZA

5. Erzeugen Sie eine Kurve aus der Gleichung. Diese Kurve wird die Leitkurve für das später zu erzeugende Profil des Zahnes. Zur Erzeugung wählen Sie das Kurve-Icon. Mit Gleichung -> Wahl des Standardkoordinatensystems -> Zylindrisch und geben Sie folgende Gleichung ein:

GAMMA = 2 * asin ((ZDICKE*tan(BETA))/(2.0*RT))
z=ZDICKE*(t-0,5)
r=RT
theta=GAMMA*(t-0,5)

6. Zug-KE, mit variablem Schnitt Drehrichtung (als Fläche, siehe Bild 2). Die Normalenrichtung ist durch die Ebene TOP vordefiniert. Die Bemassung im Teil d32 ist im Skizzenmodus die Bemassung sd4. Das ist die Dicke des Zahnprofils abhängig vom Radius (RY). Um die Zahndickefunktion zu realisieren, sollten folgende Skizzenbeziehungen definiert werden. Wie erwähnt ist die Form des Profils oberhalb des Grundkreises eine Evolvente. Unterhalb verläuft sie radial zur Zahnradmitte. Die Beziehungen lauten:

RY = RG - M + trajpar* (RK + M/8 - (RG -M))
SG = 2*RG*(PI/(2*ZA) + EV_ALPHA)
if RY < RG
sd4 = RY*SG/RG
ELSE
ALPHA_Y = acos(ZA*M*cos(ALPHA) /(RY *2))
EV_Y=
tan(ALPHA_Y) - PI*ALPHA_Y/180
sd4= 2*RG*(PI/(2*ZA) + EV_ALPHA - EV_Y)
ENDIF

7. Erzeugen des Konstruktionselementes => Fläche:
Zug-KE mit variablem Schnitt,
SenkrZuSteuerkrv (siehe Bild 3)
(siehe Tabelle 1)

8. Transformieren der Fläche über
#Konstruktionselement,
#Kopieren,#Bewegen,#Abhaengig,
#Rotieren ...
Der Rotationswinkel ist irrelevant
an dieser Stelle.

9. Mustern des in Punkt 8 kopierten
KE (siehe Bild 4)

10. Erzeugen eines Volumenkörpers:
Sammelfläche verwenden. Als
Referenz wurde die in Punkt 8
erzeugte Transformationsfläche
verwendet.

11. Mustern des Volumenkörpers
als Referenzmuster

12. Erzeugen einer Folie für die
Bezugsflächen und -kurven.
Hinzufügen der Erzeugungskurven
und Flächen zu dieser Folie
und Ausblenden dieser.

Die Geometrie ist jetzt komplett und kann durch die Parameter ZA – Zähnezahl, M – Modul, und BETA – Schrägungswinkel parametrisch gesteuert werden (siehe Bild 5). ➔

Tabelle 1

Nr.	Elementname	Info	Status
1	Schnitttyp	Konstant	Definiert
2	UrsprungLeit	Skizzierte Leitkurve	Definiert
3	X-Leitkurve	Ausgewählte Leitkurve	Definiert
4	Attribute	Geschloss Enden	Definiert
5	Schnitt		Definiert

Hier ist der Schnitt eine Kopie der Umrandung der in Punkt 7 erzeugten Fläche. Die Fläche wird in die Skizze mit der Nutze-Kante-Funktionalität übernommen.



2. Kegelrad mit Schrägverzahnung

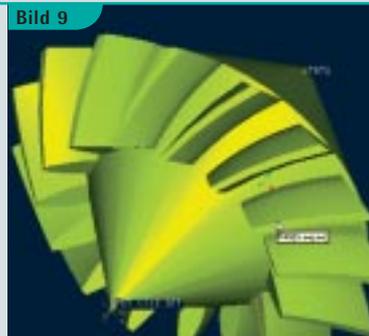
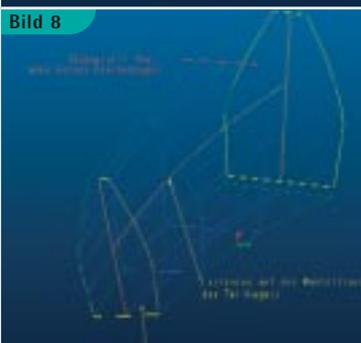
Die Modellierung von Kegelrädern ist auf Grund der Geometrie einiges aufwändiger im Vergleich mit der Modellierung von Stirnrädern. Trotzdem ist diese Aufgabe ohne besondere Schwierigkeit mit Pro/ENGINEER zu meistern. Mit dem gewählten Beispiel Kegelrad mit Schrägverzahnung lassen sich die meisten Problemstellungen der Modellierung von Zahnrädern demonstrieren.

Das Modellierungskonzept ist komplexer, weil es kein Konstruktionselement gibt, welches parametrisch gleichzeitig von zwei Trajektorien (Leitkurven mit Leitkurvenparameter 0..1) mathematisch abhängen kann, so dass man den Schnitt über

trajpar_v und **trajpar_u** direkt steuern kann. In Pro/ENGINEER lässt sich diese Aufgabe durch die Verwendung des Konstruktionselementes : **Koerper: Zug-Verbundkoerper, Drehrichtung, Skizzierte Schnitte** ; lösen. Für dieses KE werden eine Leitkurve und zwei Berandungsprofile benötigt. Die Berandungsprofile verwenden dieselbe Technik wie sie im Kapitel 1, Punkt 5, beschrieben wurde – die Funktion der Zahndicke. Als Leitkurve wird eine Projektionskurve auf der Mantellinie des Teilkegels verwendet. Die Tangente zu dieser Kurve schließt den Schrägungswinkel Beta zur Grundfläche des Kegels. Wenn man durch die Spitze des Kegels des Kegelzahnrades ein Koordinatensystem erzeugt, wobei die Z-Achse gleich ist der Mittelachse, dann kann man die Kurve durch die Formel (siehe unten) beschreiben (Zylinder Koordinaten). Hier ist ZDICKE die Dicke des Zahnrades, BETA ist der Schrägungswinkel, RTM ist das Zahnmodul für den mittleren Rückenkegel, RE ist der Radius des äußeren Rückenkegels und Delta ist der Kegelwinkel.

Weitere Informationen

Die Informationen aus diesem Artikel können Sie im Internet unter http://www.ptc.com/cs/gr_22/howto/agf5043/agf5923_g.htm – Vorgeschlagene Verfahrensweise zur Erzeugung von Schrägstirnrädern und Kegelrädern – finden. Hier können Sie auch die beiden Beispiele herunterladen.



$$\begin{aligned} \text{GAMMA} &= \text{asin} \\ & \left(\frac{\text{ZDICKE} \cdot \tan(\text{BETA})}{\text{RI} \cdot \sin(\text{DELTA}) + \text{ZDICKE} \cdot \tan(\text{DELTA})} \right) \\ z &= \text{RI} \cdot \cos(\text{DELTA}) + \text{ZDICKE} \cdot t \\ r &= \text{RI} \cdot \sin(\text{DELTA}) + t \cdot \text{ZDICKE} \cdot \tan(\text{DELTA}) \\ \text{theta} &= \text{asin}(\text{ZSICKE} \cdot t \cdot \tan(\text{BETA}) / r) \end{aligned}$$

Weitere mathematische Abhängigkeiten bestehen durch:

$$\begin{aligned} / * & \text{Übersetzung U, Zähnezahle von Rad1} \\ & \text{Z1 und Rad 2 Z2} \\ U &= \text{Z2/Z1} \\ / * & \text{DELTA = Kegelwinkel} \\ \text{DELTA} &= \text{atan}(1/U). \end{aligned}$$

Die folgende Vorgehensweise wird vorgeschlagen:

1. Ausgehend von der Standard-Schablonen-Datei „mmns_part_solid“ ein neues Teil erzeugen

2. Erzeugen einer Kurve aus Gleichung (Zylindrisches Koordinatensystem) unter der Verwendung der oben erwähnten Formeln
3. Erzeugen der Leitkurve für das Zahnradprofil am Innenrückenkegel (siehe Bild 6)
4. Erzeugen der Leitkurve für das Zahnradprofil am Außenrückenkegel
5. Erzeugen des Zahnprofils am Innenrückenkegel
6. Erzeugen des Zahnprofils am Außenrückenkegel (Bild 7)
7. Erzeugen der Zahngeometrie als Volumenkörper: Zug-Verbundkoerper, Drehrichtung, skizzierte Schnitte (Bild 8)
8. Transformieren des in 7. erzeugten KEs über #Konstruktionselement, #Kopieren, #Bewegen, #Abhaengig, #Rotieren ... Der Rotationswinkel ist irrelevant an dieser Stelle.
9. Mustern des kopierten KEs über den Rotationswinkel
10. Erzeugen des Fußkegels als Rotationskoerper (Bild 9)
11. Erzeugung der Materialschnitte und weiterer Bohrungen
12. Bezüge auf Folien setzen und ausblenden. Jetzt ist die Kegelzahnradgeometrie komplett (Bild 10) ●