

DIE FLANKENFORMFEHLER DER GEFRÄSTEN ZAHNRÄDER UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER REALEN SCHNEIDKANTEN DES WÄLZFRÄSERS

Gheorghe OPROESCU

“Dunarea de Jos” University of Galati, e-mail gheorghe.oproescu@ugal.ro

Keywords: Wälzfräser, reale Schneidkante, Stirnzahnräder, Flankenformfehler.

Zusammenfassung. Der Wälzfräser hat krümmte Schneidkante als Durchschnitt zwischen zwei krümmte Schraubenflächen. Die Schneidkanten gehören nicht mehr einer richtigen Schnecke und erzeugen Flankenformfehler beim Zahnrad. Der Beitrag stellt die Art der Bestimmung dieser Fehler beim Stirnzahnräder und die berechneten Werte dar.

1. EINLEITUNG

Die Schneidkanten des Wälzfräasers erscheinen als Durchschnitt zwischen zwei schraubenförmigen Flächen, b.z.w. die Spannutenfläche und die Freifläche. Dadurch krümmen sich die reale Schneidkanten und gehören nicht mehr der ursprünglichen Einhüllende des Wälzfräasers. Die analytische Gestaltung der realen Schneidkanten sind in [7] dargestellt. Die Abweichungen der Schneidkanten bewirken eigenartige Flankenformfehler an die hergestellten Zahnräder. Die Berechnung dieser Fehler kann analitisch gemacht werden und lassen sie sich sehr einfach auf die Rechenmaschine programmiert werden. Dadurch bekommt man die reale Abweichungen der realen Zahnradflankenform von der evolventischen Form.

Die Schneidkanten der Wälzfräser gehören nicht mehr einer evolventischen Schnecke. Deswegen haben die Begriffe “Teilkreisdurchmesser”, “Grundzylinderdurchmesser” oder “Eingriffswinkel” des Wälzfräasers nur eine theoretische Bedeutung. Der Wälzfräser hat seine eigenen Dimensionen welche eine so genannte äquivalente reine evolventische Schnecke charakterisiert. Diese äquivalente evolventische Schnecke bildet mit dem Zahnrad eine fehlerfreie Getriebe und verlegen regelmässig die Kontaktpunkten zwischen ihren gegenseitigen Flanke auf die Eingriffsteilungstrecke entlang. Die Fehler der Zahnradflankenform werden unter Berücksichtigung der Abweichungen zwischen der realen Schneidkante des Werkzeuges und der theoretischen, fehlerfreien Kontaktpunkten auf die Eingriffslinie entlang berechnet.

2. DIE BERECHNUNG DER ZAHNRADFLANKENFORMFEHLER

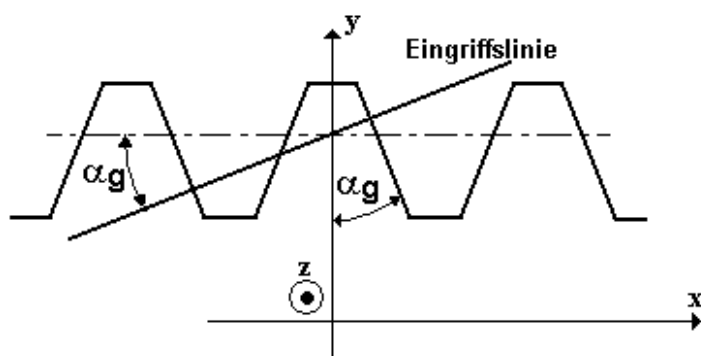


Abbildung 1. Die Eingriffslinie

Die Abweichungen auf die Eingriffslinie entlang, Abbildung 1, erscheinen in einem zum Grundzylinder des Werkzeuges Tangentebene und entstehen aus drei elementaren Abweichungen der realen Schneidkante: Abweichung auf die Achse x, auf die Achse y und auf die Achse z, b.z.w. $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. Weil die Koordinaten der Schneidkante

positive oder negative Werte haben können, die Abweichungen $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ lassen sich wie unten berechnet werden

$$\begin{cases} \Delta x = |x_w| - |x_{ev}| \\ \Delta y = |y_w| - |y_{ev}| \\ \Delta z = |z_w| - |z_{ev}| \end{cases} \quad (1)$$

in dem der Index "w" auf das Werkzeug und "ev" auf die äquivalente evolventische Schnecke sich bezieht.

Die Koordinaten x_w, y_w, z_w stammen aus der Gleichungen der realen Schneidkante [5], [7] und die Koordinaten x_{ev}, y_{ev}, z_{ev} stammen aus der Gleichungen welche die Flanken einer evolventischen Schnecken beschreiben [5], [7]. Die Differenz auf die Achse x wirkt eine Abweichung der Zahndicke des Wälzfräasers, eine positive Differenz nimmt die Zahndicke zu. Der entsprechende Eingriffsteilungsfehler $E_{a \Delta x}$ lassen sich wie unten berechnet werden [1], [5]

$$E_{a \Delta x} = \Delta x \cdot \cos(\alpha_n) \cdot \cos(\omega_d) \quad (2)$$

in dem α_n der normalen Eingriffswinkel auf den Teilkreisdurchmesser, ω_d der Schrägungswinkel auf den Teilzylinder des Wälzfräasers sind.

Die Differenz auf die Achse y wirkt eine radiale Abweichung der Schneide, eine positive Differenz ist ähnlich wie ein Zunehmen der Zahndicke. Ihr entsprechende Eingriffsteilungsfehler $E_{a \Delta y}$ ist [1], [5]

$$E_{a \Delta y} = \Delta y \cdot \sin(\alpha_g) \quad (3)$$

in dem α_g die Neigung der Eingriffsteilungstrecke auf den Grundzylinder des Wälzfräasers ist

$$\cos(\alpha_g) = \cos(\alpha_n) \cos(\omega_d) \quad (4)$$

Die Differenz auf die Achse z wirkt eine Abweichung der Spanfläche. Eine positive Differenz ist ähnlich wie ein Abnehmen der Zahndicke und bringt einen Eingriffsteilungsfehler $E_{a \Delta z}$ [1], [5]

$$E_{a \Delta z} = \Delta z \cdot \tan(\alpha_k) \cdot \sin(\alpha_g) \quad (5)$$

in dem α_k der Kopffreiwinkel der Wälzfräserzähne ist.

Die positive Abweichungen $E_{a \Delta x}$ und $E_{a \Delta y}$ wirken dieselben positiven Abweichungen der Eingriffsteilungstrecke, die positive Abweichung $E_{a \Delta z}$ wirkt eine negative Abweichung der Eingriffsteilungstrecke. Deswegen wird der gesamten Fehler auf die Eingriffsteilungstrecke E_a (oder der Zahnradflankenformfehler ε) wie weiter berechnet

$$\varepsilon = E_a = E_a \Delta x + E_a \Delta y - E_a \Delta z \quad (6)$$

3. NUMERISCHE BEISPIELE DER GEFRÄSTEN ZAHNRADFLANKENFORM UND ZAHNRADFLANKENFORMFEHLERFEHLER

Als Beispiel sei ein zur rechten Hand eingangiger Wälzfräser von Normalmodul $m_n = 4$, Eingiffswinkel $\alpha_n = 20^\circ$ und verschiedenen Teilkreisdurchmessern, welche verschiedene Werte der Schregung ω_d gibt. Die Zähne haben verschiedenen Kopffreiwinkeln α_k und sind am verschiedenen Winkeln $\Delta\theta$ nachgeschliffen. Die Zahnhöhe wurde in mehreren Punkten geteilt und die berechneten Flankenformfehler von

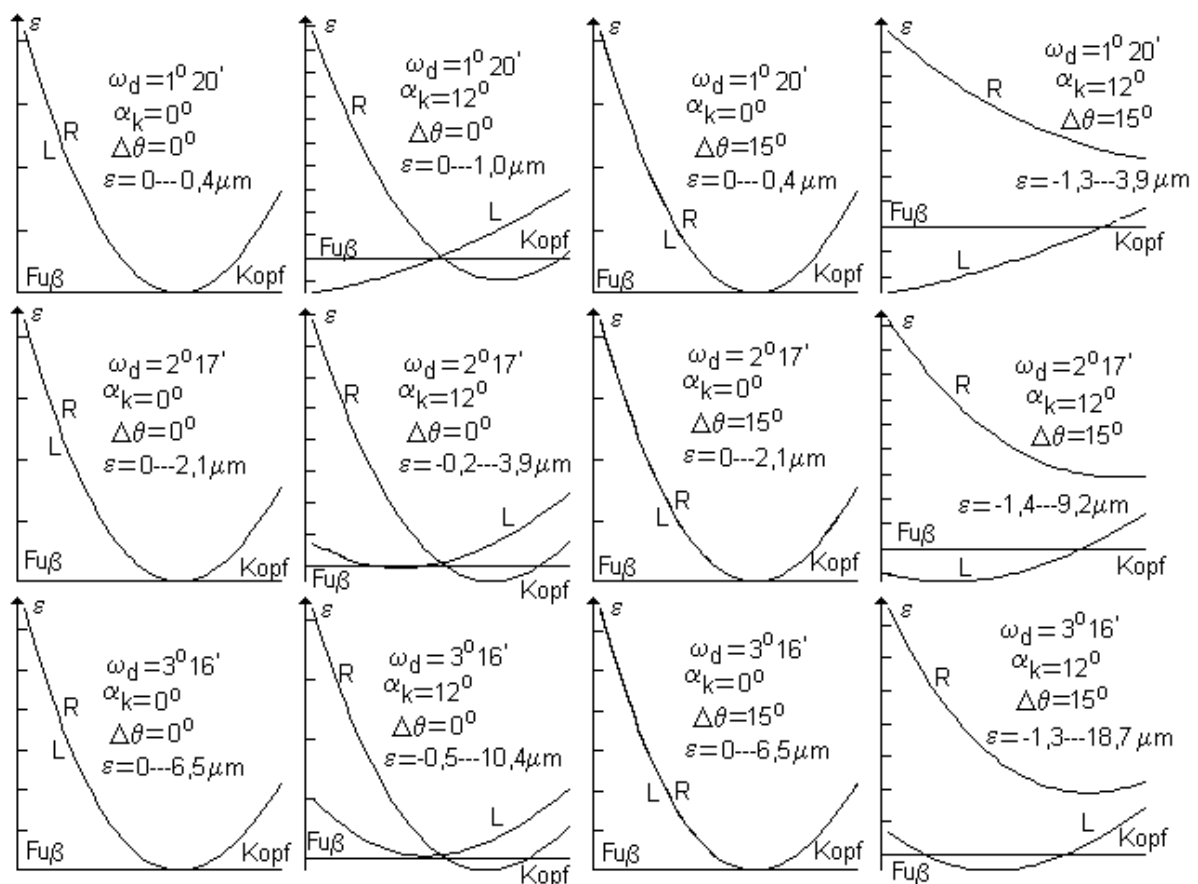


Abbildung 2. Die Flankenform und Flankenformfehler

(6) sind in Abbildung 2 grafisch dargestellt, vom Fuß bis zum Kopf, für die rechte (R) und linke (L) Flanke. Aus Abbildung 2 sind einige wichtige Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Die Flankenformfehler steigen sehr schnell mit dem Schregungswinkel ω_d , sogar für die Werkzeuge, welche keinen Freiwinkel haben. Dies ist schon sehr bekannt, aber mit der dargestellten Methode lassen sich die exakten Fehler auf die Zahnhöhe berechnet werden.
- Der Freiwinkel und dadurch die radiale Hinterarbeit hat als Folge eine Unsymmetrisierung der Fehler auf die rechte und linke Flanke. Diese Unsymmetrisierung ist sehr stark beeinflusst vom Schregungswinkel ω_d und Nachschleifenwinkel $\Delta\theta$.

Eine ausführliche Darstellung der Einflüsse verschiedener Parametern des Werkzeuges auf die Flankenformfehler sind in folgenden Abbildungen dargestellt. Es wurden 4 Parametern gewählt, b.z.w. der Schregungswinkel ω_d , der Kopffreiwinkel α_k , der Nachschleifenwinkel $\Delta\theta$ und der normalen Eingriffswinkel α_n und ihre Werte in einem

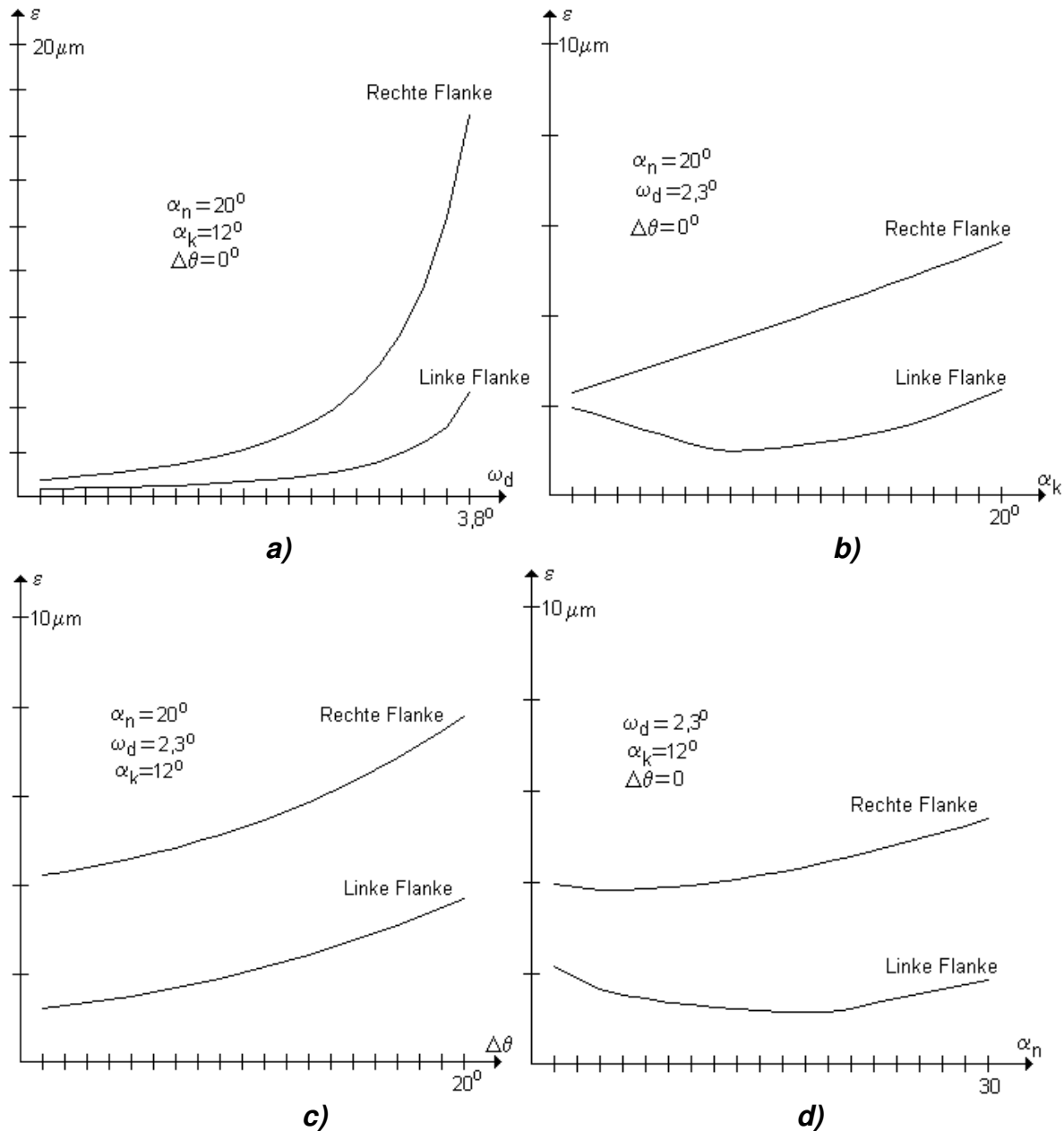


Abbildung 3. Der Einfluss verschiedener Parametern auf die Flankenformfehler

üblichen Intervall geändert. Die Fehler bei rechten und linken Flanken sind als maximale Fehler berücksichtigt, b.z.w. als Differenz zwischen maximalen und minimalen Abweichungen von der evolventischen Form auf die Zahnhöhe entlang.

Abbildung 3a) stellt den Einfluss des Schregungswinkels ω_d . Es ist sehr deutlich zu sehen dass der Schregungswinkel den grössten Einfluss auf die Flankenformfehler hat und erhöht gleichzeitig die Unsymmetrisierung zwischen rechten und linken Flanken. Die anderen Parametern , Abildung 3b), 3c) und 3d), haben einen kleineren Einfluss und

daraus der Eingriffswinkel α_n beeinflusst im niedrigsten Mass. Es ist auch bemerkbar dass der Eingriffswinkel sogar einen optimalen Wert für minimalen Fehler um 6° für die rechte Flanke und um 26° für die linke Flanke hat.

Eigene Versuche des Verfassers auf numerisches Rechenmodel zeigen dass der Einfluss des Normalmodules m_n auf die Flankenformfehler rein proportional ist. Dadurch, die Fehler beim jeden gefrästen Zahnrad können sehr einfach aus der Abbildung 3 ermittelt werden, wenn die im Abbildung 3 dargestellte Werte erst durch 4 geteilt and dann mit dem gewünschten Normalmodul multipliziert werden.

SCHRIFTUM

- [1] Borchert, W. Untersuchungen über die Auswirkung von Wälzfräserfehlern auf die Flankenform der Stirnradverzahnung. Dissertation, T.H. Aachen, 1972.
- [2] Duca, Zoltan. Teoria sculelor aschietoare. Editura Tehnica, Bucuresti, 1967
- [3] Enache, Stefanuta. Oproescu, Gheorghe. The Establiment of Pozitioning Errors Influence of the Paralel Hobbing Cutter on the Machining Accuracy of Spur Wheels. Annals of the CIRP, vol. 30-1981, pg. 293-297;
- [4] Enache, Stefanuta. Minciu, Costantin. Proiectarea asistata a sculelor aschietoare. Editura Tehnica, Bucuresti, 1983.
- [5] Oproescu, Gheorghe. Contributii privind studiul influentei erorilor frezelor melc asupra preciziei de pelucrare a rotilor dintate. Teza de doctorat, Institutul Politehnic din Bucuresti, 1980.
- [6] Oproescu, Gheorghe. Ecuatia generala a suprafetelor melcate. Sesiune de comunicari stiintifice, IIS Pitesti, 1981, pg. 83-91;
- [7] Oproescu, Gheorghe. Die reale Schneidkanten des Wälzfräasers. ANNALS OF THE ORADEA UNIVERSITY, Fascicle of management and Technological Engineering, 2007.