

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
und des Ministers für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau
von Leo Brandt

Prof. Dr.-Ing. Dres. h. c. Herwart Opitz

Dr.-Ing. Bernhard Hoffmeister

Dipl.-Ing. Gerd Sulzer

Dipl.-Ing. Udo Weigel

*Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre
der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen*

Verschleißuntersuchungen beim Wälzfräsen
Statisches und dynamisches Verhalten
von Wälzfräsmaschinen



ISBN-13: 978-3-531-02188-1 e-ISBN-13: 978-3-322-88238-7
DOI: 10.1007/978-3-322-88238-7

© 1971 by Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen

Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag ·

Inhalt

Kurzzeichen, Bezeichnungen und Begriffe	5
1. Verschleißuntersuchungen beim Wälzfräsen	8
1.1 Einleitung	8
1.2 Problemstellung	8
1.3 Berechnung der Schnittbogenlängen und Spannungsdicken	10
1.3.1 Ermittlung der Eingriffsverhältnisse	10
1.3.1.1 Gleichung der Durchdringungskurve	10
1.3.1.2 Arbeitsbereich beim Gleich- und Gegenlaufräsen	11
1.3.1.3 Schnittbogenlängen und Spannungsdicken/Vorschneidezone auf der Fräseineinlaufseite	13
1.3.1.3.1 Eingriffsverhältnisse und Schneidenfolge	13
1.3.1.3.2 Schnittbogenlänge l_n	15
1.3.1.3.3 Spannungsdicke b_{1n}	15
1.3.1.4 Schneidenfolge und Arbeitsbereich/Vorschneidezone auf der Fräseineinlaufseite	16
1.3.2 Zahlenmäßige Berechnung der Schnittbogenlängen und Spannungsdicken in Abhängigkeit von der Geometrie des Verzahnens	16
1.4 Verschleiß am Wälzfräser	19
1.4.1 Schneidenbeanspruchungen und deren Auswirkungen auf den Verschleiß	19
1.4.2 Flankenverschleiß beim Gleichlaufräsen	20
1.4.2.1 Entstehung des Flankenverschleißes	20
1.4.2.1.1 Hypothese für die Entstehung des Flankenverschleißes	22
1.4.2.1.2 Kolk beim Wälzfräsen	23
1.5 Wälzfräsen mit Hartmetall	25
1.5.1 Vorbereitende Schlagzahn-Versuche	26
1.5.1.1 Fräsverfahren	26
1.5.1.2 Kühlschmiermittel	26
1.5.1.3 Hartmetallsorte	26
1.5.1.4 Aussagefähigkeit der Schlagzahn-Untersuchungen	27
1.5.2 Erfahrungen mit HM-Wälzfräsern	28
1.5.3 Einsatz von HM-Wälzfräsern in der Praxis	31
1.5.3.1 Bearbeitung von Automatenstahl 35 S 20	31
1.5.3.2 Bearbeitung von legiertem Stahl 34 Cr 4	32
1.6 Zusammenfassung	32

2. Statische und dynamische Untersuchungen an Wälzfräsmaschinen	33
2.1 Einleitung	33
2.2 Aufbau von Wälzfräsmaschinen	34
2.3 Schwingungserregung an Wälzfräsmaschinen	34
2.4 Drehschwingungsverhalten des Wälzgetriebezuges	35
2.4.1 Statisches und dynamisches Verhalten des Teilgetriebes	36
2.4.2 Ergebnisse der Torsionsschwingungsrechnung	38
2.4.3 Folgerungen	38
2.5 Statisches und dynamisches Verhalten des Maschinengestells	39
2.5.1.1 Statisches und dynamisches Verhalten in y -Richtung	39
2.5.1.2 Ergebnisse der statischen und dynamischen Untersuchungen des Maschinengestells in y -Richtung	39
2.5.1.3 Diskussion der Meßergebnisse	41
2.5.2.1 Statisches und dynamisches Verhalten in x -Richtung	41
2.5.2.2 Ergebnisse der statischen und dynamischen Untersuchungen des Maschinengestells in x -Richtung	42
2.6 Ergebnisse der statischen und dynamischen Untersuchungen von Gestell und Wälzgetriebe	42
2.7 Auswirkungen von Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück auf die Werkstückgeometrie	42
2.8 Auswirkungen von Schwingungen auf den Werkzeugverschleiß	43
2.9 Zusammenfassung	44
Literaturverzeichnis	44
Anhang	47

Kurzzeichen, Bezeichnungen und Begriffe

A_{\min}	mm	kleinster Zwischenraum bei Doppel-Schrägverzahnungen
a	mm	Tauchtiefe
B	mm	Verschleißmarkenbreite
B_A	mm	Verschleißmarkenbreite an der äußeren Fräserzahnflanke
B_I	mm	Verschleißmarkenbreite an der inneren Fräserzahnflanke
B_K	mm	Verschleißmarkenbreite am Fräserzahnkopf
$B_{F\min}$	mm	kleinste Fräserbreite zum Schrägfräsen
b	mm	Radbreite
b_p	mm	Profilherzeugungszone
b_v	mm	Verschiebung des Arbeitsbereiches beim Schrägfräsen
c	kp/ μm	Steifigkeit
c	kpcm/rad	Verdrehsteifigkeit
d_1	mm	Kopfkreisdurchmesser des Fräasers
d_2	mm	Kopfkreisdurchmesser des Rades
D		Dämpfungsmaß
f	s^{-1}	Frequenz
F_n		Mittelpunkt der Bahnkurve des n -ten Fräserzahnes
F'_v		Mittelpunkt der Fräserzahn-Bahnkurven von der vorhergehenden Radumdrehung
b_{kw}	mm	Fräserzahn-Kopfhöhe
b_1	mm	max. Spanungsdicke am Fräserzahnkopf
$b_{1\max}$	mm	max. Kopfspanungsdicke von allen Fräserzähnen
$\overline{b_1}$	mm	mittlere Kopfspanungsdicke aller Fräserzähne
b''_1	mm	Kopfspanungsdicke des Fräserzahnes mit der max. Schnittbogenlänge
i		Übersetzungsverhältnis
i		Fräserstollenzahl
K	kp s cm^{-1}	Dämpfungskonstante
K_{\max}	mm	max. Kegelbreite eines Fräasers mit Anschnitt
K_m	mm	Kegelbreite bis zum Extremwert der Durchdringungskurve
K_M	mm	Kolkmittenabstand
K_T	μm	Kolktiefe
K		Kolkverhältnis
l_n	mm	Schnittbogenlänge des n -ten Fräserzahnes
l_{\max}		max. Schnittbogenlänge
L	m	Gesamtschnittlänge aller Fräserzähne pro Rad
L_{SH}	m	Gesamtschnittlänge eines Fräserzahnes, der durch Shiftung alle Stellungen des Arbeitsbereiches durchlaufen hat
$L_{v\min}$	mm	kleinster Vorschubweg beim Schrägfräsen

M		Mittenzahn
M_d	kpm	Drehmoment
m	mm	Modul
N		Zahl der Fräserzähne des Arbeitsbereiches
n_s		Zahl der Einschnitte eines Fräserzahnes in das Werkstück (Spänezahl)
n	min ⁻¹	Drehzahl
P_n		Einschnittspunkte auf der Durchdringungskurve
P_0		Fräsbeginn
P_m		Extremwert der Durchdringungskurve
r_1	mm	Kopfkreisradius des Fräasers
r_2	mm	Kopfkreisradius des Rades
r_k	mm	Fräserradius im Bereich des Anschnittes
s_a	mm/U	Axialvorschub (Vorschub)
s_z	mm	Vorschub pro Fräserzahn
s_H	mm	Shiftsprung
x_p		Profilverschiebungsfaktor
z_1		Fräsergangzahl
z_2		Zähnezahl des Rades
α_n		Normaleingriffswinkel
α_k		Freiwinkel am Fräserzahnkopf
$\alpha_{s1,2}$		Freiwinkel an den Fräserzahnflanken
β_0		Schrägungswinkel
γ_0		Fräsersteigungswinkel
γ		Spanwinkel
η		Schwenkwinkel des Maschinen-Fräskopfes
ε	mm	Axialteilung
δ		Schneidewinkel
δ_E		Einschneidewinkel
δ_A		Ausschneidewinkel
δ_0		Schneidewinkel bei maximaler Kopfspanungsdicke
δ_n		Schnittwinkel des n -ten Fräserzahnes
Θ	kp · cm s ²	Trägheitsmoment
ν	cSt/°C	Kinematische Zähigkeit
ϱ		Kegelwinkel des Anschnittes
σ_B	kp/mm ²	Zugfestigkeit des Werkstoffes
σ_n	mm	gemeinsame Sehne des n -ten Fräserzahnes
ω_0	s ⁻¹	Eigenfrequenz

Die wichtigsten Begriffe vom Wälzfräsen und die Bezeichnungen an der Paarung Fräser-Werkstück sollen an der Abb. 1* erklärt werden.

* Die Abbildungen befinden sich im Anhang.

Es ist ein Fräser im Einsatz dargestellt, wie er beim Gleichlaufräsen schneidet. Die Eingriffsverhältnisse zwischen Fräser und Werkstück entsprechen denen einer Schnecke mit einem Schneckenrad. Durch die Einarbeitung von achsparallelen (oder in einem Winkel zur Achse verlaufenden) Nuten in die Fräterschnecke entstehen Fräserzähne. Die Fräserzähne erhalten durch Hinterarbeitung der beiden Flanken und des Kopfes die für das Zerspanen notwendigen Freiwinkel.

Die Bezeichnungen am Werkstück sind im allgemeinen bekannt. Am Fräser stimmen einige Bezeichnungen mit denjenigen einer Schnecke überein, z. B. *Steigungswinkel* γ_0 und *Gangzahl* z_1 . Die Zahl der Nuten am Fräserumfang ist identisch mit der *Stollenzahl* i . Diese bestimmt u. a. die *Axialteilung* ε , die die axiale Versetzung zweier in Schneckenrichtung aufeinander folgender Fräserzähne ist. Bei axialgenuteten Fräsern läßt sie sich wie folgt berechnen.

$$\varepsilon = \frac{m \cdot \pi \cdot z_1}{i \cdot \cos \gamma_0} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

Der Winkel, um den der Fräskopf der Maschine eingeschwenkt wird (Winkel zwischen Fräserachse und Radstirnfläche), wird *Schwenkwinkel* η genannt. Je nach Steigungsrichtung der Fräterschnecke und des Rades ist:

$$\eta = \beta_0 \pm \gamma_0 \quad \begin{array}{l} + = \text{ungleichnamige Steigung} \\ - = \text{gleichnamige Steigung} \end{array} \quad (2)$$

Beim Wälzfräsen im *Axialverfahren* werden Rad und Fräser relativ zueinander und parallel zur Radachse verschoben. Der Verschiebeweg pro Radumdrehung ist der *Axialvorschub* s_a . Da in dieser Arbeit das Axialverfahren behandelt wird, wird nachfolgend der Axialvorschub nur als Vorschub bezeichnet.

Der Fräserzahn, der in der Projektion durch den Achskreuzungspunkt von Werkzeug- und Werkstückachse verläuft, ist der *Mittenzahn* M . Um am Wälzfräser eine gleichmäßige Verschleißverteilung über die Fräserbreite zu erzielen, wird der Fräser nach einer bestimmten Fräsezeit in fräseraxialer Richtung versetzt (*Shiftung*).

Die Fräserversetzung pro Shiftung ist der *Shiftsprung* s_H . Im allgemeinen sind nicht alle Fräserzähne pro Fräserumdrehung am Zerspanen beteiligt. Der Bereich der Fräserbreite, in dem die Fräserzähne mit den Kopfschneiden zerspanen, ist der *Arbeitsbereich*. Für manche Bearbeitungsfälle werden Fräser eingesetzt, die von der zylindrischen Form abweichen. Solche Fräser haben einen *Anschnitt*.

Aus Abb. 2 gehen die Schnittbereiche hervor, die der Fräser in Vorschubrichtung durchläuft. Der gesamte Vorschubweg des Fräasers besteht aus *Eintritt*, *Vollschnitt* und *Austritt*.