

WERKSTATTBÜCHER

HEFT 22

**P. ZIETING
E. BRÖDNER**

FRÄSER



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

Zur Einführung.

Die Werkstattbücher behandeln das Gesamtgebiet der Werkstatttechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen.

Die Werkstattbücher stehen wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe, sind dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich, so daß alle im Betrieb und auch im Büro Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können.

Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betriebsalltag zum Nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

Bisher sind erschienen:

- Heft 1: Gewindeschneiden. 2. Aufl.
Von O. Müller.
Heft 2: Meßtechnik. 3. Aufl. (15.—21. Tausd.)
Von Professor Dr. techn. M. Kurrein.
Heft 3: Das Anreiben in Maschinenbauwerkstätten. 2. Aufl. (13.—18. Tausend.)
Von Ing. Fr. Klautke.
Heft 4: Wechselräderberechnung für Drehbänke. 3. Aufl. (13.—18. Tausend.)
Von Betriebsdirektor G. Knappe.
Heft 5: Das Schleifen und Polieren der Metalle. 3. Aufl. (14.—20. Tausd.)
Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.
Heft 6: Teilkopfarbeiten. 2. Aufl. (13. bis 18. Tausend.)
Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.
Heft 7: Härten und Vergüten.
1. Teil: Stahl und sein Verhalten. 3. Aufl. (18.—24. Tausend.)
Von Dr.-Ing. Eugen Simon.
Heft 8: Härten und Vergüten.
2. Teil: Praxis der Warmbehandlung. 3. Aufl. (18.—24. Tausend.)
Von Dr.-Ing. Eugen Simon.
Heft 9: Rezepte für die Werkstatt. 3. Aufl. (17.—22. Tausend.)
Von Dr. Fritz Spitzer.
Heft 10: Kupolofenbetrieb. 2. Aufl.
Von Gießereidirektor C. Irresberger.
Heft 11: Freiformschmiede. 1. Teil: Grundlagen, Werkstoff der Schmiede. — Technologie des Schmiedens. 2. Aufl. (7. bis 12. Tausend.)
Von F. W. Duesing und A. Stodt.
Heft 12: Freiformschmiede. 2. Teil: Schmiedebispiele. 2. Aufl. (7.—11. Tausend.)
Von B. Preuß und A. Stodt.
Heft 13: Die neueren Schweißverfahren. 3. Aufl. (13.—18. Tausend.)
Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.
Heft 14: Modelltischlerei. 1. Teil: Allgemeines. Einfachere Modelle. 2. Aufl. (7. bis 12. Tausend.)
Von R. Löwer.
Heft 15: Bohren. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
Von Ing. J. Dinnebieer und Dr.-Ing. H. J. Stoewer.
Heft 16: Senken und Reiben. 2. Aufl. (8.—13. Tausend.)
Von Ing. J. Dinnebieer.
Heft 17: Modelltischlerei.
2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen. Von R. Löwer.
Heft 18: Technische Winkelmessungen.
Von Prof. Dr. G. Berndt. 2. Aufl. (5.—9. Tausend.)
Heft 19: Das Gußeisen. 2. Aufl.
Von Obering. Chr. Gilles.
Heft 20: Festigkeit und Formänderung.
1. Teil: Die einfachen Fälle der Festigkeit.
Von Dr.-Ing. Kurt Lachmann.
Heft 21: Einrichten von Automaten.
1. Teil: Die Systeme Spenceer und Brown & Sharpe. Von Ing. Karl Sachse.
Heft 22: Die Fräser. 2. Aufl. (8.—14. Tausd.)
Von Dr.-Ing. Ernst Brödner und Ing. Paul Zieting.
Heft 23: Einrichten von Automaten.
2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) und Cleveland und die Offenbacher Automaten.
Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil.
Heft 24: Stahl- und Temperguß.
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
Heft 25: Die Ziehtchnik in der Blechbearbeitung. 2. Aufl. (8.—13. Tausend.)
Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
Heft 26: Räumen.
Von Ing. Leonhard Knoll.
Heft 27: Einrichten von Automaten.
3. Teil: Die Mehrspindel-Automaten.
Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil.
Heft 28: Das Löten.
Von Dr. W. Burstyn.
Heft 29: Kugel- und Rollenlager. (Wälzlager.) Von Hans Behr.
Heft 30: Gesunder Guß.
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
Heft 31: Gesenkschmiede. 1. Teil: Arbeitsweise und Konstruktion der Gesenke.
Von Ph. Schweißguth.

Fortsetzung des Verzeichnisses der bisher erschienenen sowie Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte siehe 3. Umschlagseite.

Jedes Heft 48—64 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen.

Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)

Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50.

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE
UND FACHARBEITER

HEFT 22

Die Fräser

Ihre Konstruktion und Herstellung

Zweite, verbesserte Auflage
(8.—14. Tausend)

von

Ing. P. Zieting und Dr.-Ing. E. Brödner

Mit 152 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1937

ISBN 978-3-662-30672-7 ISBN 978-3-662-30743-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-30743-4

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Die Vorgänge an der Werkzeugschneide und die grundlegenden Erkenntnisse der Zerspanungsforschung	3
II. Die Kräfte am Fräser, Antriebsleistung, Schnittbedingungen und die Folgerungen aus den Fräsversuchen auf die Konstruktion	6
A. Die Schnittkraft	6
B. Die Schnittbedingungen	9
C. Einflüsse auf die Gestaltung des Fräasers	11
III. Entwurf der Fräser	16
A. Fräser mit gefrästen Zähnen	16
B. Hinterdrehte Fräser	19
Die Hinterdrehkurve S. 21. — Walzfräser S. 26.	
C. Zusammengesetzte Fräser	31
IV. Aufspannelemente für Fräser und Fräsermitnahmen	33
V. Herstellung der Fräser	36
A. Werkstoff und Härtung	36
B. Die spangebende Bearbeitung	38
Abstechen und Mitten S. 38. — Bohren S. 39. — Drehen S. 39. — Nuten S. 42. — Fräsen der Zähne S. 45. — Herstellung hinterdrehter Fräser S. 48. — Bezeichnen S. 55. — Scharfschleifen und Instandhalten der Fräser S. 58.	
VI. Fräser und Fräsmaschine	62

I. Die Vorgänge an der Werkzeugschneide und die grundlegenden Erkenntnisse der Zerspanungsforschung.

Während es bislang als feststehend galt, daß ein so verwickeltes Werkzeug wie der Fräser in seiner Konstruktion am besten „von Fall zu Fall“ und „nach praktischer Erfahrung“ zu bestimmen sei, so bricht sich doch immer mehr die Erkenntnis Bahn, daß an jeder Werkzeugschneide, also auch an den Schneiden des Fräasers, sich so gleichartige Vorgänge abspielen, daß man von Gesetzmäßigkeiten sprechen kann.

Daß diese Vorgänge an einem mehrschneidigen Werkzeug schwerer zu erkennen und auf ihre Grundformen zurückzuführen sind als am Drehstahl, liegt auf der Hand. Trotzdem ist es von hoher praktischer Bedeutung, sich die Gesetzmäßigkeiten der Zerspanung klarzumachen, da diese Erkenntnis die Konstruktion von Werkzeugen in all den Fällen wesentlich erleichtert, wo man nicht bewährte Vorbilder nachbilden kann, sondern neuschöpfen muß.

Es muß betont werden, daß sich die Brauchbarkeit einer Konstruktion nur durch den Versuch beweisen läßt, und daß jede grundsätzliche Überlegung nur Richtungspunkte festlegen kann, also kein Zaubermittel für den Erfolg darstellt.

Nachdem, auf den Versuchen Taylors aufbauend, in den letzten 10 Jahren erhebliche Arbeit aufgewandt wurde, um die einzelnen Zerspanungsvorgänge zu untersuchen, liegt jetzt immerhin so viel Stoff vor, daß sich aus ihm manche Erkenntnisse für eine Verbesserung der bisher üblichen Fräserkonstruktionen gewinnen lassen.

Die Zerspanbarkeit eines Werkstoffes ist keine ihm eigentümliche, allgemeine Eigenschaft, wie etwa seine Festigkeit, sondern unterscheidet sich hinsichtlich Drehbarkeit, Bohrbarkeit, Fräsbarkeit usw., Eigenschaften, die oft stark voneinander verschieden sein können.

Man glaubt noch immer, daß die Zerreißfestigkeit des Werkstoffes eine genügende Angabe zur Kennzeichnung seiner Bearbeitbarkeit sei. Dies trifft jedoch nur bei reinen C-Stählen zu — und auch nur unter der Voraussetzung gleichen Gefügeaufbaues. Dehnt man aber diese Ansicht auf legierte Stähle aus, wie sie heute immer mehr Verwendung finden, so führt sie oft zu ganz unsinnigen Schlüssen. (Erst recht gilt dies für Nichteisenmetalle.) So läßt sich z. B. ein einwandfrei vergüteter Cr-Ni-Stahl von 110 kg/mm² Zerreißfestigkeit viel besser fräsen als etwa ein schwach legierter Werkzeugstahl von nur 70 kg/mm² Festigkeit, der womöglich nicht ganz gleichmäßig gegläht ist. Man muß sich eben daran gewöhnen, daß die Verhältnisse in der Zerspanungstechnik mit der Neuschöpfung von Werkstoffen immer verwickelter werden und ihnen mit einer allgemeingültigen Faustformel nicht mehr beizukommen ist. Die Zerspanbarkeit eines Werkstoffes wird vielmehr neben seiner Festigkeit, Dehnung und seiner Brinellhärte wesentlich bedingt:

von seiner chemischen Zusammensetzung und seiner Gewinnungsart,
von seinem Gefügeaufbau (der bei fast gleicher Festigkeit ganz verschieden sein kann),

von seiner Wärmebehandlung bei der Entstehung und der Weiterverarbeitung, von seinem Verschmiedungsgrad und schließlich von den äußeren Arbeitsbedingungen, wie Werkstückform, Einspannung, Kühlmittel, Zustand von Maschine und Werkzeug und verlängerter Oberflächengüte.

Wirtschaftliche Zerspanung. Es kann freilich nicht Aufgabe dieses Heftes sein, das große Gebiet der Zerspanung zu schildern. Wir verweisen auf das Schrifttum¹.

Es sollen nur die wesentlichsten Einflußgrößen kurz skizziert werden, von denen eine wirtschaftliche Zerspanung abhängt. Wie wichtig die Ausbildung leistungsfähiger Fräserwerkzeuge für die Wirtschaftlichkeit der Metallbearbeitung ist, mag durch den Hinweis auf das große Gebiet des lehrenhaltigen Fräsens betont werden. In der Elektrotechnik, im Fahrzeug- und Waffenbau, in der Feinmechanik stellt das Fräsen in hohem Maße einen Schlußarbeitsgang dar, d. h. die gefrästen Werkstücke werden hinsichtlich Maßgenauigkeit und Oberflächengüte ohne einen Feilstrich oder sonstiges Anpassen eingebaut. Man darf also im Fräser keineswegs nur ein Schruppwerkzeug sehen, sondern muß bei der Konstruktion und bei seiner Pflege in der Werkstatt stets seine vielseitige Verwendungsmöglichkeit im Auge haben.

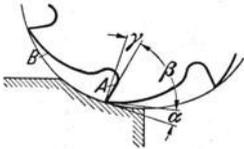
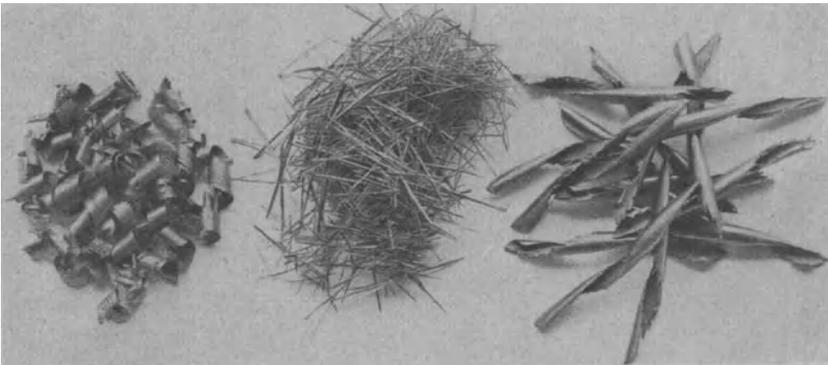


Abb. 1.

Wirtschaftlich fräsen heißt: Eine gegebene Spanmenge am Werkstück möglichst schnell, mit genügend sauberer Oberfläche, mit möglichst geringer Antriebsleistung bei möglichst großer Standzeit des Fräsers abtrennen.

Spanbildung, Schneidenansatz, Oberflächengüte. Die Schnittkraft, d. h. der Widerstand, den der Werkstoff dem Eindringen der Werkzeugschneide entgegensetzt, hängt bei gegebenem Werkstoff im wesentlichen von der Größe des Span-

Fließspäne eines
Stirnfräsers.Quetschspäne
eines Walzenfräsers.

Fließspäne

Abb. 2. Frässpäne.

winkels (Brustwinkels) γ der Schneide ab (siehe S. 11). Die Schnittkraft ist um so kleiner, je größer γ ist. Wird γ zu groß, so bricht die Schneide aus, man muß also einen guten Mittelweg suchen (siehe Abb. 1).

Ein großer Keilwinkel (Meißelwinkel) β , der einen kleinen Spanwinkel γ zur

¹ Kronenberg: Grundzüge der Zerspanungslehre. Berlin: Julius Springer 1927. Brödner: Zerspanung und Werkstoff. Berlin: VDI-Verlag 1934. In diesem Buch findet sich ein ausführliches Schrifttumsverzeichnis. Krekeler: Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe, Heft 61 der Werkstattbücher (1936).

Folge hat, gibt aber keineswegs die standfesteste Schneide, wie man denken könnte. Wenn sich nämlich Quetschspäne infolge des kleinen Spanwinkels bilden, so kann diese Schneide durch die größere Schneidenreibung eher abstumpfen als eine „geilere“ Schneide.

Von der Größe des Spanwinkels γ hängt aber auch die Spanbildung in erster Linie ab. Man soll grundsätzlich „Fließ“späne, keine „Quetsch“- oder „Scher“-späne erzeugen (siehe Abb. 2), da beim Fließspan nicht nur die Schnittkräfte und damit die Maschinenbeanspruchung klein werden, sondern auch die Temperaturen an der Schneide, die ihrerseits die Standzeit des Werkzeuges beeinflussen.

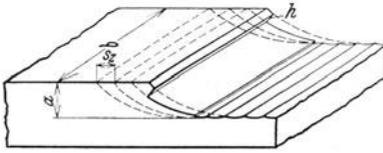


Abb. 3 (nach Schlesinger).

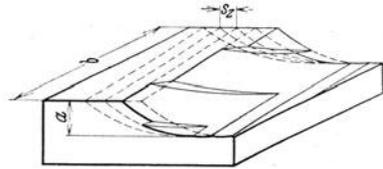


Abb. 4 (nach Schlesinger).

Die Spanbildung beim geradzahnigen und beim schrägverzahnten Fräser zeigen die Abb. 3 u. 4. Mittlere Temperatur und Temperaturschwankung nehmen erheblich mit wachsendem γ ab, gemäß folgender Zusammenstellung:

Spanbildung und Standzeit der Fräterschneide werden außerdem von der Starrheit der Fräsmaschine mitbestimmt. Bevor der Zahn in den Werkstoff eindringt, gleitet er ein kurzes Stück über das Werkstück, da der Fräsdorn ausweicht. Diese Reibung wirkt in hohem Maße zerstörend. Sie tritt besonders beim Schlichten in Erscheinung, wo Späne von nur wenigen Hundertstel Millimeter Dicke abgetrennt werden.

Die Sauberkeit der bearbeiteten Oberfläche ist um so größer, je rascher die Werkzeugschneide den Werkstoff durchdringt, da dann der Schneidenansatz¹ der die Oberfläche zerstört, verschwindet.

Der Schneidenansatz wird auch durch Verwendung geeigneter Schmiermittel bekämpft, die außerdem die Werkzeugschneide kühlen und die Spanreibung vermindern und sich trotz der höheren Kosten durch die höhere Standzeit der Fräterschneide bezahlt machen. Diese Reibungsverminderung macht sich in einer Herabsetzung der Schnittkräfte bemerkbar. Hier sind Schneidöle bedeutend wirksamer als die üblichen Bohrölemulsionen. Um die Spanreibung klein zu halten, und um die Schneide zu schonen, ist es wünschenswert, Brust-(Span-)fläche A (Abb. 1) und Rücken(Frei-)fläche B der Schneide sauber zu schleifen, ja sogar zu läppen, da die Abstumpfung der Schneide von ihren unvermeidlichen kleinen Scharten ausgeht.

Es ist nicht zuviel behauptet, wenn man sagt, daß sich an der Spanbildung erkennen läßt, ob der Fräser richtig konstruiert und der Schneidvorgang in Ordnung ist.

Schneidentemperatur in Abhängigkeit vom Spanwinkel.

Spanwinkel γ°	mittl. Temperatur ° C *	Temperatur- schwankung ° C *
0	580	140
15	418	58
35	218	17

* Werte, die bei Schnittversuchen gemessen wurden.

¹ Unter Schneidenansatz versteht man kleine Werkstückteilchen, die sich beim Eindringen der Werkzeugschneide auf diese aufsetzen und damit die Schneide verunstalten (vgl. auch Z. VDI Bd. 80 (1936) S. 233.

II. Die Kräfte am Fräser, Antriebsleistung, Schnittbedingungen und die Folgerungen aus den Fräsversuchen auf die Konstruktion.

A. Die Schnittkraft.

Bezogene Schnittkraft. Die wesentlichsten Untersuchungen über Zerspanungsvorgänge haben gezeigt, daß die bezogene (spezifische) Schnittkraft, d. h. die auf den abgetrennten Spanquerschnitt bezogene bzw. durch ihn geteilte Schnittkraft nicht gleich bleibt, sondern sich mit dem Spanquerschnitt ändert, und zwar nimmt sie mit wachsendem Spanquerschnitt ab, in stärkerem Maße sogar als dieser wächst. Es erfordert im Verhältnis also wesentlich weniger Kraft, und damit auch Leistung, einen dicken Span abzutrennen als viele dünne, die den gleichen Querschnitt ergeben. Wie man den Fräser formt und unter welchen Bedingungen man ihn laufen läßt, um sich diese Erkenntnis zunutze zu machen, wird im folgenden ausgeführt.

Zerlegung und Zusammensetzung. Die Schnittkraft greift am arbeitenden Zahn (bzw. den arbeitenden Zähnen) an, ändert mit ihm ihre Lage an der Schnittfläche und liegt irgendwie schräg im Raum. Um ihre Wirkung auf das Werkstück und auf den Fräser, die nicht die gleiche ist, kennenzulernen, zerlegt man die Schnittkraft:

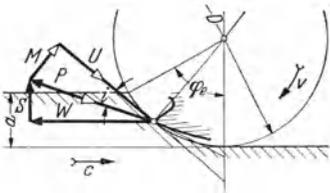


Abb. 5.

am Werkstück: in Vorschub- oder Waagrechtkraft (W), Senkrechtkraft (S) und Achskraft (A) (nur beim schrägverzahnten Fräser);
am Fräser: in Umfangskraft (U), Mittenkraft (Radialkraft) (M) und Achskraft (A) (nur beim schrägverzahnten Fräser).

Abb. 5 zeigt die Zerlegung am geradzahnigen Fräser, also ohne Achskraft. Die Kräfte W und S sind so gerichtet, wie sie auf das Werkstück wirken, die Kräfte U und M wie sie auf den Fräser wirken; bei der (resultierenden) Gesamtkraft P sind sinngemäß beide Richtungen angegeben.

Da man die Gesamtkraft P nicht kennt, auch nicht ohne weiteres messen kann, so mißt man ihre Anteile, die Kräfte W und S am Werkstück, mit einem Meßtisch. Aus ihnen läßt sich dann P rechnerisch oder zeichnerisch bestimmen: $P = \sqrt{W^2 + S^2}$ (s. auch Bahlecke in „Stockzeitschrift“ 1932, Heft 1).

Damit ist es aber noch nicht getan; denn es ist nicht möglich, P nun in die Fräserkräfte U und M zu zerlegen, weil der Angriffspunkt von P zunächst nicht bekannt ist. Es muß deshalb noch eine Größe gemessen werden, und dafür bietet sich am einfachsten das Drehmoment $M_d = U \cdot D/2$ dar, weil es mit einer Seilbremse oder elektrisch nach dem Kondensatorverfahren leicht gemessen werden kann. Mit M_d ist dann U gegeben durch: $U = M_d : D/2 = 2 M_d/D$ und weiter ist auch M bestimmt durch die Gleichung: $M = \sqrt{P^2 - U^2}$.

Manchmal, z. B. wenn man die Bildung und Bewegung des Spanes verfolgen will, ist es nötig, die Kräfte am Fräser anders zu zerlegen: in Richtung der Span- (Brust-)fläche und der Frei- (Rücken-)fläche des Zahnes oder rechtwinklig zu diesen Flächen. Solche Zerlegungen sind ohne weiteres möglich, sei es aus W und S , sei es aus U und M .

Weniger einfach ist die Zerlegung und Zusammensetzung der Kräfte beim Fräser mit geneigten (Spiral-) Zähnen: einmal liegen nicht alle Kräfte in einer Ebene (siehe Abb. 6 und 7), sodann kommt die Achskraft A hinzu, die — je nach

Schnitttrichtung und Windung der Zähne — nach der Maschine zu oder nach vorn hin gerichtet ist.

Die Gesamtkraft P kann aus U , M und A zeichnerisch oder rechnerisch (nach der Gleichung $P = \sqrt{U^2 + M^2 + A^2}$) leicht bestimmt werden. Statt der Kräfte U und M kann man auch unmittelbar die Kräfte W und S benutzen.

A selbst ist durch U und den Drallwinkel δ bestimmt, entweder zeichnerisch nach Abb. 7 oder rechnerisch aus der Gleichung $A = U \cdot \operatorname{tg} \delta$.

A kann aber auch unmittelbar gemessen werden.

Bedeutung der Schnittkräfte. Alle Schnittkräfte schwanken während der Arbeit mehr oder weniger (siehe S. 15). Die größten Werte sind für die Abmessungen von Werkzeug und Maschine maßgebend. Die Gesamtkraft P sucht zunächst den Fräserzahn abzubrechen, wirkt aber vor allem biegend auf den Fräsdorn. Das Drehmoment M_d sucht den Fräser auf dem Dorn und den Dorn in der Spindel zu drehen — was durch Reibung, Federkeile oder andere „positive“ Mitnahmen verhindert wird. Außerdem gibt M_d (bzw. Umfangskraft U) zusammen mit der minutlichen Drehzahl des Fräasers die Größe der Nutzleistung an (siehe S. 9).

Die höchsten Schnittkräfte werden durch den Fräderschlag (siehe Abb. 8), der in der Werkstatt kaum unter 0,05 mm liegt, oft erheblich beeinflusst. Bei der Auswertung von Schnittkraftmessungen und ihrer Anwendung auf die Berechnung

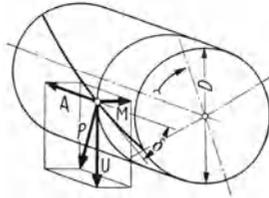


Abb. 6.

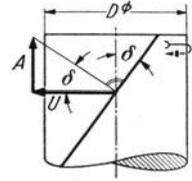


Abb. 7.

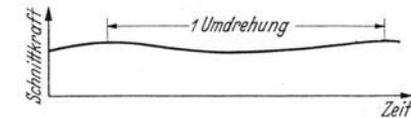


Abb. 8. Schnittkraftschwankungen infolge des Fräderschlags.

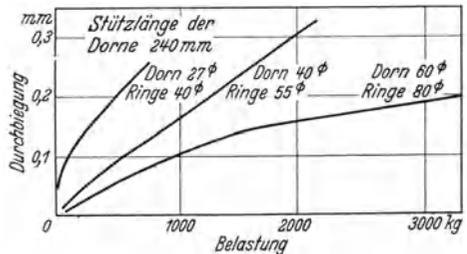


Abb. 9. Fräsdorndurchbiegung (nach Bahlecke).

von Maschinenteilen ist also stets zu prüfen, ob es sich um „mittlere“ oder um „Höchst“schnittkräfte handelt.

Es ist notwendig, die Schnittkräfte am Fräser möglichst klein zu halten, da sie nur allzu leicht den Fräsdorn — der oft das schwächste Glied der Fräsmaschine ist — über das zulässige Maß beanspruchen. Abb. 9 zeigt die Durchbiegungen verschiedener Fräsdorne unter der Einwirkung der Schnittkräfte. Weil man sich in der Werkstatt häufig kein klares Bild von den auftretenden Kräften (Abb. 10) macht, finden sich so viele schlagende Fräsdorne, deren Durchmesser den Schnittkräften nicht standhielt.

Durch die kommaartige Spannbildung beim Fräsen steigt beim Durchgang des Fräserzahnes durch das Werkstück die Schnittkraft auf einen Größtwert an und sinkt ruckartig beim Verlassen des Zahnes ab. Geradzahnige Fräser ergeben also immer eine stoßartige Beanspruchung der Maschine auch dann, wenn bei großen Schnitttiefen oder hohen Zähnezahlen mehr als ein Zahn gleichzeitig im Eingriff steht (Abb. 11).

Die alte Werkstattregel, wonach ein Fräser „ruhig“ schneide, wenn mehr als ein Zahn gleichzeitig arbeite, ist also nur sehr bedingt richtig. Wesentlich ist

nämlich nicht, daß mehrere Zähne gleichzeitig schneiden, sondern wie sie es tun. Tatsächlich hören die Schnittdruckschwankungen nur auf, wenn die Zähne geneigt sind und Zähnezahl, Fräserdurchmesser und Zahndrall in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen (siehe S. 15).

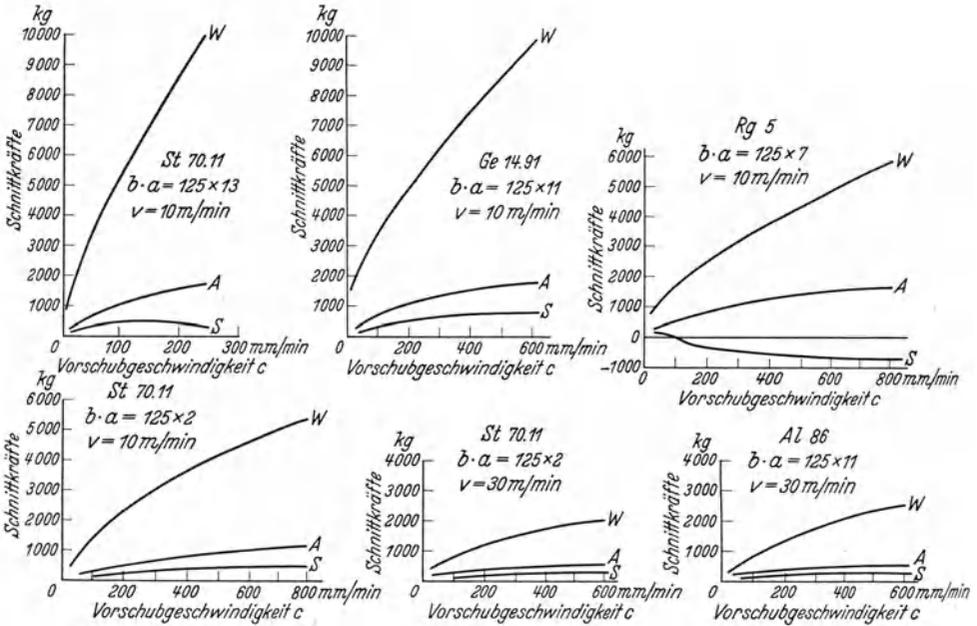


Abb. 10. Schnittkräfte beim Fräsen mit Walzenfräsern. Die Werte $b \cdot a$ geben Schnittbreite mal Schnitttiefe, die Kurven W, A, S die Größen der Waagrecht-, Achs- und Senkrechtschnittkräfte in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit bei verschiedenen Werkstoffen (St 70.11, Ge 14.91 usw.) an (nach Eisele).

Schnitt- und Antriebsleistung. Die Schnittleistung, also die eigentliche Nutzleistung, N_s ist gleich dem Produkt aus der Umfangskraft U und der Schnittgeschwindigkeit v :

$$N_s = \frac{U \cdot v}{60 \cdot 102} \text{ (kW)}.$$

Die Antriebsleistung N ist um die Getriebe- und Motorverluste größer, die meist durch den Wirkungsgrad η berücksichtigt werden:

$$N = \frac{N_s}{\eta}.$$

Beim Fräsen war es im Gegensatz zum Drehen schwierig, eine Größe zu finden, auf die man die durchgeführten Schnittkraftmessungen beziehen konnte, um Berechnungsunterlagen auch für

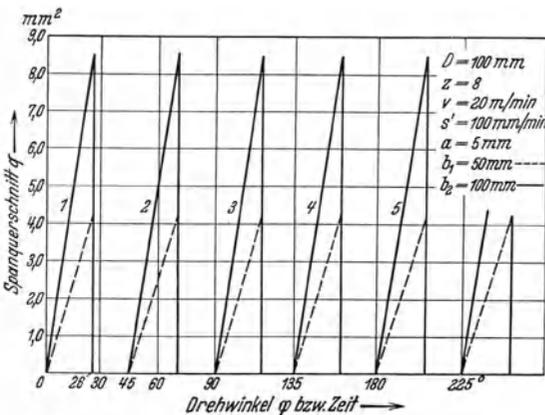


Abb. 11. Schwankungen des Spannerschnitts (und damit der Schnittkraft) beim Fräsen mit geradzähligen Fräsern (nach Schlesinger).

andere Fälle zu schaffen. Da die Schnittkräfte, wie noch gezeigt wird, nicht nur vom Werkstoff und dem Schneidenwinkel, sondern sehr stark vom Durchmesser,

von der Zähnezahl, der Schneidenneigung, der Fräserdrehzahl, von Schnitttiefe und Vorschub abhängen und sich auch ständig mit dem Spanquerschnitt ändern, mußte nach einer Bezugsgröße gesucht werden, die alle diese Veränderlichen umfaßt. Für die Leistungsberechnung erwies sich die sogenannte Mittenspanndicke, d. h. die Spandicke h_M , die sich beim mittleren Eingriffsbogen $\frac{\varphi_e}{2}$ (Abb. 5) einstellt, als geeignete Bezugsgröße¹. Sie errechnet sich zu:

$$h_M = \frac{c}{n \cdot z} \sqrt{\frac{a}{D}}.$$

Hierin und im folgenden bedeuten:

- a Schnitttiefe (mm)
 b Schnittbreite (mm)
 c Vorschubgeschwindigkeit (mm/min)

- D Fräserdurchmesser (mm)
 n Drehzahl (min^{-1}) des Fräasers
 z Zähnezahl „ „

Stehen die Werte der Gesamtschnittkraft P bzw. der Umfangskraft U für einen Fräser bestimmter Bauart nicht zur Verfügung, so kann die Nutz-(Schnitt-)leistung (also ausschließlich aller Maschinenverluste) errechnet werden aus

$$N_s = \frac{K_M \cdot a \cdot b \cdot c}{60 \cdot 102 \cdot 1000} \text{ (kW)}.$$

K_M , die bezogene (spezifische) Schnittkraft, wird aus dem Schaubild Abb. 12 in Abhängigkeit von h_M (in dieser Größe sind die wichtigsten Veränderlichen des Fräsvorganges enthalten) abgelesen. Die erforderliche Leistung des Antriebsmotors ist dann, wie oben bereits angegeben, $= N_s/\eta$.

(Bei einem 9...12stufigen Spindelgetriebe, dessen Wellen in Wälzlagern, dessen Hauptspindel in Gleitlagern laufen, kann η bei halber bis Vollast mit 0,65...0,70 einschließlich der elektrischen Verluste angenommen werden.)

Übernimmt der Antriebsmotor auch den Vorschubantrieb, so sind einschließlich aller Verluste bei halber Last etwa 15%, bei Vollast 20% der Spindelleistung hinzuzufügen.

Man strebt bei einer bestimmten Spanabnahme an, daß h_M groß wird, damit K_M klein bleibt und damit auch N ; h_M wird aber groß, wenn n , z und D klein sind. Allerdings ist der Einfluß von n und z größer als der von D (siehe S. 13). Die Formel gibt somit eine Erklärung für die unten geschilderten Konstruktionsmaßnahmen.

B. Die Schnittbedingungen.

Auf Grund der in den letzten Jahren durchgeführten planmäßigen Untersuchungen des Fräsvorganges ist man in der Lage, den Einfluß der verschiedenen Veränderlichen zu übersehen. Diese sind gegeben durch:

- das Werkstück, hinsichtlich Schnittbreite, Schnitttiefe, Aufspannung;
- die Maschine, hinsichtlich Drehzahl, Vorschub, Kühlmittel;
- den Fräser, hinsichtlich Zähnezahl, Schneidenwinkel, Zahnneigung, Durchmesser, Art der Mitnahme.

Schnittbreite und Schnitttiefe. Die Schnittkräfte sind der Schnittbreite nahezu

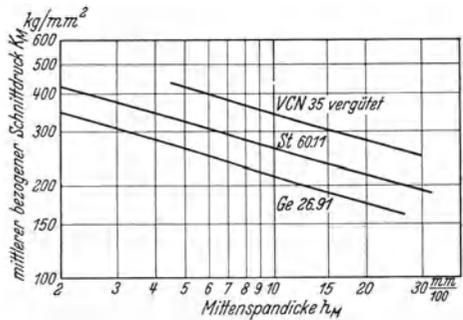


Abb. 12.

¹ Den Beweis hierfür siehe Werkst. Techn. 1931 S. 409.

verhältnisgleich. Doppelte Schnittbreiten ergeben fast die doppelten Schnittkräfte, hingegen verhalten sich Vorschub und Schnitttiefe verschieden. Die Steigerung des Vorschubes bei sonst gleichen Verhältnissen auf das 25fache erhöht z. B. die Leistungsaufnahme der Maschine auf das 6fache. Die gleiche Leistungsaufnahme wird aber bereits bei Verzehnfachung der Schnitttiefe erreicht.

Schnittgeschwindigkeit und Vorschub. Über ihre Wahl kann man folgendes aussagen (die folgende Bemerkung ist einer Veröffentlichung einer führenden deutschen Werkzeugmaschinenfabrik entnommen):

„Bei modernen Fräsmaschinen ist der Vorschub unabhängig von der Spindeldrehzahl; eine Heraufsetzung der Schnittgeschwindigkeit bleibt also ohne Einfluß auf die Schnittzeit. Aber auch abgesehen hiervon darf man beim Fräsen die Schnittgeschwindigkeit schon mit Rücksicht auf ein vorzeitiges Stumpfwerden der Schneiden und auf das Auftreten störender Schwingungen nicht beliebig erhöhen; die Standzeit der Fräser sinkt mit der Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit in stärkerem Maße, als diese ansteigt. Die Schnittzeiten beim Fräsen kann man also nur durch Erhöhung des Vorschubs abkürzen.

Trotz dieser Erkenntnis ist man zuweilen gezwungen, den Vorschub herabzusetzen, um dünne Späne zu erhalten, z. B. wenn die Werkstücke dünnwandig oder unstarr sind, oder wenn die Fräser unstarre Zähne haben — wie dünne Schafffräser, Langlochfräser, schmale Scheibenfräser oder Sägen. Hier muß man die Schnittgeschwindigkeit etwas über die in Tafel 1 für das Schlichten angegebenen Werte hinaus erhöhen, jedoch keinesfalls im selben Maße, wie man den Vorschub herabsetzt, weil sonst die Fräser vorzeitig stumpf werden. Die Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit bedeutet hierbei die Herabsetzung der Schnittkräfte je Zahn, während die Gesamtschnittkraft, die den Fräsdorn beansprucht, steigt.

Andererseits muß man die Schnittgeschwindigkeit zuweilen herabsetzen, um aus dem Gebiet der Eigenschwingungen der Maschine herauszukommen; oft kann man „ratternde Fräser“ durch Herabsetzung der Schnittgeschwindigkeit zur Ruhe bringen.

Bei zwei Fräsern gleichen Durchmessers, aber verschiedener Zähnezahl soll der Fräser mit der größeren Zähnezahl langsamer laufen, damit nicht Fräferschwingzahl (Drehzahl \times Zähnezahl) und Maschinenschwingzahl in „Resonanz“ fallen.

Tafel 1. Richtwerte für die Schnittgeschwindigkeit.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit von Fräsern				Schnittgeschw. von Sägen aus Schnellstahl m/min
	mit Schnellstahlschneiden schruppen m/min	schlichten m/min	mit Hartmetallschneiden schruppen m/min	schlichten m/min	
Stahlnach DIN 1611 (obere Werte für St 34. 11)	10...15	15...20	50...80	bis 130	40...60 je nach Schnittlänge
C-Stahl nach DIN 1661	8...12	12...20	30...50	60...90	20...40
Chromnickelstahl nach DIN 1662 ..					
Stahlguß nach DIN 1681					
Gußeisen nach DIN 1691	8...12	12...20	50...80	80...100	20...40
Temperguß nach DIN 1692					
Messing, Bronze nach DIN 1705 und 1709	20...25	30...50	90...120	bis 300	bis 200
Kupfer nach DIN 1708	bis 200	bis 700	bis 450	bis 700	bis 200
Leichtmetalle					bis 300
Isolierstoffe					100 (Sondersägen)

Voraussetzung für die Zahlen der Tafel 1 sind starre Werkstücke und widerstandsfähige Fräser. Je höher der Spanquerschnitt, desto niedriger ist die Schnittgeschwindigkeit zu wählen.

Bei hartem und ungleichförmigem Werkstoff sind aus der obigen Tafel die niedrigen Werte für die Schnittgeschwindigkeit zu wählen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß man die größte Spanleistung und kürzeste Schnittzeit bei großen Vorschüben und kleiner Schnitttiefe bis etwa 5 mm erhält. Aber auch von dieser Regel muß man zuweilen abweichen. Wenn z. B. ein Mann mehrere Maschinen zu bedienen hat, kann es vorteilhafter sein, mit großen Schnitttiefen, also wenigen Schnitten, dabei aber kleinen Vorschüben zu arbeiten. Man erhält dadurch zwar längere Schnittzeiten, kann aber doch die Gesamtzeit herabsetzen, besonders wenn die Schnittlänge gering ist und das wiederholte Ansetzen zeitlich stark ins Gewicht fällt.“

Beim Schlichten kommt es in erster Linie darauf an, eine maßhaltige saubere Oberfläche zu erhalten; die Erzielung einer großen Spanleistung muß hiergegen zurücktreten. Auf der gefrästen Fläche entsteht bei jeder Umdrehung des Fräasers — nicht etwa bei jedem Zahndurchgang — eine wellenartige Marke, Abb. 13. Die Fläche erscheint um so sauberer, je näher diese Marken beieinander liegen und je flacher sie sind. Hiernach müßte man also die Schnittgeschwindigkeit gegenüber dem Schrumpfen bei gleichem Vorschub stark heraufsetzen, was aber im Hinblick auf die Standzeit nicht angeht. Man senkt daher den Vorschub und setzt die Schnittgeschwindigkeit in mäßigen Grenzen hinauf. Durch richtige Wahl dieser beiden Größen hat man es in der Hand,

auch mit grobgezahnten Fräsern saubere Schlichtflächen zu erhalten. Die Beschädigungen der Oberfläche rühren von der „Aufbauschneide“ (siehe S. 5) und von sehr feinen Spänen her, die sich zwischen Schneide und Werkstückoberfläche setzen. Da die Schneiden des umlaufenden Fräasers stets etwas schlagen, ist die Bildung dieser feinen Späne — selbst bei reichlicher Kühlmittelzufuhr — nicht zu verhindern. Es werden sich jedoch um so weniger dünne Späne bilden, je geringer die Schneidenzahl ist. So benutzt man mit Erfolg raschlaufende, einzählige Fräser zum Schlichten von Bronze, Leichtmetall und SM-Stahl. Der Zustand der Schneide, d. h. Abziehen oder Läppen ist oft wichtiger als das Heraufsetzen der Schneidenzahl.

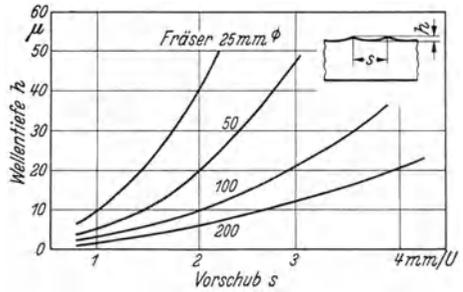


Abb. 13. Fräsoberfläche in Abhängigkeit von Fräserdurchmesser und Vorschub je Umdrehung (nach Bahlecke).

C. Einflüsse auf die Gestaltung des Fräasers.

Auf S. 4 war erklärt worden, was unter „wirtschaftlichem Fräsen“ verstanden werden soll. Aus den dort genannten Forderungen und den erwähnten Untersuchungen ergibt sich an Folgerungen für die Gestaltung des Fräasers:

Die Winkel an der Schneide des Fräserzahnes.

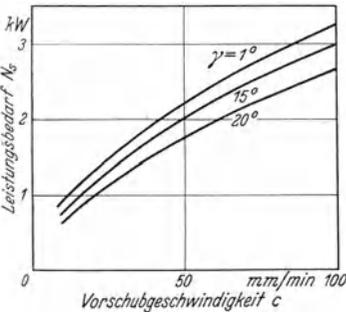


Abb. 14. Einfluß des Spanwinkels.

Die Schnittkräfte, die Werkzeug und Maschine beanspruchen, sollen möglichst klein werden, weil sie sonst unzulässige Durchbiegungen des Fräsdornes usw. hervorrufen. Dieses Federn des Fräsdornes beeinträchtigt die Güte der gefrästen Fläche und verringert die Standzeit des Werkzeuges. Die Schnittkräfte werden um so kleiner,

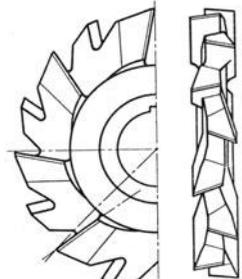


Abb. 15.

je größer der Spanwinkel (γ) wird, Abb. 14. Fräser mit 0° Spanwinkel, d. h. radial stehenden Zähnen, sind also tunlichst zu vermeiden (Ausnahmen bei Formfräsern siehe S. 20, und zwar sollen an allen Schneiden des Fräasers positive Spanwinkel entstehen. Bei Scheibenfräsern erreicht man dies durch die sogenannte „Kreuzverzahnung“ (siehe Abb. 15). Bei Schafffräsern wird der Spanwinkel des Stirnzahnes durch die Größe

der Zahnneigung bestimmt. Es ist deshalb auch nicht zu empfehlen, die Richtung des Dralls so zu wählen, daß zwar die achsrechte Schnittkraft (A) gegen den Spindelkopf wirkt — wie dies z. B. bei rechtsschneidendem Schaftfräser mit Linksdrahl oder umgekehrt der Fall ist — daß aber gleichzeitig an der Stirnschneide ein negativer Spanwinkel entsteht (Abb. 16 links). Die Drallrichtung ist besser so

zu wählen, daß an der Stirnschneide positive Spanwinkel entstehen (Abb. 16 rechts).

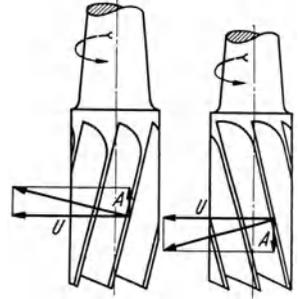


Abb. 16.

(Abb. 16 rechts). Der Fräser muß dann nur richtig durch Anzugstange, Ausgleichsgewinde oder Patronenspannung — also nicht durch Mitnehmerlappen — so in der Frässpindel befestigt werden, daß er durch die achsrechte Schnittkraft nicht aus der Frässpindel herausgezogen wird. Der positive Spanwinkel ist für die Leichtmetallbearbeitung unerlässlich, ebenso erfordert ihn das sogenannte „gleichläufige Fräsen“.

Für die Größe des Frei- oder Rückenwinkels ist die Bedingung maßgebend, daß sich der Fräser freischneidet und am

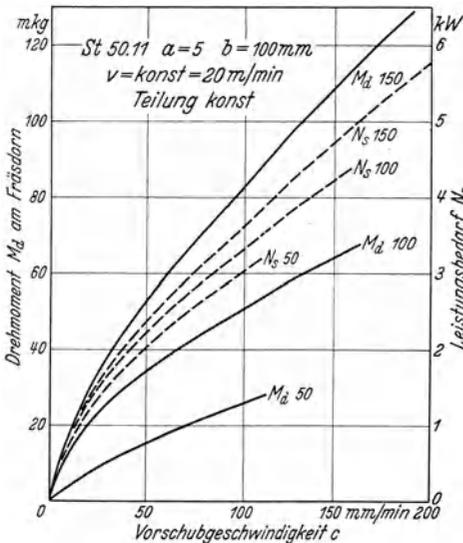
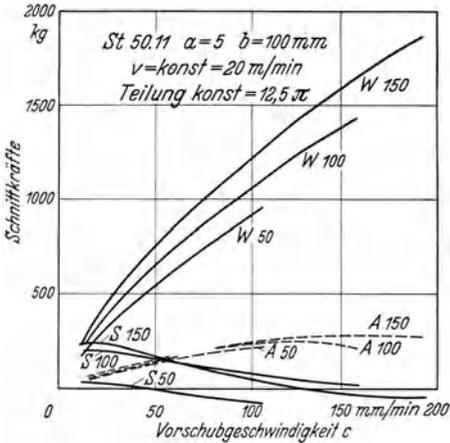


Abb. 17. Einfluß des Fräserdurchmessers, für $D = 50, 100, 150$ mm (nach Stöwer).

Tafel 2. Richtwerte für die Winkel an Fräferschneiden.

Werkstoff	Brust- od. Spanwinkel γ°	Rücken- od. Freiwinkel α°
Für Stahl und Stahlguß nach DIN 1611, 1661, 1662, 1681.....	10 ... 15	5 ... 10
Gußeisen und Temperguß nach DIN 1691, 1692		
Bronze und Messing nach DIN 1705, 1709.....		
Für Leichtmetalle	30 ... 40	10 ... 15

Rücken nicht drückt. Die Größe ist vom Werkstoff des Werkstückes abhängig (Tafel 2).

Durchmesser und Zähnezahl. Die Schnittkräfte nehmen mit sinkendem Fräserdurchmesser bei gleichem Spanquerschnitt ab (Abb. 17). Man wählt also den Fräserdurchmesser so klein wie möglich und spart dadurch an Werkstoff und toten Zeiten bei den Anschnittwegen, die bei der Fertigung großer Stückzahlen sehr ins Gewicht fallen können. Die Fräserbohrung dagegen wähle man so groß, wie möglich, um möglichst große Fräsdorne verwenden zu können (siehe S. 23).

Da die Spanunterteilung des Werkstoffes neben der Drehzahl des Fräasers von seiner Zähnezahl abhängt und man eine gegebene Spanmenge in möglichst wenige, dicke Späne zerteilt, um die Schnittkräfte klein zu halten, so ergibt sich die Forderung, dem Fräser möglichst wenige Zähne zu geben (Abb. 18). Auch wird die

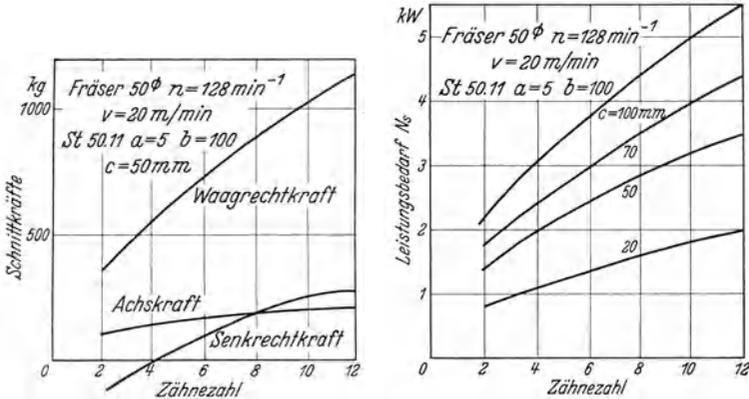


Abb. 18. Einfluß der Zähnezahl (nach Stöwer).

Standzeit des Fräasers höher, wenn er dicke Späne abtrennt und nicht feine Späne (siehe S. 4), die stark verschleißend auf die Schneiden wirken. Die Anwendung großer Vorschübe, von denen die Fertigungszeit abhängt, ist nur möglich, wenn die Spanlücken groß genug sind. Das ist besonders bei den Sägen wichtig, die bei tiefen Schnitten brechen, wenn die Späne nicht abfließen können. Große Spannuten sind aber ebenfalls nur bei grobzahnigen Fräsern unterzubringen. Beim Schlichten geht man sogar so weit, daß man Stirnfräser sogar schon mit nur einem einzigen Zahn ausgerüstet hat. Natürlich ist der Zähnezahl nach unten eine Grenze gesetzt, da Fräser mit zu geringer Zähnezahl, besonders bei geringem Drall und bei der Bearbeitung schmaler Flächen wie ein Hackmesser wirken. Es ist bekannt, daß unterschrittene, grobzahnige Fräser mit schmalen Schneiden, wie z. B. Sägen, schmale Scheibenfräser und Stirnfräser, zum Einhaken neigen; dem muß dadurch begegnet werden, daß man toten Gang aus den Führungen der Maschine entfernt.

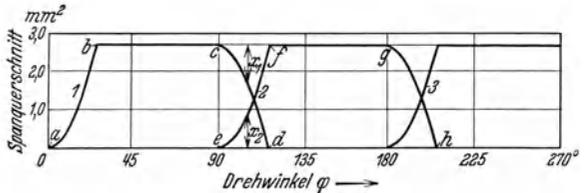


Abb. 19. Änderung des Spanquerschnitts (und damit der Schnittkraft) beim schrägverzahnigen Walzenfräser.

Ähnlich wie bei den Überlegungen über die Schnittgeschwindigkeit ist darauf zu achten, daß die Schnittkraft je Zahn, die beim grobzahnigen Fräser größer ist als beim feinzahnigen gleichen Durchmessers — während die Gesamtschnittkraft am Fräser im ersten Falle kleiner ist — nicht zu groß wird. Bei dünnen, nicht standfesten Fräsern, wie Sägen, Schafffräsern usw., wählt man daher die

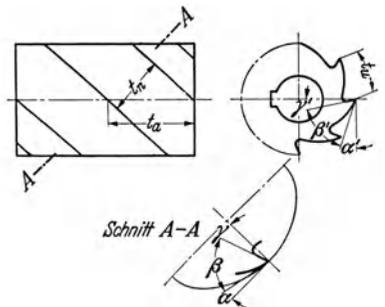


Abb. 20.

Zähnezahl höher als bei andern Fräsern gleichen Durchmessers; das gleiche gilt für Werkzeuge mit Hartmetallschneiden, z. B. Messerköpfen, bei denen nicht mehr als 0,2 mm Spandicke je Zahn genommen werden soll. Ferner beeinflußt auch der Werkstoff die Zähnezahl. Weiche Werkstoffe, die hohe Vorschübe zulassen, wie Leichtmetalle, Messing, ganz weicher Stahl wie St 37, sind wirtschaftlich nur

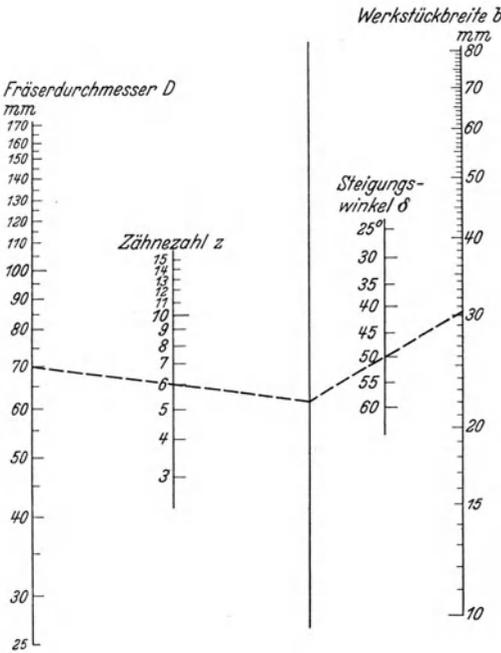


Abb. 21. Rechentafel für „gleichförmiges“, Fräsen mit Walzenfräsern.

mit kleinsten Zähnezahlen zu bearbeiten. Sehr harte Werkstoffe (wie z. B. Chrom-Molybdän- oder Chrom-Wolframstähle) sollten gerade wegen ihrer an sich hohen Schnittwiderstände (wie auch andere legierte Stähle) ebenfalls mit Fräsern zerspannt werden, die geringe Schnittkräfte hervorrufen, und deren Zähne ein gutes Wärmeleitvermögen besitzen — also mit grobzähnigen Fräsern. In der Tat eignen sich solche Fräser auch zum Schruppen harter Werkstoffe. Nur werden harte Stellen im Werkstoff sich um so rascher an allen Schneiden bemerkbar machen und damit unsaubere Flächen hervorrufen, je weniger Schneiden vorhanden sind. Es empfiehlt sich also für mittlere und Schlichtschnitte bei legierten Stählen und hartem Gußeisen die Verwendung von Fräsern mit 10 ... 25% höheren Zähnezahlen, als sie der Tafel 3 entsprechen, die für die meisten Werkstoffe brauchbar ist.

Über den Einfluß der Fräsermitnahme auf die Schnittleistung siehe S. 34.

Allerdings ist zu bemerken, daß grobzähnige Fräser — vor allem solche mit breiten Schnittflächen, wie Walzen- und Walzenstirnfräser, unbedingt geneigte Zähne haben müssen, damit die Schneiden nicht mit einem Male in den Werkstoff eindringen.

Zahnneigung (Zahnspirale). Um Maschine und Werkzeug zu schonen, ist zu

Tafel 3. Zähnezahlen an Fräsern.

Durchmesser mm	Schaftfräser	Walzenfräser	Stirnfräser	Kreuzzahn-Scheibenfräser
5... 20	4... 8			
20... 40	8... 5			
50		4... 6	6... 8	
60		5... 7	7... 9	12... 14
75		6... 8	8... 10	14... 16
90		7... 9	9... 10	14... 16
110		7... 10	10... 12	16... 18
130				18... 20
150				18... 22
200				24... 28

Über Zähnezahlen von Kreissägen vgl. DIN 135/136 und Stockzeitschrift 1930, S. 87.

fordern, daß die Schwankungen der Schnittkraft, die durch die Eigenart der Spanbildung beim Fräsen bedingt sind, möglichst klein bleiben. Geradzählige Fräser verursachen immer starke Schwankungen der Schnittkraft, auch dann, wenn mehr als ein Zahn gleichzeitig im Eingriff ist (s. S. 8). Es kommt also nicht auf die Zahl der gleichzeitig im Eingriff stehenden Zähne an, sondern darauf, daß der Zahn im gleichen Maße aus dem Werkstoff austritt, wie der folgende in diesen eintritt (Abb. 19), d. h. es muß dafür gesorgt werden, daß bei Walzenfräsern die Fräsbreite gleich der Zahnteilung des Fräasers in Achsrichtung (ta Abb. 20) oder deren ganzzahligem Vielfachen ist. Die nebenstehende Rechentafel (Abb. 21) stellt diese Beziehung dar; man kann aus ihr für eine gegebene Fräsbreite den Walzenfräser auswählen, der ohne jede Schnittkraftschwankung, d. h. „gleichförmig“, schneidet, oder aber diejenigen Fräsbreiten bestimmen oder deren ganzzahliges Vielfaches, die ein gegebener Fräser „gleichförmig“ bearbeitet. Nun ist es praktisch unmöglich, für jede Fräsbreite den „gleichförmig schneidenden“ Fräser auf Lager

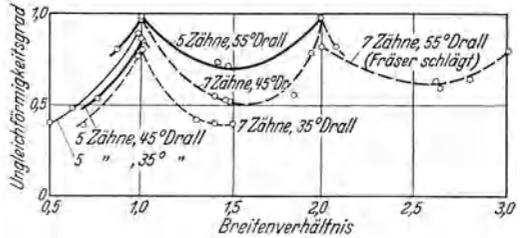


Abb. 22. Einfluß des Zahndralls auf „gleichförmiges“ Fräsen.

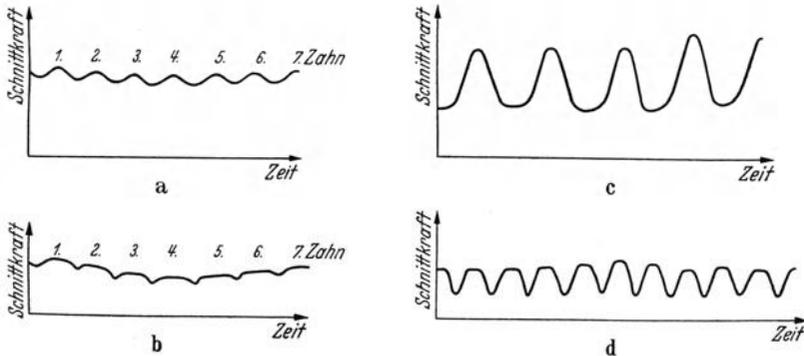


Abb. 23. Vergleich zweier Walzenfräser mit gleichen Abmessungen, aber verschiedenem Drall. Oszillogramme der Schnittkraftschwankungen.
 a und b : Fräser 90 mm Ø, 7 Zähne, 55° Drall bei $n = 39,1$ U/min
 c und d : Fräser 90 mm Ø, 7 Zähne, 35° Drall bei $n = 37,9$ U/min.

$$\text{Breitenverhältnis} = \frac{\text{Fräsbreite}}{\text{Achsteilung des Fräasers}} \quad \text{bei } a = 2,82 \quad c = 1,89$$

$$b = 1,41 \quad d = 0,69.$$

zu halten. Man wird daher den Fräser so konstruieren, daß er auch im ungünstigsten Falle, nämlich dann, wenn die Fräsbreite das 1,5-, 2,5-, 3,5- usw. fache seiner Achsteilung ist, so gleichförmig wie möglich schneidet. Versuche haben ergeben, daß der „Ungleichförmigkeitsgrad“, d. h. das Verhältnis kleinste Schnittkraft : größte Schnittkraft (bei Gleichförmigkeit ist dieses Verhältnis = 1) mit steigendem Zahndrall sich dem Wert 1 nähert (Abb. 22 und 23). Dies ist der Grund, warum man den Zahndrall möglichst hoch, zwischen 40 und 50°, wählt, und zwar um so höher, je kleiner die Zähnezahle oder je kleiner die zu bearbeitende Werkstückbreite ist. Allerdings steigt die Schnittkraft mit wachsendem Zahndrall. Man erkennt aber aus Abb. 24, daß dieses Anwachsen erst bei Schneideneigungen über 50° unangenehm ins Gewicht fällt. Man erkennt weiter, daß die Achskräfte hochdralliger

Fräser auch von verhältnismäßig schwachen Maschinen aufgenommen werden. Daß die Gesamtschnittkraft nicht mehr rechtwinklig zum Fräsdorn, sondern schräg dazu nach dem Ständer hin wirkt, ist ein weiterer Vorzug dieser Fräser. Wenn man den

Fräser teilen kann, so läßt sich der Achsdruck durch gegenläufige Zahnneigung aufheben.

Mathematisch wäre es gleich, ob man hohe Zähnezahlen (über 8) mit geringem Zahndrall (unter 40°) vereinigt oder umgekehrt. In der Praxis soll man aber — mit den oben erwähnten Ausnahmen — möglichst geringe Zähnezahlen anstreben, um die Schnittkräfte klein zu halten und um der Eigenschwingungszahl der Maschine fernzubleiben. Werden nämlich Fräferschwingzahl, die sich aus Drehzahl mal Zähnezahl errechnet, und Eigenschwingzahl der Maschine gleich, so tritt Resonanz ein: der Fräser „rattert“.

Spanbrechernuten. Die Ansichten über die Zweckmäßigkeit solcher Nuten sind geteilt. Die Seitenflächen dieser Nuten drücken; infolgedessen stumpfen die Nutkanten vorzeitig ab. Werden die Nuten versetzt angeordnet, so wird das auf Lücke stehende Schneidenstück ebenfalls stärker beansprucht. Der Fräser muß über Gebühr nachgeschliffen werden. Als Schlichtfräser eignen sich solche Fräser nicht, sie blähen also das Werkzeuglager auf. Bei den Schälspänen hochdraliger Fräser ist eine Spanunterteilung meist nicht erwünscht, da der Fräser die Späne wie eine Förderschnecke ungeteilt am besten beiseite schiebt. Nur in Sonderfällen, z. B. bei gewissen, sehr langen

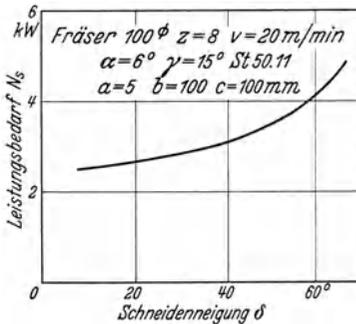
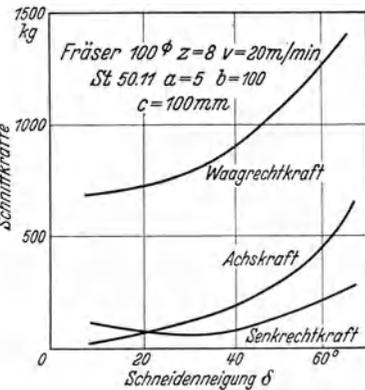


Abb. 24. Einfluß der Schneideneigung.
(nach Stöwer).

Formfräsern mit geringer Zahnneigung, kann unter Umständen eine Spanunterteilung notwendig sein.

III. Entwurf der Fräser.

Bekannt ist die Einteilung der Fräser in solche mit gefrästen Zähnen, sogenannte spitzzahnige Fräser, Fräser mit hinterdrehten Zähnen und Fräser mit eingesetzten Zähnen (die Zähne aus Werkzeug- oder Schnellstahl, der Körper aus nicht härtbarem Stahl).

A. Fräser mit gefrästen Zähnen.

Normung. Vernünftigerweise hat man die Abmessungen der wichtigsten Fräser genormt. Daß wir diese genormten Fräser unserer Übersicht voranstellen, soll die Bedeutung der Normung für den praktischen Betrieb unterstreichen. Die Sinnbilder der Normblätter entstanden vor einer Reihe von Jahren — wir setzen deshalb (siehe S. 18/19) Skizzen der gleichen Fräser für Stahl-Gußeisen- und Bronzebearbeitung und in einer dritten Spalte solche für Leichtmetalle hinzu, wie man sie heute ausführt. Diese Gegenüberstellung soll die Richtung darstellen, die die Entwicklung der Werkzeuge gegangen ist. Es erweist sich aber auch hieraus, wie elastisch sich die DIN dieser Entwicklung anpassen, da sie ja nicht

durch Festlegung von Zähnezahl und Zähneform den Konstrukteur einengen und den Fortschritt hemmen, sondern nur dem Wirrwarr der Abmessungen mit ihrer verlustreichen Folgen für Lagerhaltung, Verwaltung und Übersicht steuern wollen.

Fräserwahl. Es muß ferner beachtet werden, daß es einen Allgemeinfräser (Universalfräser) für alle Werkstoffe oder alle Betriebsverhältnisse ebensowenig gibt wie einen Allgemeindrehstuhl. Es wird immer Fälle geben, wo Sonderfräser am Platze sind, die von den unten dargestellten Fräsern abweichen. Bei jenen wären eben die hier angeführten Gesichtspunkte nach Abwägen der Größe ihres Einflusses sinngemäß anzuwenden.

Aber ebensowohl sollte einleuchten, daß die Unterscheidung zwischen „normalen“ Fräsern (oft nennt man die in Spalte 1 dargestellten so) und „Hochleistungsfräsern“ (das wäre in dieser Betrachtungsweise Spalte 2) gegenstandslos ist. Denn niemand wird sich heute noch Fräsmaschinen Modell 1919 bestellen, wenn er für nur wenig mehr Geld eine Maschine Modell 1937 haben kann. Ein neuzeitlicher Betrieb wird immer „Höchstleistung“ verlangen, d. h. beim Fräser: größte Spanmenge bei kleinsten Schnittkräften und höchster Oberflächengüte. Benötigt er diese größten Spanmengen nicht, so wird sich eine um so größere Schonung von Werkzeug und

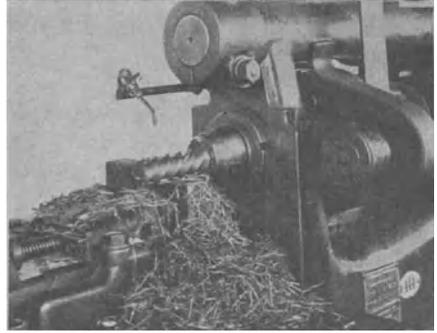


Abb. 25. Auch alte Maschinen arbeiten wieder wirtschaftlich, wenn ein leicht schneidender Fräser benutzt wird.



Abb. 26.

Maschine ergeben. Und in der Tat konnten solche Fräser infolge der geringeren Zerspanungswiderstände, die sie her-

vorrufen, die Spanausbeute auf verhältnismäßig schwachen Maschinen steigern oder bei gleicher Spanmenge ihre Standzeit erhöhen. Diese Möglichkeit, die Leistung eines alten Maschinenparkes durch „Hochleistungswerkzeuge“ zu steigern (s. Abb. 25), wird sich kein Betriebsführer entgehen lassen. Nur muß die Maschine an sich in Ordnung sein. Ausgeschlagene Tischspindeln und -führungen, schlagende und „schwimmende“ Arbeitsspindeln sind auch bei alten Maschinen nicht zu entschuldigen und sind für jedes Werkzeug vom Übel.

Bei allen konstruktiven Überlegungen wie bei der Beschaffung von Fräsern muß an eine wirtschaftlich sinnvolle Lagerhaltung gedacht werden. Während man bei der Massenfertigung sich sehr weitgehend dem Sonderfall anpassen kann, muß man im allgemeinen Maschinenbau aus wirtschaftlichen Gründen mit möglichst wenigen Fräserarten, -konstruktionen und -abmessungen auszukommen suchen. Daß diesen Forderungen die Fräser nach Spalte 2 u. 3 der Fräserafel (S. 18/19) am besten gerecht werden, kann nicht mehr bezweifelt werden.

Zähnezahl. Tafel 3 (S. 14) gibt für Durchmesser von 5 ... 200 mm für die üblichen Fräserarten geeignete Zähnezahl an. Im übrigen ist auf Kapitel II zu verweisen.

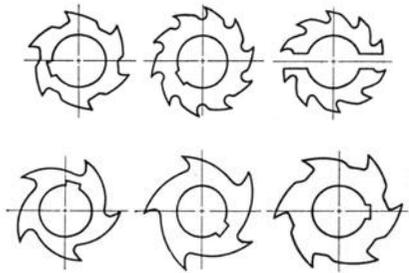
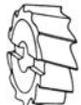
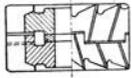
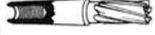
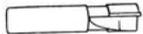
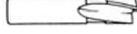
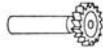
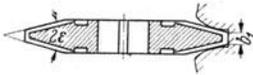
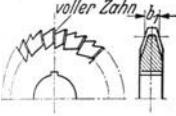
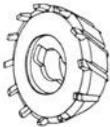
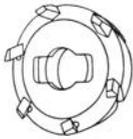
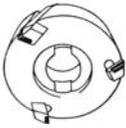


Abb. 27. Fräser für Stahl, Gußeisen und für Leichtmetall.

Übersicht über die wichtigsten spitzzahnigen Fräser.

alter Art	Fräser neuer Art	für Leichtmetall	DIN Nr.	Bezeichnung	Bemerkungen und Berechnung
				Walzenfräser	
			841	Stirnfräser	Mitnahme zweckmäßig durch Quernut.
			841	Walzenstirnfräser	
			842	Winkelstirnfräser	
				Scheibenfräser	für genaue Nuten verwendet man geteilte Kreuzzahnscheibenfräser.
				Geteilte Scheibenfräser (Nuten-)fräser	besondere Rücksicht auf gute Späneabfuhr nehmen!
			136	Sägen	
			844 845	Schaftfräser	
			326 327 328	Finger- oder Nutenfräser	werden als 2- oder 4-Schneider ausgebildet; 3-Schneider lassen sich schwierig messen. Bei richtiger Konstruktion der Stirnschneiden kann die volle Nuttiefe gebohrt werden.
			851 850	Schlitzfräser	Mit Seitenzähnen und Kreuzverzahnung versehen dienen diese Fräser als T-Nutenfräser (nach DIN 650)
				Gesenkfräser	Die Verzahnung darf nicht zu grob sein; die Zähne sollen möglichst spiralig verlaufen. Zum Nacharbeiten vorgefräster Flächen dienen schnellumlauende, feilenähnliche Werkzeuge.

alter Art	Fräser neuer Art		für Leichtmetall	DIN Nr.		Bezeichnung	Bemerkungen und Berechnung
						Zahnfräser spitzgezahnt	zum Vorfräsen von Zähnen $b_1 = \text{Modul}$ $\left(\frac{\pi}{2} - 1 \cdot 16 \text{tg } 2\varepsilon\right) - x$ $x = 0,5 - 1 \text{ mm}$ je nach Größe der Teilung.
						Tragege- winde- und Schnecken- fräser	Auch dieser wird als Kreuzzahnfräser ausge- bildet. Ein gerader, voll- er Kontrollzahn. Seit- liche Zähne einen um den andern freimachen. Besondere Maßnahmen beim Schleifen. $b_1 = b \cdot \cos \alpha$ ($b = \text{halbe}$ Teilung [Steigung] des Gewindes). Fräser beim Schneiden um den mitt- leren Steigungswinkel des Gewindes neigen. Gewindeprofil wird nicht genau geradlinig.
						Messerkopf	wird oft mit Hartme- tallschneiden (in Bil- dern schwarz) ausge- führt.
							

Schnitttrichtung der Fräser. Nach DIN 857 heißt ein Fräser linksschneidend, wenn er vom Antrieb aus gesehen gegen den Uhrzeigersinn läuft, und rechtschneidend, wenn er vom Antrieb aus gesehen im Uhrzeigersinn läuft.

Zahnform. Die früher allgemein übliche Form der Zähne für spitzgezahnte Fräser nach Abb. 26 ist heute nur noch in wenigen Fällen berechtigt, weil der Zahn keinen Spanwinkel hat, und weil seine Widerstandsfähigkeit gegen große Schnittkräfte zu gering ist. Heute übliche Formen zeigt Abb. 27.

B. Hinterdrehte Fräser.

Verwendung. Die hinterdrehten Fräser soll man wegen der ungünstigen Schneidenwinkel, die bei gegebener Fräserform meist nicht zu vermeiden sind (siehe S. 23), nur für solche Formflächen verwenden, die sich mit spitzzahnigen Fräsern nicht erzeugen lassen. Es ist also ungünstig z. B. rechtwinklige Nuten von genauer Breite mit hinterdrehten Fräsern herzustellen. Hier leistet der spitzzahnige, geteilte Nutenfräser bei besserer Oberflächengüte raschere Arbeit. Dagegen sind spitzgezahnte Formfräser trotz ihres guten Schnittes nur in den seltenen Fällen möglich, wo man sie leicht und doch genau — etwa mit zwangsläufig nach Schablone geführter Scheibe — nachschleifen kann.

Hinterdrehte Formfräser werden durch die notwendigen Hilfswerkzeuge recht teuer. Sie machen sich daher nur dann bezahlt, wenn mehrere gleiche Formstücke

oder gar größere Mengen hergestellt werden müssen. Dafür aber haben sie den großen Vorzug, daß sich beim Nachschleifen ihr Profil nicht ändert, weil immer nur, auch bei den verzwicktesten Profilen, die ebene Brustfläche geschliffen wird.

Durchmesser, Zahnücke, Zähnezahl. Fräserdurchmesser, Zähnezahl und Schneidenneigung können beim hinterdrehten Fräser nicht nur unter dem Gesichtspunkte günstigster Zerspanung bestimmt werden. Die Form, Breite und Tiefe des Profils ergeben einen bestimmten kleinsten Durchmesser unter Berücksichtigung einer genügenden Fleischstärke m

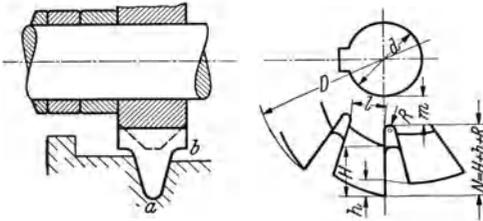


Abb. 28.

(Abb. 28) und der Möglichkeit, den Fräser einmal aufzuarbeiten. Die Zahnücke wird man im allgemeinen so tief einfräsen, daß die Brustfläche das vollständige Profil des Zahnes freigibt, damit beim Schärfen des Zahnes die Schleifscheibe ungehindert durch die Zahnücke hindurchschleifen kann. Würden die Zähne durch eine zu tiefe Zahnücke zu wenig

widerstandsfähig, so fräst man die Zahnücke nach innen zu nicht ganz durch, wie in Abb. 28 ausgezogen, sondern in 3 Schnitten nur so weit, daß man frei hinterdrehen und schleifen kann, wie in Abb. 28 gestrichelt gezeichnet. Ein solcher Fräser muß dann u. U. in 3 Teilgängen geschärft werden; es kann aber der Durchmesser verringert werden. Bei der Wahl der Zähnezahl hat man darauf zu achten, daß die Breite an der Zahnwurzel l groß genug wird, da sonst die Zähne brechen.

Sitzen mehrere hinterdrehte Fräser auf einem Dorn, so wählt man verschiedene Zähnezahlen, um Resonanz durch gleiche Fräaserschwingzahl zu vermeiden (siehe S. 16). Manchmal genügt es auch, die Fräserzähne durch entsprechende Anordnung der Mitnehmernute gegeneinander zu versetzen. Infolge der ungünstigen Schnittverhältnisse hinterdrehter Fräser wird man den Vorschub meist klein halten müssen, da es meist nicht gelingt, durch genügend große Neigung der Zähne oder eine genügend große Zähnezahl immer mehrere Zähne zugleich im Eingriff zu halten.

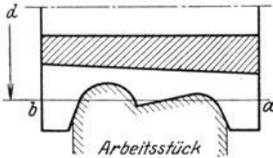


Abb. 29.

Zähne mit positivem Spanwinkel. Um die Spanleistung hinterdrehter Fräser zu erhöhen, führt man einfache Formfräser (z. B. Radiusfräser) mit positivem

Spanwinkel aus. Dieser Winkel muß beim Scharfschleifen genau eingehalten werden, da sonst Profilverzerrungen eintreten. Auch muß der erzeugende Drehstahl in seinem Profil entsprechend gearbeitet sein (siehe S. 54); d. h. man benötigt weitere Hilfswerkzeuge. Bei Fräsersätzen mit großen Durchmesserunterschieden ist dieser „Unterschnitt“ manchmal konstruktiv nicht möglich. Man wird daher diese Verbesserung nur dort vornehmen, wo die Mehrkosten einen fühlbaren Mehrertrag ergeben, also nur bei Fräsern mit einfachen Profilen, die große Stückzahlen herstellen sollen.

Jedoch ist auch dabei noch zu bedenken, daß nicht die ganze Schneidkante von dem Spanwinkel $\gamma > 0$ Vorteil hat: voll wirksam ist der Winkel nur an den Kantenstücken, die parallel zur Achse liegen, ganz unwirksam an denen, die rechtwinklig zur Achse stehen, und an den schrägen um so wirksamer, je geringer ihre Neigung zur Achse ist. In dieser Hinsicht gleicht der Spanwinkel völlig dem Frei- oder Hinterdrehwinkel, von dem in den nächsten Abschnitten die Rede ist.

Spiralzähne. Der Steigungswinkel der spiralnutigen hinterdrehten Fräser wird je nach dem Profil verschieden groß genommen. Die Größe dieses Winkels ist

von dem Durchmesserunterschied innerhalb des Profils und von der Länge des Fräasers abhängig. Der Winkel beträgt etwa 10° , in Sonderfällen 15° . Handelt es sich aber um eine sehr tiefe Form oder einen sehr langen ungeteilten Fräser, so würde sich bei einem so großen Spiralwinkel eine ganz unmögliche Zahnform ergeben, da ja rechtwinklig zur Fräserachse — nicht zur Fräuserschneide — hinterdreht werden muß. Da sich solche Verhältnisse zeichnerisch schwer darstellen lassen, fertigt man bei der Entwicklung schwieriger Fräser Holzmodelle an und überzeugt sich an diesen, ob die geplante Bauart „gesund“ ist.

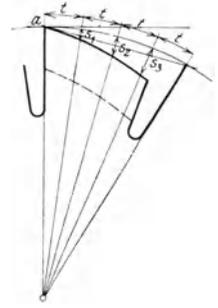


Abb. 30.

Bei Fräsern mit Spiralnuten vermeidet man, daß diese sich seitlich freischneiden müssen. Man setzt seitlich einen besonderen Fräser an, dessen Zähne auf Schnitt stehen.

Für die Berechnung der Spiralsteigung der hinterdrehten Formfräser benutzt man nicht den Außendurchmesser des Fräasers wie bei spitzzahnigen Fräsern, sondern den mittleren Durchmesser, den man erhält, wenn man die Mittellinie durch das Profil des Fräasers zieht; in Abb. 29 die Linie a—b.

Die Hinterdrehkurve.

Die Hinterdrehkurve hat zwei Aufgaben: dem Zahn einen Frei- oder Rückenwinkel zu geben und eine Zahnform zu schaffen, die es ermöglicht, den Zahn nicht an der Frei-(Rücken-)fläche zu schleifen, sondern nur an der ebenen Span-(Brust-)fläche, so daß das Profil der Schneidkante ungeändert bleibt, sofern nur in der vorgeschriebenen Richtung — meist radial, entsprechend einem Spanwinkel $\gamma = 0^\circ$ — geschliffen wird.¹

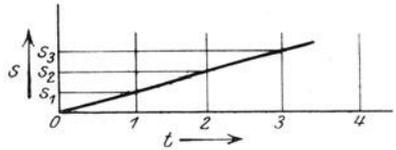


Abb. 31.

Die Krümmung der Hinterdrehkurve. Es entsteht nun die Frage, ob dieses Ziel nur durch eine ganz bestimmte Krümmung der Hinterdrehkurve erreichbar ist oder ob die Krümmung beliebig sein kann. Man nimmt vielfach an, daß die Hinterdrehkurve grundsätzlich eine logarithmische Spirale sein müsse; tatsächlich aber ist das nicht nötig, vielmehr ist jede Kurve richtig, die sich beim Hinterdrehen dadurch ergibt, daß der Hinterdrehstahl sich (bei jedem Zahn) in gerader Richtung nach der Mitte zu vorbewegt. Dadurch wird die Rückenfläche des Zahnes statt nach einem Kreisbogen, nach einer abfallenden Kurve gekrümmt (Abb. 30), doch so, daß der Zahn in jeder radialen Ebene das Profil des Hinterdrehstahles erhält, das mit dem Schneidprofil des Fräasers identisch ist.

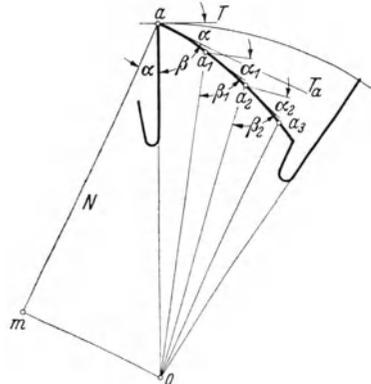


Abb. 32.

Die Krümmung der so entstehenden Hinterdrehkurve hängt lediglich ab vom Verhältnis der Geschwindigkeiten der drehenden Bewegung des Zahnes und der fortschreitenden des Hinterdrehstahles. Wie aus diesen zwei Bewegungen, wenn sie der Größe und Richtung nach bekannt sind, die Hinterdrehkurve entsteht bzw. zu konstruieren ist, zeigt Abb. 30. In Abb. 31 sind die Bewegungen in ein rechtwinkliges Achsenkreuz eingetragen, die Drehung des Zahnes waagrecht, die geradlinige Bewegung des Stahles senkrecht.

Wenn nun auch alle Kurven, die bei radialer Vorbewegung des Hinterdrehstahles entstehen, in bezug auf die Profilerhaltung richtig sind, so sind doch nur wenige geeignet, da auch noch eine andere Bedingung zu erfüllen ist: die Winkel an den Zahnschneiden dürfen

¹ Vgl. Simon: Untersuchung zur Hinterdrehkurve. Werkst.-Techn. 1924, S. 293.

sich beim Nachschleifen nicht wesentlich ändern, d. h. die Schneidenwinkel müssen in radialen Schnittebenen gleich sein.

Diese Bedingung wird durch die logarithmische Spirale als Hinterdrehkurve erfüllt. Ist also in Abb. 32 die Hinterdrehkurve eine logarithmische Spirale, so ist $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$ und $\beta = \beta_1 = \beta_2$. Nun kann aber von einem Profil nur die Hinterdrehkurve eines Punktes eine logarithmische Spirale sein, alle anderen Profilverpunkte haben nur ähnliche Kurven, und die zu ihnen gehörigen Schneidenwinkel bleiben deshalb auch nur angenähert gleich.

Vielfach wird statt der logarithmischen Spirale die archimedische benutzt, weil sie die Eigenschaft hat, daß die zur Bewegung des Hinterdrehstahles nötige Kurve sehr leicht und genau hergestellt werden kann. Die archimedische Spirale verlangt nämlich zu einer gleich-

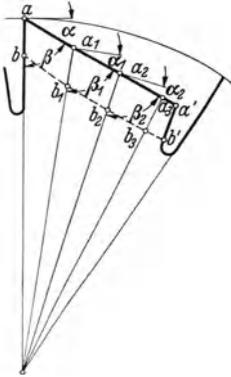


Abb. 33.

mäßigen Drehung des Fräserkörpers einen gleichmäßigen Vorschub des Hinterdrehstahls, so daß also in Abb. 30 $s_2 = 2 s_1$, $s_3 = 3 s_1$ usw. würde und die Kurve in Abb. 31 eine Gerade. Eine Stirnkurve, die einen gleichmäßigen Vorschub gibt, ist deshalb eine Schraubenlinie, die leicht zwangsläufig hergestellt werden kann. Praktisch sind logarithmische und archimedische Spirale gleich gut als Hinterdrehkurve geeignet.

Beim Aufzeichnen des nach der Spirale hinterdrehten Zahnes begnügt man sich mit einer Annäherung an die wirkliche Krümmung, indem man sie durch einen Kreisbogen ersetzt. Man trägt in a (Abb. 32) den gewünschten Neigungswinkel α an T' an und zugleich auch an $a-o$, so daß $N \perp T'$ steht. Fällt man dann von o das Lot auf N , so ist m der Mittelpunkt für den Kreis-

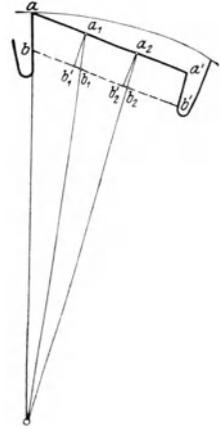


Abb. 34.

bogen durch a , der die Spirale ersetzen kann. Dieser Kreisbogen ist die Annäherung an den Krümmungskreis der archimedischen Spirale.

Interessant ist noch der Grenzfall, in dem die Hinterdrehkurve eine schräge Gerade wird (Abb. 33). Die zu ihrer Entstehung nötigen Wege des Hinterdrehstahles in Abhängigkeit von den Wegen des Zahnes sind ohne weiteres aus Abb. 32 zu entnehmen. Bemerkenswert ist, daß der Zahngrund $b-b'$ nicht etwa eine Parallele zur geneigten Geraden $a-a'$ wird, sondern eine Kurve, weil in den radialen Schnitten die Profiltiefen a_1-b_1 , a_2-b_2 , $a_3-b_3 \dots$ gleich sein müssen.

Praktisch wird die Gerade als Hinterdrehkurve kaum verwendet, obwohl natürlich das Profil immer richtig bleibt, weil die Schnittwinkel sich stark ändern; es ist: $\alpha > \alpha_1 > \alpha_2 \dots$ und $\beta < \beta_1 < \beta_2 \dots$

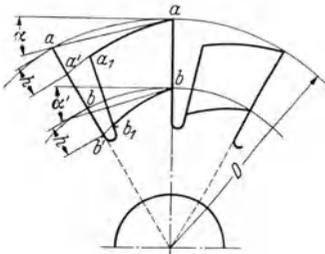


Abb. 35.

Früher, bevor es Hinterdrehbänke gab (und auch heute wohl noch, wenn keine zur Verfügung stehen), fertigte man sich Formfräser mit geradem Zahnrückens nach Art der hinterdrehten an, jedoch durch Stoßen (Abb. 34). Der Unterschied gegenüber den hinterdrehten nach Abb. 33 liegt darin, daß hier der Zahngrund rechtwinklig zum Zahnrückens überall gleich tief liegt, also $b-b'$ parallel $a-a'$ ist, wodurch wohl $a_1-b'_1 = a_2-b'_2$, aber nicht $a-b = a_1-b_1 = a_2-b_2$ wird. Die Folge davon ist, daß das Profil des Fräasers beim radialen Schleifen verändert wird, ganz abgesehen von der Änderung der Schnittwinkel. Daher sind derartige Fräser nur möglich, wo es auf genaue Form nicht ankommt.

Kurvenfall und Hinterdrehwinkel. Der Fall oder die Tiefe h der Hinterdrehkurve wird bis zum nächsten Zahn gerechnet, so daß $h = a - a' = b - b'$ (Abb. 35) ist. Die Größe von h ergibt sich aus Hinterdrehwinkel β und Zähnezahl und Durchmesser des Fräasers; und zwar ist angenähert $h = \frac{\text{tg } \alpha \cdot D \pi}{\gamma}$. Um h für einen bestimmten α zahlenmäßig zu bestimmen,

ist es das einfachste, einen Zahn, wie in Abb. 35, aufzuziehen. Sehr bequem sind auch Tafeln (die man aus obiger Gleichung konstruieren kann), aus denen man für bestimmte Rückenwinkel den Kurvenfall für beliebige Fräserdurchmesser und Zähnezahlen unmittelbar entnehmen kann. Abb. 36 gibt solche Tafel für $\alpha = 10^\circ$.

Die Freiwinkel sind bei hinterdrehten Zähnen wesentlich größer als bei spitzgezahnten. Bei diesen ist nämlich die den Anstellungswinkel bildende Fase nur eine kleine schmale Fläche,

an die sich der verhältnismäßig steil abfallende Zahnrücken anschließt. Ein solcher Zahn kann daher, selbst bei grobem Vorschub des Arbeitsstückes, nötigenfalls noch mit einem Anstellungswinkel von 3° ohne Schwierigkeiten in den Werkstoff eindringen. Bei hinterdrehten Zähnen würden dagegen die bei einem so kleinen Anstellungswinkel sich ergebenden flachen Rückenflächen dem Eindringen der Zähne hinderlich sein. Man muß darum bei ihnen den Hinterdrehwinkel größer nehmen. Gegen zu große Hinterdrehwinkel spricht aber einmal die abnehmende Widerstandsfähigkeit des Zahnes, dann die wachsende Nuttiefe und die größere Hinterdrehearbeit.

Der kleinste in der Praxis vorkommende Hinterdrehwinkel beträgt etwa 8° , jedoch findet man auch Winkel von $15 \dots 22^\circ$. In den meisten Fällen dürfte ein Winkel von etwa $10 \dots 15^\circ$ allen Anforderungen genügen, vorausgesetzt, daß die Profilform nicht mehr verlangt. Tatsächlich tut sie das aber manchmal und zwingt dadurch zu Größen, die für manche Teile des Profils ungünstig sind. Je mehr sich nämlich irgendeine Strecke oder Tangente des Profils der rechtwinkligen Lage zur Fräserachse nähert, um so schlechter schneidet der Fräser an diesen Stellen. Verbessern läßt sich das Schneiden dann nur durch Vergrößerung des Hinterdrehwinkels oder durch Änderung der Hinterdrehrichtung. Beide Möglichkeiten und ihr konstruktiver Einfluß seien näher betrachtet.

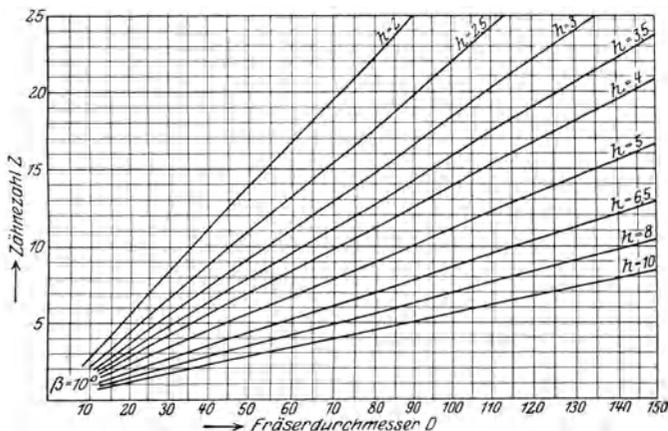


Abb. 36.

Hinterdrehwinkel und Profilform. Bei dem meist üblichen Hinterdrehen quer zur Fräserachse (radiales Hinterdrehen) erhalten die Kanten des Fräserprofils, die parallel zur Achse liegen ($a-a$, Abb. 37), den vollen Hinterdrehwinkel als Rücken- oder Freiwinkel. Dagegen erhalten die Kanten rechtwinklig zur Achse, wie $a-b$ einen Freiwinkel gleich Null. Damit diese Kanten trotzdem bei tieferen Nuten nicht drücken und sich gar im Arbeitsstück festklemmen, werden sie so ausgespart, daß nur ein schmaler, etwa $1 \dots 2$ mm breiter Rand stehen bleibt.

Alle nun zwischen den zur Achse rechtwinkligen und parallelen Kanten liegenden, d. h. alle schrägen Kanten, bekommen durch den Hinterdrehwinkel α einen Freiwinkel, der größer als Null, aber kleiner als α ist, und zwar ist er um so kleiner, je mehr die Kantenneigung sich der Rechtwinkligen zur Achse nähert, d. h. je größer φ (Abb. 38) ist. Folgende Betrachtung wird das klarmachen:

In Abb. 38 sind die Kurven $a-a_1$ und $b-b_1$ die Hinterdrehkurven der Punkte a und b bzw. der Kanten $a-a$ und $a-b$. Die Kurven $a-a_2$ und $b-b_2$ dagegen stellen den Verlauf der von den Kanten $a-a$ und $a-b$ im Arbeitsstück beim Fräsen erzeugten Schnittfläche dar (angenähert Kreisbogen aus der Fräsermitte).

Die Breiten $a-a$ und $b-b$ des Fräserprofils bleiben entlang den Hinterdrehkurven $a-a_1$ und $b-b_1$ stets gleich groß. Dagegen muß die Profildicke entlang der Kurve $b-b_2$ abnehmen, da b_2 oberhalb der Breite b_1 liegt und das Profil des Zahnes sich nach a_1 zu verjüngt. Die an den drei Kurven $a-a_1$, $b-b_2$ und $b-b_1$, entlanggelegten Schnitte, die in Abb. 38 dargestellt sind, lassen das deutlich erkennen.

Der Neigungswinkel α_1 der Kante $b-b_2$ des Zahnquerschnitts gegen die Schnittfläche ist der Freiwinkel im Punkte b der Profilkante $a-b$. Ebenso nun wie Punkt b hat auch jeder andere Punkt von $a-b$ den Freiwinkel α_1 , so daß die ganze Kante $a-b$ gut frei schneidet. Vergrößert man die Hinterdrehkurve, d. h. vergrößert man den Winkel α (was durch die gestrichelten Linien in Abb. 38 angedeutet ist), dann vergrößert sich auch der Winkel α_1 in Abb. 39, da die von den Schneidkanten $a-b$ des Fräasers im Arbeitsstück beim Fräsen erzeugten Schneidflächen $a-a_2$ und $b-b_2$ dieselben bleiben, dagegen die Rückenflächen $a-a_1$

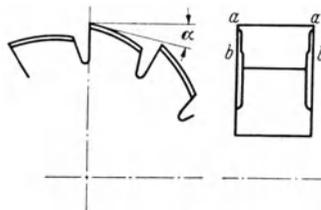


Abb. 37.

und $b-b_1$ des Zahnes sich mehr nach unten neigen, so daß die Entfernung b_1-b_2 größer, a_1-b_2 kleiner wird. Je mehr aber b_2 sich a_1 nähert, an einer um so schmäleren Stelle des Profils liegt b_2 , und daher wird in Abb. 39 b_2-b_2 um so kürzer und der Winkel α_1 um so größer, je größer α ist. Das heißt aber nichts anderes, als daß der Freiwinkel einer schrägen Profilkante um so größer wird, je größer der Hinterdrehwinkel ist.

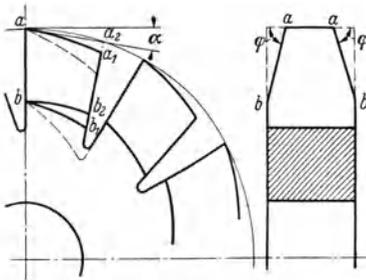


Abb. 38.

Daß der Anstellwinkel der schrägen Profilkante, wie oben schon erwähnt, um so kleiner ist (beim gleichen Hinterdrehwinkel), je mehr sich der Neigungswinkel φ einem rechten Winkel nähert, das geht auch klar aus Abb. 39 hervor, in der die Strecke b_2-b_2 im Verhältnis zu $b-b$ um so länger und der Winkel α_1 um so kleiner ist, je größer φ ist. Daher nimmt man den Hinterdrehwinkel α , wenn möglich, um so größer, je größer φ ist, damit sich immer noch ein ausreichender Winkel α_1 ergibt.

Will man den Freiwinkel α_1 einer schrägen Kante (oder Tangente eines gebogenen Kantenstückes) für einen bestimmten Hinterdrehwinkel α der Größe nach bestimmen, so kann man das leicht tun, wenn man den Fräserzahn wie in Abb. 38 aufzeichnet und nach der Schnitt-

fläche einen Schnitt hindurch legt wie in Abb. 39. Man kann α_1 aber auch aus α und φ berechnen aus der angenähert gültigen Gleichung
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot D \cdot \operatorname{tg} \varphi}{D - 2h}$$
.

Natürlich darf man aus Gründen, die oben angegeben sind, α nicht über eine gewisse Grenze hinaus vergrößern, nicht über etwa $20 \dots 22^\circ$, da man sonst an günstig gelegenen Kantenstücken des Fräserprofils, also an den mehr parallel zur Fräserachse liegenden, zu

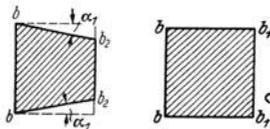
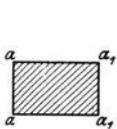


Abb. 39.

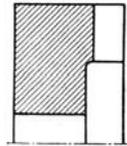


Abb. 40.

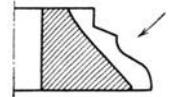


Abb. 41.

große Frei- und zu kleine Keilwinkel erhalten würde. Es ist auch zu berücksichtigen, daß die Freiwinkel bei tieferen Formen nach der Mitte zu immer größer werden, denn der Kurvenfall h (Abb. 35) der Hinterdrehkurve ist für alle Punkte eines Profils der gleiche. Da aber die äußere Kurve $a-a'$ länger ist als die innere $b-b'$, muß der Freiwinkel $\alpha' > \alpha$ sein.

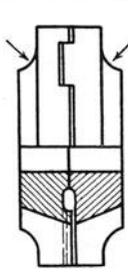


Abb. 42.

Ist nun trotz eines möglichst großen Hinterdrehwinkels an ungünstig liegenden Kantenstücken des Fräserzahns immer noch ein zu geringer seitlicher Freiwinkel, dann hilft nur noch ein mäßiger Vorschub beim Fräsen und eine ganz scharfe Schneidkante über die ungünstigen Verhältnisse hinweg.

Schräghinterdrehen. Eine Möglichkeit gibt es allerdings noch, um ungünstigen Profilen recht gute Schneidwinkel zu

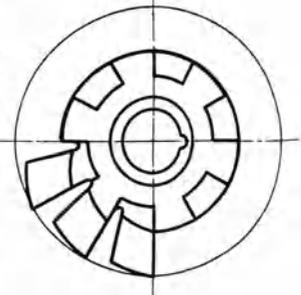
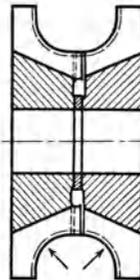


Abb. 43.

geben, das ist die Änderung der Hinterdrehrichtung. Dieses Hilfsmittel kann allerdings nicht bei allen Profilen benutzt werden und bedingt, wenn es benutzt werden kann, meist die Teilung des Fräasers in zwei Hälften, wodurch es recht kostspielig wird.

Außer in radialer Richtung — wie bislang angenommen — kann man nämlich auch rechtwinklig dazu, d. h. in Achsenrichtung, hinterdrehen (Abb. 40) und auch in jeder schrägen Richtung (Abb. 41). Das Schräghinterdrehen kann als Ergebnis einer radialen und achsrechten Hinterdrehbewegung aufgefaßt werden.

Während beim radialen Hinterdrehen Kantenstücke parallel zur Achse den vollen, Kantenstücke rechtwinklig zur Achse gar keinen Freiwinkel bekommen, ist es beim achsrechten Hinterdrehen umgekehrt: Kanten rechtwinklig zur Achse bekommen den vollen, Kanten parallel zur Achse gar keinen Freiwinkel. In beiden Fällen bekommen ungünstig liegende schräge Kanten nur einen ungenügenden Freiwinkel. Da tritt nun das Schräghinterdrehen in seine Rechte. Man kann nämlich rechtwinklig zu der ungünstigen Kante hinterdrehen, so daß diese den vollen Hinterdrehwinkel als Freiwinkel erhält. Sind mehrere ungünstig liegende Kanten von verschiedenem Neigungswinkel im Profil (oder eine gekrümmte Profilinie), so bleibt natürlich nichts übrig, als eine für alle Kanten leidlich geeignete mittlere Hinterdrehrichtung zu nehmen (Pfeilrichtung in Abb. 41).

Schräghinterdrehen, ohne daß beim Nachschleifen das Profil sich ändert, ist nur bei Profilen wie Abb. 41 möglich, die einseitig ansteigen. Die meisten Profile, die ein Schräghinterdrehen nötig haben, steigen von beiden Seiten an (Abb. 42 und 43), müssen daher von beiden Seiten hinterdreht werden und nähmen daher beim Nachschleifen an Profillbreite ab oder zu, wenn man sie nicht aus zwei Teilen herstellte. Diese Teile werden nämlich nach jedem Schleifen ein wenig auseinandergestellt (zusammengerückt) auf die alte Breite, indem man Papier- oder Blechscheiben zwischen sie legt (herausnimmt).

Die zusammenstoßenden Flächen haben Kupplungszähne, die verhindern, daß sich auf den gefrästen Flächen Spuren der Stoßfugen bemerkbar machen.

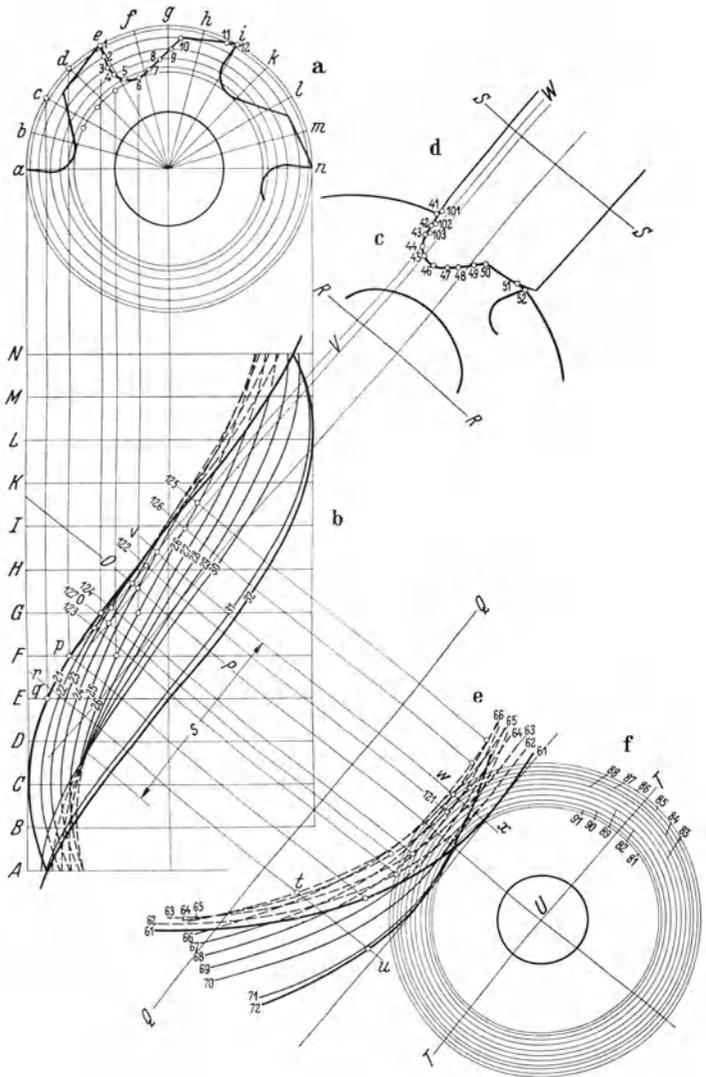


Abb. 44. Konstruktion von Profilfräsern zum Spiralfräsen. *a* Stirnprofil von Zahn und Nute eines Walzenschälfräfers. *b* Verlauf der Nute bei einer Spiralsteigung von 40° am Umfang des Fräfers. *c* Das verlangte Nutenprofil, rechtwinklig zur Spirale gesehen. *d* Nutenfräser mit nicht korrigiertem und mit später korrigiertem Profil. *e* Verlauf der Nute aus Bild *a* und *b* im Seitenriß. *f* Stellung des Nutenfräfers in der Nute des Walzenschälfräfers; im Zusammenhang mit Bild *b*... *e* wird die Korrektur des Nutenprofils gezeigt.

Hinterdrehte Fräser.

	DIN Nr.	Bezeichnung	Bemerkungen und Berechnung
	856 855	Radiusfräser	zur Erzielung besserer Spanleistungen mit positivem Spanwinkel ausführen. Bedingt jedoch Profilkorrektion.
		Zahnformfräser	Für jede Zähnezahl eines Moduls müßte rechnerisch ein Fräser vorgesehen werden. Man begnügt sich jedoch mit einem 8- oder 15 teiligen Satz. Für Schraubenträger ist die Berechnung der idealen Zähnezahl erforderlich.

Die Konstruktion von Formfräsern für die Zahnücken hochdralliger Walzenfräser zeigt Abb.44. Die Einzelheiten dieser Konstruktion sind im Masch.-Bau (13) 1934 S. 210 nachzulesen.

Wälzfräser¹.

Sie bilden eine besonders wichtige Gruppe der hinterdrehten Fräser. Sie dienen meist der Herstellung von Verzahnungen oder zahnähnlicher Profile und finden immer mehr Anwendung. Man stellt sogar spiral- und bogenverzahnte Kegelräder durch ein Abwälzschraub räslen her; auch

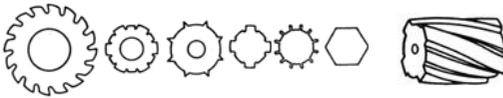


Abb. 45.

Vieleckprofile können „gewälzt“ werden, (Abb. 45). Der Wert eines Wälzfräasers hängt ab von:

- seiner Profiligenauigkeit,
- dem Verlauf des Gewindeganges,
- der Steigung von Zahn zu Zahn,
- der Geradheit und dem richtigen Verlauf der Zahnbrust,
- der richtigen Schnittspirale (besonders beim Nachschleifen zu beachten),
- dem Rundlauf.

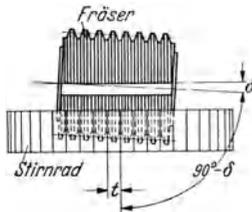


Abb. 46.

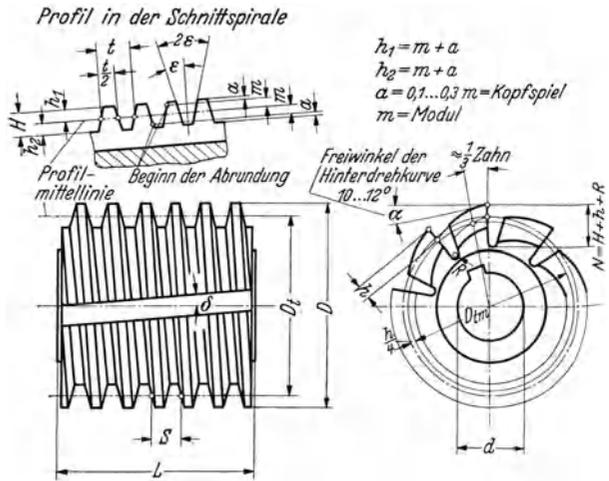


Abb. 47.

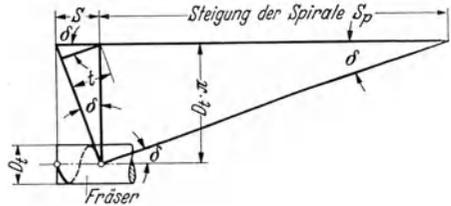
¹ Für die Angaben dieses Abschnittes sei auch an dieser Stelle Herrn Ing. Göhring gedankt.

Die hohen Anforderungen, die hinsichtlich Maßabweichungen und Oberflächen-güte heute an Verzahnungen gestellt werden, bedingen Fräser höchster Genauig-keit, deren Herstellung und Messung besonderer Einrichtungen bedarf; die Schilderung im einzelnen würde hier zu weit führen (vgl. Schrifttumverzeichnis, vor allem Pfauter-Handbuch). Auch die Frage der „normalen“ und „korrigierten“ Verzahnungen müssen in Sonderschriften nachgelesen werden.

Häufig muß das Profil in zwei Arbeits-gängen fertiggestellt werden. Dann strebt man an, daß beim Schruppen so tief ge-fräst wird, daß beim Schlichten nur noch die Zahnflanken angegriffen werden.

Die Hauptarten sind:

Wälzfräser für Stirnräder. Einstellung des Fräasers an der Maschine nach Abb. 46. Neigung um $(90^\circ - \delta)$ gegen die Werk-stückachse.



$$\sin \delta = \frac{t}{D_t \pi} \quad \text{tg } \delta = \frac{S}{D_t \pi} = \frac{D_t \pi}{S_p}$$

$$S = D_t \pi \cdot \text{tg } \delta = \frac{t}{\cos \delta}$$

$$S_p = \frac{D_t \pi}{\text{tg } \delta}$$

Abb. 48.

Fräserteilung in der Schnittspirale muß gleich Stirnradteilung t des Rades sein: $t = m \cdot \pi$ (Abb. 47 und 48)

$$\sin \delta = \frac{t}{D_t \cdot \pi} = \frac{m \pi}{D_t \cdot \pi} = \frac{m}{D_t}$$

δ = mittlerer Steigungswinkel. $D_t = D - 2 h_1$.

Durch Nachschleifen ändert sich D_t und damit δ . Hierdurch entstehen, wenn δ gleichbleibend eingestellt wird, kleine Profilfehler, die vermieden werden können, wenn statt D_t mit $D_{tm} = D_t - 2 \frac{h}{4} = D_t - \frac{h}{2}$ gerechnet wird. Über Schnitt- und Gangrichtung siehe Abb. 49 I.

Achsiale Steigung des Fräasers $S = \frac{t}{\cos \delta}$ (wichtig für Schneiden und Hinterdrehen des Fräasers).

Steigung der Schnittspirale $S_p = \frac{D_t \pi}{\text{tg } \delta}$ (Über Zähnezahl und Hinterdrehen siehe S. 21.)

Die Profilform der Fräserzähne entspricht dem Zahnstangenprofil (Abmes-sungen siehe Abb. 47).

ϵ = Eingriffswinkel der Evolvente im Zahnradteilkreis.

$\epsilon = 20^\circ$ nach DIN 867 oder 15° bzw. $14^\circ 30'$.

Bei Fräsern für korrigierte Zahn-profile richtet sich die Fräserprofilform nach dem Bezugsprofil der Räder.

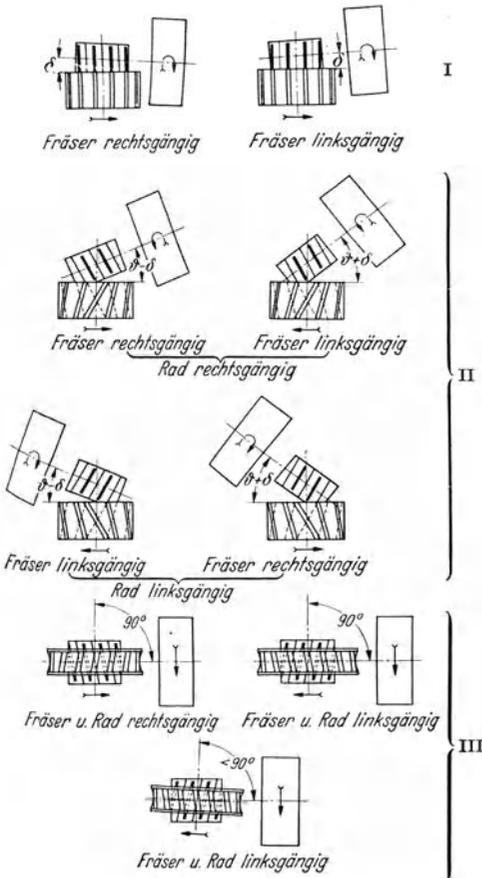


Abb. 49. Lage des Fräasers zum Rad beim Fräsen mit Wälzfräser (nach Gläser).

profile richtet sich die Fräserprofilform nach dem Bezugsprofil der Räder.

Wälzfräser für Schraubenräder. Fräsererteilung t in der Schnittspirale des Wälzfräfers gleich der Normalteilung des Schraubenrades (Einstellung siehe Abb. 49 II und 50). Bei Schraubenrädern über 20° Schrägungswinkel versieht man die Wälzfräser mit einem kurzen, kegelförmigen Anschnitt von etwa $1,5 t$ Länge.

Wälzfräser für Schneckenräder (Abb. 51) können für radialen oder tangentialen Vorschub ausgebildet werden (Abb. 52).

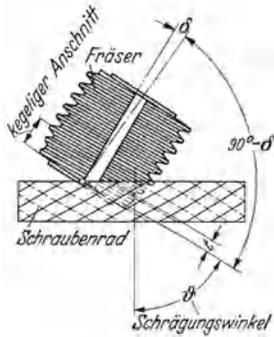


Abb. 50.

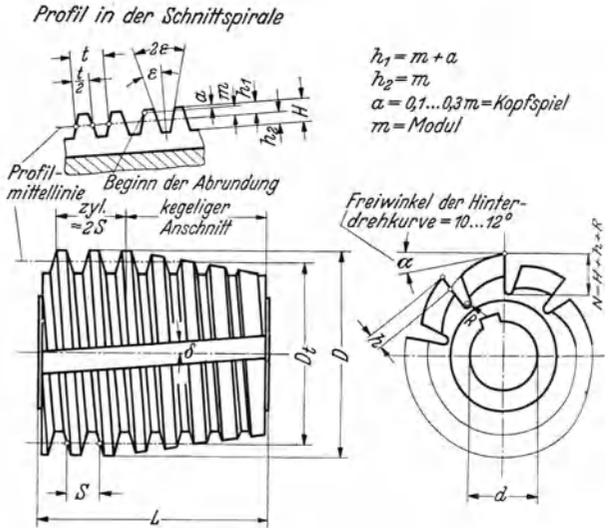


Abb. 51.

Tangentialfräser: Kegelförmiger Anschnitt des Fräfers $5 \cdot t$. Zylindrischer Teil $\approx (2 \dots 2,5) t$.

Radialfräser: Äußere Abmessungen wie Stirnradfräser.

$$D_t (\text{Fräser}) = D_t (\text{Schnecke})$$

Um eine richtige Verzahnung zu erhalten, muß der Fräser zum Schneckenrad in genau die gleiche Lage gebracht werden und die gleichen Formen aufweisen wie später die Schnecke. Wenn sich der Fräserdurchmesser durch Nachschleifen verringert, so erhält man dann eine richtige Verzahnung, wenn die Schnecke um den gleichen Betrag kleiner ausgeführt wird.

$$S (\text{Fräser}) = S (\text{Schnecke}) = m \pi \cdot g \quad (g = \text{Gangzahl}).$$

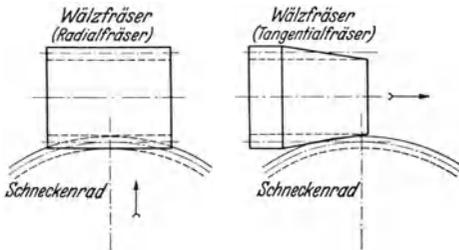


Abb. 52.

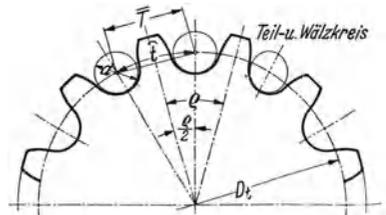


Abb. 53.

Profilform und Gangzahl des Fräfers gleich der der Schnecke. Der Flankenwinkel 2ε ist meist 29 oder 30° .

$$h_1 (= \text{Fußhöhe Schneckengewinde}) = 1,16 m \quad h_2 (= \text{Kopfhöhe Schneckengewinde}) = m$$

$$\text{tg } \delta = \frac{S}{D_t \cdot \pi} \quad S_p = \frac{D_t \cdot \pi}{\text{tg } \delta} \quad t = \frac{S \cdot \cos \delta}{g}$$

Bei mehrgängigen Schneckenradfräsern soll $\frac{\text{Spannutenzahl}}{\text{Gangzahl}}$ eine ganze Zahl sein. Schnitt- und Gangrichtung nach Abb. 49 III. (Über Schneckenherstellung siehe Schrifttumsverzeichnis; über Messung der Fräser vgl. Loewe-Notizen 1934, S. 49ff.)

Wälzfräser für Kettenräder. Sie ähneln denen für Stirnräder hinsichtlich Einstellung und Abmessungen. t aus den Abmessungen des Kettenrades (Abb. 53) ermittelt, entspricht der Teilung des Fräasers in der Schnittspirale.

$$\sin \delta = \frac{t}{D_t \cdot \pi} \quad D_t = D - 2 h_1$$

$$S = \frac{t}{\cos \delta} \quad S_p = \frac{D_t \cdot \pi}{\text{tg } \delta}$$

$z = \text{Anzahl der Kettenradzähne;}$
 $T = \text{Mittentfernung zweier Rollen}$

$$\varrho = \frac{360}{z}; \quad T = D_t \sin \frac{\varrho}{2};$$

$$t = \frac{D_t}{2} \text{arc } \varrho,$$

d.h. während T für alle Zähnezahlen gleich bleibt, ändert sich t jedesmal. Es müßte also grundsätzlich für jede Zähnezahl ein anderer Fräser hergestellt werden, doch kann man für untergeordnete Getriebe denselben Fräser in weiten Grenzen verwenden.

Herstellung der Fräserzahnform: Abwälzen einer Zahnformschablone des Kettenrades auf einer Unterlage, um das Zahnstangenprofil zu finden (Abb. 54).

Fräser für Keilwellen¹. Es ist

$$\sin \delta = \frac{t}{D_t \cdot \pi} \quad S = \frac{t}{\cos \beta}$$

$$S_p = \frac{D_t \cdot \pi}{\text{tg } \beta}$$

Entwicklung der Fräserprofilform aus der Profilform des Werkstückes. Hierbei beachten, ob Keilwelle am Grund Ausrundung erhalten soll oder nicht; der Wälzfräser kann so gestaltet werden, daß er beim Fräsen gleichzeitig die scharfen Kanten der Keilflanken bricht.

Das Profil des Fräasers kann durch Abwälzen einer Profilschablone oder zeichnerisch ermittelt werden:

Abwälzen einer Profilschablone: Wie oben (Abb. 54).

Zeichnerische Ermittlung: Zunächst wird das Profil der Keilwelle vergrößert auf gezeichnet und der Außendurchmesser als Wälzkreis gewählt. Dann zieht man durch C die Waagerechte $A-B$ und errichtet auf der Profilflanke $C-D$ in den beliebig gewählten Punkten 1, 2, 3, 4, 5, Normale (Rechtwinklige) und bringt diese mit dem Wälzkreis zum Schnitt. Die

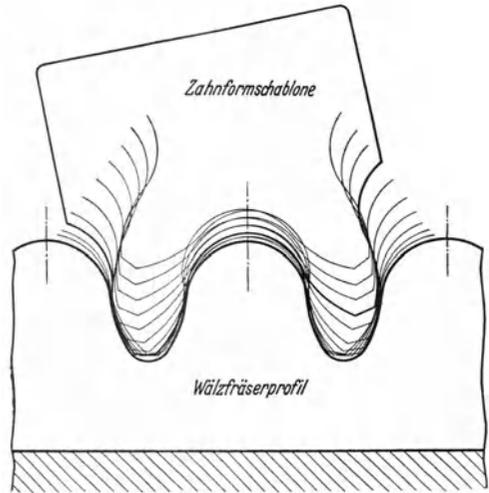


Abb. 54.

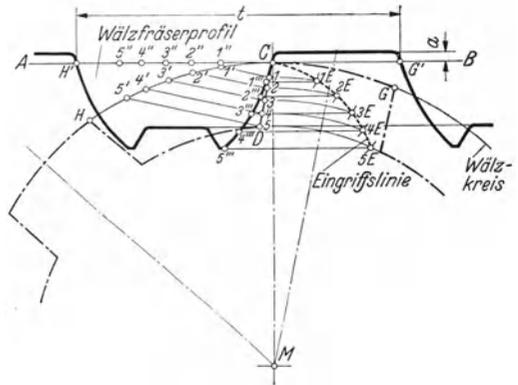


Abb. 55.

¹ Vgl. DIN E 5431 und Masch.-Bau 1934, S. 252.

Schnittpunkte erhalten die Bezeichnung $1', 2', 3', 4', 5'$. Danach konstruiert man die Eingriffs-
linie des Fräserprofils mit der Keilwelle. Dabei schlägt man mit den Strecken $1-1', 2-2',$
 $3-3'$ usw. um den Punkt C Kreisbogen. Desgleichen mit den Strecken $1-M, 2-M, 3-M$
usw. um die Profilmittre M . Die Schnittpunkte der korrespondierenden Radien bilden die
Eingriffslinie. Danach trägt man den Wälzkreis auf der Waagerechten $A-B$ ab. Die Schnitt-

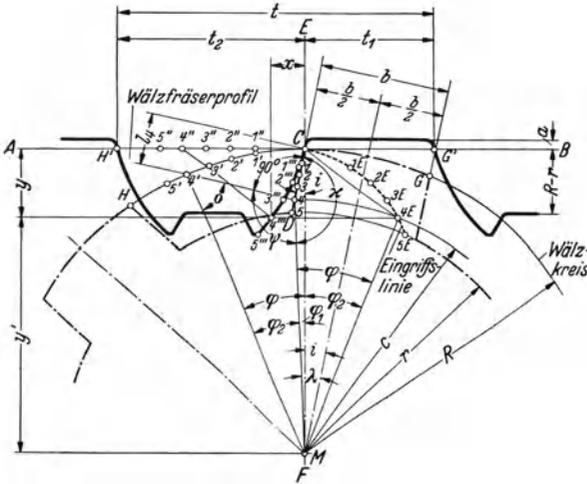


Abb. 56.

punkte erhalten die Bezeichnung $1'', 2'', 3'', 4'', 5''$. Um diese
Punkte werden dann wieder mit den Strecken $1-1'', 2-2'', 3-3''$
usw. Kreisbogen geschlagen, die man mit den durch die Eingriffs-
punkte $1 E, 2 E, 3 E$ usw. parallel zur Waagerechten $A-B$ zu ziehenden
Geraden zum Schnitt bringt. Diese Schnittpunkte $1''', 2''', 3'''$
usw. liegen auf der gesuchten
Profilflanke des Fräasers.

Das Spiel a zwischen Keilwelle und Profilverbund des Wälzfräasers kann in den bei Stirnradwälzfräsern üblichen Maßen gehalten werden.

Wie aus Abb. 56 zu ersehen ist, ragt die Profilflanke des Wälzfräasers in den Kern der Keilwelle hinein, der dadurch an dieser Stelle etwas freigearbeitet wird. Mit Rücksicht auf die Leistungsfähigkeit des Fräasers ist zu empfehlen, die kleinen Profil-

spitzen, die über dem Fräserprofil vorstehen, möglichst breit zu halten.

Das mit diesem Fräser erzeugte Profil entspricht dem in Abb. 57 links dargestellten.

Werden die über das Fräserprofil vorstehenden kleinen Spitzen nicht mit ausgeführt, so können die Flanken der Keilwellen nicht ausgewälzt werden, und es entsteht das in Abb. 57 rechts dargestellte Profil.

Rechnerische Ermittlung. Nach diesem Verfahren können die nach Abb. 55 zeichnerisch gefundenen Profilpunkte nach Abb. 56 folgendermaßen bestimmt werden:

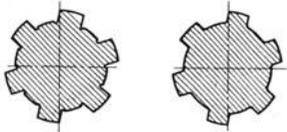


Abb. 57.

Man bildet ein Koordinatensystem mit den Achsen $A-B$ und $E-F$. C ist Koordinatenmittelpunkt. Die Abszissen x und die Ordinaten y errechnen sich dann wie folgt, z. B. für Punkt $4'''$: Den Winkel i erhält man aus der Beziehung

$$\sin i = \frac{b}{2R},$$

worin b die Keilstollenbreite und R der Keilwellenradius ist. Der Winkel λ errechnet sich aus:

$$\sin \lambda = \frac{b}{2c} \text{ mit } c = \sqrt{l_4^2 + R^2 - 2l_4 R \cos i}.$$

Für l ist der Abstand von C bis zum Punkt 4 auf der Keilstollenflanke und kann beliebig gewählt werden. Die ganze Länge der Keilstollenflanke ist

$$l_{\sigma D} = \frac{r \cdot \sin \varphi_1}{\sin i}.$$

Nach Abb. 56 ist: $\varphi_1 = \lambda - i$ und $\alpha = 180^\circ - (i + \varphi_1)$, ferner ist $\psi + \alpha = 270^\circ$.

Wird in dieser Gleichung für α der Wert $180^\circ - (i + \varphi_1)$ eingesetzt, so erhält man

$$\psi = 90^\circ + i + \varphi_1.$$

$$\varphi_2 = 180^\circ - (\psi + o); o \text{ erhält man aus}$$

$$\sin o = \frac{i \cdot \sin \psi}{R}.$$

Wie aus der Abb. 56 zu ersehen ist, sind die beiden Dreiecke $M \hat{4} 4'$ und $M \hat{4}_E C$ kongruent, demnach ist $y' = c \cdot \cos \varphi_2$ und $y = R - y'$; ferner ist nach der Abb. 56 $C \hat{4}_E = 4'' 4'''$ und $\overline{D \hat{4}_E}$ parallel zur Waagerechten $A-B$, mithin ist auch $\overline{C \hat{4}''} = \overline{4_E 4'''}$. Da nun

$\widehat{C A'} = \widehat{C A''} = R \text{ arc } \varphi$ ist, wird nach Abb 56 $x = R \cdot \text{arc } \varphi - c \cdot \sin \varphi_2$, worin $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ ist. Wie für den Punkt A''' müssen auch die weiteren Punkte des Fräserprofils errechnet werden.

Die Profilteilung am Außendurchmesser ist

$$t = \frac{2 R \cdot \pi}{\text{Anzahl der Keilstollen}},$$

ferner $t_1 = R \cdot \text{arc } 2 i$ und $t_2 = t - t_1$.

Im allgemeinen ist das zeichnerische Verfahren dem rechnerischen vorzuziehen, weil das Rechnen doch das Aufreißen der Form — nämlich für die Herstellung der Lehren — nicht überflüssig macht. Dagegen können gerechnete Profilmomente sehr gut zum Prüfen der fertigen Lehren benutzt werden.

Wälzfräser für Sperräder, Kreissägen usw. verwendet man Einstellfräser. Diese dürfen nicht beliebig in Richtung der Fräserachse zum Arbeitsstück eingestellt werden, sondern müssen in ihrer Arbeitsstellung genau der Stellung entsprechen, die das Fräserprofil bei der Konstruktion zum Werkstück hatte. Zur Erleichterung dieser Arbeit dienen Einstellrillen, optische Geräte und Einstellzähne¹.

C. Zusammengesetzte Fräser.

Zusammengesetzte Einzelfräser. Mit steigenden Abmessungen werden die Fräser wegen der oft unverhältnismäßig großen Abfallmengen bei der Herstellung und wegen der hohen Kosten des Werkstoffes, wenn zugänglich, zusammengesetzt. Wo die wirtschaftliche Grenze für das Zusammensetzen liegt, läßt sich zahlen-

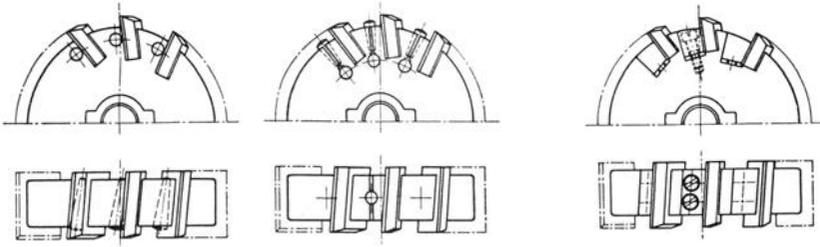


Abb. 58.

Abb. 59.

mäßig nicht allgemein sagen; sie hängt von der Konstruktion des Fräasers und von dem Verhältnis der Lohnkosten zu den Werkstoffkosten ab.

Der Fräserkörper wird aus Maschinenstahl oder Stahlguß oder — bei sehr großen Messerköpfen — aus Leichtmetall hergestellt und die Messer aus Schnellstahl oder auch aus Sonderstahl mit Hartmetallschneiden (Stellit, Widia, Titanit, Böhlerit usw.) in den Körper eingesetzt. Häufig schweißt man bei Schaftfräsern den Schneidenteil aus Schnellstahl an den Schaft aus geeignetem Sonderstahl an.

Die Messer werden verschieden befestigt: meist werden sie mechanisch durch Stifte (Abb. 58), Buchsen oder Druckstücke (Abb. 59) festgeklemmt, so daß sie auswechselbar und nachstellbar sind; teils werden sie mit den Maschinenstahlkörpern unlösbar verbunden durch Schweißen oder Löten, wobei dann die Abmessungen der Messer bedeutend geringer gehalten werden können als bei den festgeklemmten Messern zulässig ist. Messerköpfe mit eingesetzten Stählen zeichnen sich dadurch aus, daß die Messer eine erhebliche Einstellungsmöglichkeit haben, daß alle Schneidflächen sich sehr gut schleifen lassen, und daß die Befestigung kräftig und einfach ist. Selbst Modulfräser hat man schon mit eingesetzten Schneidteilen ausgeführt.

¹ Pfauter: S. 257 Abb. 233.

Je mehr die Spanleistungen der Messerköpfe gesteigert wurden, um so mehr mußte auf eine unnachgiebige Messerbefestigung Wert gelegt werden. Von ihr hängt für Sauberkeit und geräuschloses Arbeiten viel mehr ab als im allgemeinen angenommen wird. Auf jeden Fall rechtfertigt eine wirklich starre Klemmung einen höheren Preis, wenn dieser durch die Wahl der Mittel bedingt ist (siehe Abb. 59).

Hartmetallmesserköpfe versagen in jedem Fall, wenn die Messer nur wenige Hundertstel ausbiegen und zurückfedern können. Um dieses Federn nach Möglichkeit unschädlich zu machen, läßt man die Hartmetallmesser einen ziehenden Schnitt ausführen, d. h. der Messerhalter zieht die Messerschneide in den Werkstoff hinein.

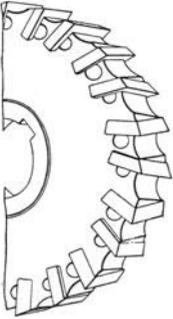


Abb. 60.

Daß für die Schneidenwinkel an zusammengesetzten Fräsern die gleichen Überlegungen wie oben gelten, braucht nicht besonders betont zu werden. Die Forderung nach positivem Spanwinkel an allen Schneiden führt zur Kreuzverzahnung Abb. 60.

Fräsersätze. Ein Satzfräser oder ein Fräsersatz besteht aus mehreren Einzelfräsern, die auf einem gemeinsamen Dorn fest aufgespannt sind.

Bei Konstruktion von Satzfräsern ergeben sich für die Abmessungen der einzelnen Fräser oft große Unterschiede, nicht nur in der Breite, sondern auch im Durchmesser. Fräsersätze mit zu großen Durchmesserunterschieden verwende man aber möglichst nicht, da sie nicht befriedigend arbeiten können. Man kann nämlich entweder nur den größeren Fräser mit der richtigen Schnittgeschwindigkeit arbeiten lassen, dann läuft aber der kleinere Fräser zu langsam, so daß man, um seine Zähne nicht zu überlasten, einen entsprechend kleinen Vorschub wählen müßte; oder man läßt den kleinen Fräser mit der richtigen Umlaufzahl arbeiten, die dann aber für den größeren Fräser unzulässig groß werden würde.

Am zweckmäßigsten zerlegt man die Fräsarbeit, die die Anwendung eines Fräsersatzes mit sehr verschieden großen Fräsern verlangt, in mehrere Einzel-

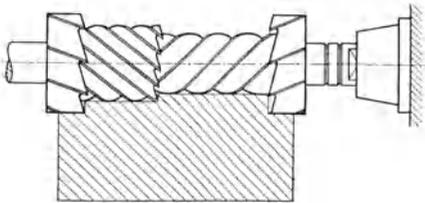


Abb. 61.

arbeiten, bei denen man dann die zweckentsprechendsten Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten anwenden kann. Ist es nicht möglich, für mehrere Frässchnitte das Arbeitsstück jedesmal aufzuspannen, dann kann man die Fräsdorne mit aufgespannten Fräsern auswechseln.

Die Anordnung von spitzzahnigen und hinterdrehten Fräsern in einem Satz führt manchmal zu Schwierigkeiten beim Nachschleifen, da sich ihre Durchmesser ungleich vermindern. Es bleibt dann nichts weiter übrig, als die Durchmesser der einzelnen Fräser nach der Meßuhr auf Hundertstel genau zu schleifen, um die gewünschte Durchmesserstufung mit der zulässigen Toleranz zu erreichen. Da sich nun die Zähnezahlen mit dem Durchmesser ändern, wird es nicht immer möglich sein, alle Zähne der verschiedenen Satzfräser mit der gleichen Hinterdrehkurve zu hinterdrehen, was man anstrebt, um beim Scharfschleifen gleichmäßiger Werkstoff abzunehmen.

Man führt auch bei geringen Durchmesserunterschieden benachbarte Fräser nicht mit gleichen Zähnezahlen aus, um Resonanz der Arbeitsschwingungen zu vermeiden, die das gefürchtete „Rattern“ der Maschine herbeiführen.

Die nebeneinander im Satz liegenden Fräser müssen meist seitliche Eingriffszähne haben oder bei großen Durchmesserunterschieden so konstruiert werden,

daß bei den größeren Fräsern die Naben gegen die Seitenflächen zurückstehen, so daß der anliegende, im Durchmesser kleinere Fräser mit seinen Seitenflächen in die Seitenflächen des größeren Fräsers hinausgeht (Abb. 61).

Durch solche Konstruktion wird verhindert, daß sich auf den gefrästen Flächen Spuren der Stoßfugen bemerkbar machen und daß sich an den Kanten des Arbeitsstückes Grat bildet.

Besonderes Gewicht ist bei der Konstruktion von Satzfräsern auf eine gute Späneabfuhr zu legen. Die Späne dürfen sich nicht nach der Satzmitte zu stauen, sondern sollen möglichst nach den Seiten zu abfließen. Dies ist bei Fräsern mit großem Zahndrall leichter zu erreichen als mit solchen geringer Zahnneigung. Der grobgezahnte, hochdrallige Fräser mit seinen großen Spanräumen erleichtert ohnehin die Spanabfuhr — es bilden sich an Stelle der feinen Mahlspäne größere Schälspäne, die abfließen und sich nicht so leicht in die Ecken des Satzfräsers klemmen. Verkleben sich aber Späne in den Fräserfugen oder Überlappungen, so sind saubere Oberflächen nicht zu erzielen. Dies muß schon der Konstrukteur des Satzfräsers beachten.

IV. Aufspannelemente für Fräser und Fräsermitnahmen.

Fräser mit Bohrung. Die Fräser werden mit der Maschine in der verschiedensten Weise verbunden. Die am meisten angewendete Art ist die Befestigung auf dem durchgehenden Fräsdorn durch Ringe und einen Federkeil, der das Drehmoment aufnimmt. Diese Aufspannung ist jedoch nur für solche Fräser verwendbar, die nur an ihren Mantelflächen oder doch nur noch mit einem kleinen Teil ihrer Stirnseite arbeiten, während ausgesprochene Stirnfräser meist auf sogenannten fliegenden Dornen befestigt werden.

Da die Übertragung des Drehmomentes durch eine notwendigerweise schwache Feder bei großen Kräften wenig zweckmäßig ist, hat man nach Auswegen gesucht. Eine Lösung des Problems stellt die Fräserbefestigung durch Mitnehmer an den Stirnflächen (DRP. 510 696) dar (Abb. 62). Sie gestattet, durch die doppelseitige Mitnahme an den Nabenflächen und den Wegfall der Nut parallel zur Achse, die durch Kerbwirkung nur zu häufig die Ursache von Fräserbrüchen ist, die Fräserbohrung ohne Schwächung des Fräsers auf denjenigen Durchmesser zu vergrößern, der sich bei Annahme einer Nute parallel zur Achse durch die Nuttiefe ergäbe. Es wird also bei gleichem Außendurchmesser des Fräsers die Verwendung stärkerer Fräsdorne ermöglicht. Und darauf kommt es an. Denn der Fräsdorn ist leider vielfach das schwächste Glied der ganzen Fräsmaschine.

Aus ähnlichen Gründen befestigt man Stirnfräser auf Dornen nach Abb. 63. Bei Drehmomenten, wie sie neuzeitlichen Hochleistungsfräsern zugemutet werden können, versagt fast immer die Aufspannung mit Feder parallel zur Achse. Oft sprengt die verbogene Feder den Fräser. Zumindest wird die Federnut des Dornes bei einem schweren Schnitt aufgeweitet, so daß der Dorn unbrauchbar wird. Bei dieser Fräserbefestigung wird das Drehmoment von dem größeren Durchmesser des Lappens des härtbaren Ringes übertragen. Bei Überbeanspruchungen bricht höchstens der Ring. Der Fräsdorn selbst bleibt unbeschädigt. Der Einfluß der

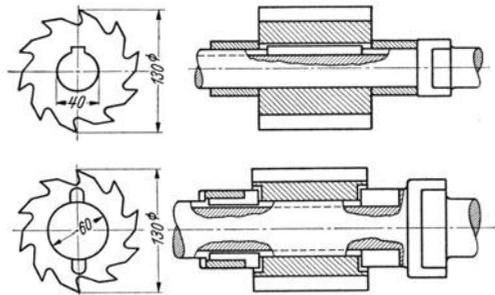


Abb. 62.

Fräserbefestigung auf die Maschinenbeanspruchung — dargestellt durch die Leistungsaufnahme — ist bedeutend (siehe Abb. 64). Der Versuch zeigt, um wieviel schwingungsfester diese Befestigung gegenüber der mit Feder parallel zur Achse ist, denn das Mehr an aufzuwendender Antriebsleistung beim Fräsen mit Längsnut ist offensichtlich auf die Verdreh-schwingungen des unstarren Werkzeuges zurückzuführen.

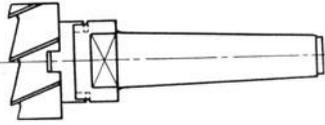


Abb. 63.

Große Stirnfräser oder Messerköpfe befestigt man zweckmäßig unmittelbar auf dem Kopf der Frässpindel, wobei eine Befestigung nach Abb. 65 einer solchen nach Abb. 66 vorzuziehen ist, da der nur durch Kegel befestigte und durch Mitnehmer gegen Drehen gesicherte Messerkopf leichter von der Maschine entfernt werden kann als der aufgeschraubte.

Die Befestigung nach Abb. 62 entspricht den DIN (DI-Vornorm 2201)

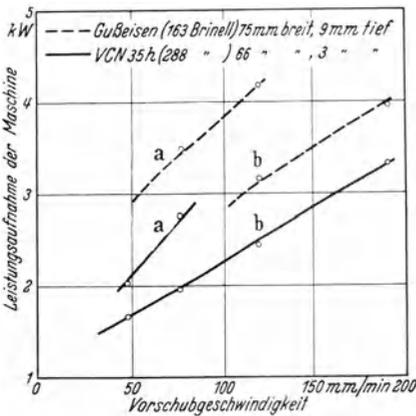


Abb. 64. Einfluß der Fräsermitnahme auf die Schnittkraft.

a = Fräser mit Längsnut
b = Fräser mit Quernut.

nach deren Abmessungen man sich vernünftigerweise richten wird. Die Amerikaner haben einen anderen Spindelkopf genormt (Abb. 67), dessen Vorzüge darin bestehen, daß mit dem gleichen Spindelkopf ein größerer Drehmomentbereich übertragen wird als bei dem Spindelkopf nach DIN. Um ein Krummspannen von Fräsdornen mit verhältnismäßig kleinem Durchmesser zu verhindern, führt man diese Dorne manchmal als Keilwelle aus oder fräst zumindest zwei Keilnuten ein. Diese Konstruktion ist vor allem beim Aufspannen von Wälzfräsern von Bedeutung, deren schlagfreie Aufspannung für die Erzeugung genauer Zahnprofile Voraussetzung ist.

Die Befestigung der Fräser durch Gewinde auf dem Dorn oder die Befestigung der Dorne mit Gewindezapfen in der Arbeitsspindel wird heute meist abgelehnt, da bei den größeren Spanleistungen in der Fräselei auch größere Schnittkräfte auftreten, durch deren Wirkung diese Verschraubungen sich so festklemmen, daß die Fräser nur mit Mühe wieder gelöst werden können. Es kommt noch hinzu, daß diese Befestigungsart ein genaues Rundlaufen des Fräasers verhindert. Man müßte, um dies zu erreichen, den aufgespannten Fräser scharf schleifen. Wählt man aber die Verschraubung trotz ihrer grundsätzlichen Mängel, dann muß man Sorge tragen, daß sich der Fräser nicht unter der Wirkung der Schnittkräfte losdreht — man muß also rechtsschneidende Fräser mit Rechtsgewinde, links-

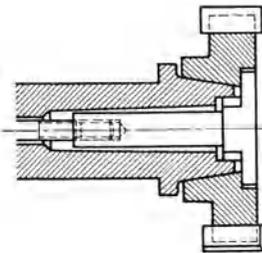


Abb. 65.

schneidende mit Linksgewinde befestigen.

Schafffräser. Für sie ist die Befestigungsart: Kegelschaft mit Mitnehmerlappen die einfachste. Diese Konstruktion gestattet eine linke wie auch rechte Schnitttrichtung des Fräasers. Erforderlich ist allerdings, daß der Kegel gut paßt, da er die einzige Sicherung gegen Loslösen bildet. Ein Fräser mit schlechtsitzendem Kegel lockert sich beim Arbeiten sehr leicht, und Werk-

stück oder Fräser werden beschädigt. Außerdem wird der Kegel der Arbeitsspindel durch das gewaltsame Eintreiben eines nicht genau passenden kegeligen Schaftes beschädigt oder verändert, und ein zentrisches Laufen der eingesetzten Fräser ist nicht mehr möglich, ein Übelstand, der sich beim Spannen ganz besonders unangenehm bemerkbar macht.

Diese Befestigung ist aber bei Stirnfräsern mit geneigten Zähnen nicht brauchbar, da infolge der Zahnneigung die Schnittkräfte den Fräser aus der Arbeitsspindel herausdrücken (vgl. Abb. 16).

Richtiger ist dann, den Schaftfräser mit einer Anzugsstange in der Arbeitsspindel der Fräsmaschine zu befestigen (vgl. Abb. 67), wobei die Fräser mit Schäften Morse 3 und darüber bei schweren Schnitten besondere Mitnehmerflächen erhalten, die in die Kalotte des DIN-Spindelkopfes passen und das

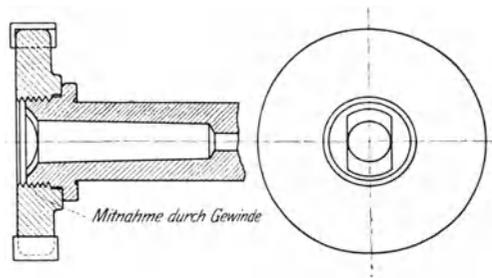


Abb. 66.

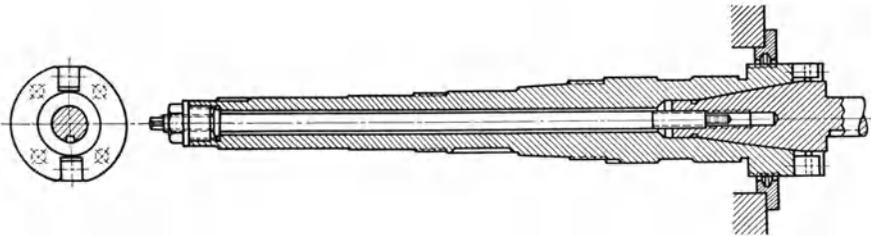


Abb. 67.

Drehmoment übertragen. Der Kegel dient also hierbei der Zentrierung, nicht der Kraftübertragung.

Um kleine Fräser in großen Spindelbohrungen zu befestigen, bedient man sich

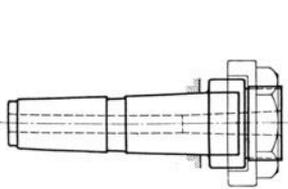


Abb. 68.

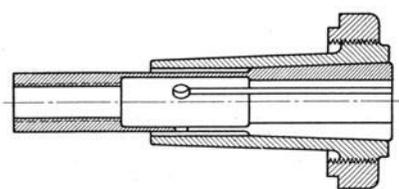
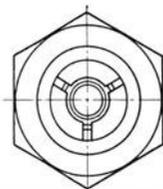


Abb. 69.

der Übergangshülsen (Abb. 68). Man müßte dann auch die Anzugsstange auswechseln, deren Gewindedurchmesser sich nach dem Durchmesser des kegeligen Fräferschaftes richten muß. Das ist bei stark wechselnder Fräsarbeit lästig. Man versieht daher kleine Fräser (1 ... 16 mm Durchmesser) mit zylindrischem Schaft und spannt sie in Spannzangen (Abb. 69). Diese Befestigung genügt in den meisten Fällen auch bei Fräsern mit hohem Drall. Oder man rüstet diese Fräser mit kegeligem Schaft und „Ausgleichgewinde“ aus (Abb. 70).

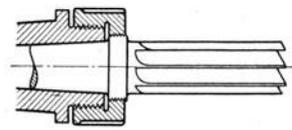


Abb. 70.

Diese Vereinigung eines Gewindes mit großer und eines mit kleiner Steigung gestattet ein sicheres Befestigen und ein ebenso leichtes Lösen.

V. Herstellung der Fräser.

Die wirtschaftliche Herstellung eines so verwickelten Werkzeuges wie des Fräasers ist nur möglich, wenn größere Stückzahlen mit gleichartigen Abmessungen unter Zuhilfenahme von Sondereinrichtungen bearbeitet werden. Deshalb liegt es auch im Interesse des Verbrauchers, wenn er sich beim Kauf möglichst an die normalen Abmessungen der Werkzeugfabriken hält, die überwiegend den DIN entsprechen. Auch dort, wo Sonderfräser nicht zu vermeiden sind, wird man ebenfalls gut tun, sich die Erfahrungen von Sonderfabriken zunutze zu machen, ehe man selbst zur Anfertigung schreitet. Zur Erleichterung der Übersicht soll im folgenden die Einzelanfertigung der Fräser zugrunde gelegt werden.

A. Werkstoff und Härtung.

Werkstoffauswahl. Der Hauptgesichtspunkt für die Auswahl ist die Wirtschaftlichkeit.

Fräser, die für immer wiederkehrende Arbeiten benutzt werden, und die in ihrer Form nicht allzu schwierig sind — vor allem Schruppfräser — wird man aus Schnellstahl fertigen, da die Überlegenheit des Schnellstahles hinsichtlich seiner Standzeit gegenüber dem Kohlenstoffstahl besonders bei solchen Werkzeugen ins Gewicht fällt, die in Herstellung und Instandhaltung teuer sind.

Auch für Fräser zur Bearbeitung stark verschleißender Werkstoffe wie Gußeisen und mancher Leichtmetalle ist Schnellstahl am Platze.

Es ist also zur Entscheidung, welcher Werkstoff zu wählen sei, ist nicht nur die Frage nach der auftretenden Schneidenerwärmung maßgebend, sondern auch die Verschleißwirkung des bearbeiteten Werkstoffes, die oft lange vor der Erreichung kritischer Temperaturen die Werkzeugsschneide abstumpft.

Bei der Verwendung von Schnellstahlfräsern mit großem Durchmesser treten Schwierigkeiten auf, wenn man derartige Fräser von der Stange absticht. Härte-träger sind beim Schnellstahl die Verbindungen gewisser Legierungsbestandteile wie Wolfram, Chrom, Molybdän, Vanadium mit Kohlenstoff, Karbide genannt. Bei der Herstellung von Stangen mit dickem Querschnitt läßt sich eine sogenannte Karbidseigerung oft nicht vermeiden, die eine Anordnung der Karbide in „Zeilen“ zur Folge hat. Diese „Zeilen“ unterbrechen die Gefügestruktur und führen leicht zu Brüchen. Durch Glühen kann man bei Schnellstahl diese Erscheinung nicht beseitigen, sondern nur durch mechanisches Verformen, d. h. durch Schmieden. Dies ist aber hier eine besondere Kunst, da durch übermäßiges Schmieden das Gefüge leicht zertrümmert werden kann. Es bleibe deshalb Sonderfirmen überlassen. Es ist aber sehr zu empfehlen, große Schnellstahlfräser aus vorgeschmiedeten Rohlingen zu fertigen.

Um die Güte eines Schnellstahles festzulegen, hat man den Begriff der „Legierungseinheiten“ geprägt. Er versucht, zwischen den einzelnen Legierungsbestandteilen bestimmte Verhältnisse festzusetzen, um die verschiedenen Stahlmarken untereinander vergleichen zu können. Dieser Versuch ist mißlungen, da eine Rechnung nach Legierungseinheiten zu ganz unsinnigen Ergebnissen führt¹.

Für die Schneidleistung eines Schnellstahles ist in erster Linie die peinliche Einhaltung der richtigen Härtetemperatur, die Vorbehandlung im Stahlwerk, gute Karbidverteilung durch Warmverformung maßgebend, sehr viel weniger die Analyse. Deshalb enthält auch die Begriffsbestimmung des DPV über Schnellstahl den Begriff der Legierungseinheiten nicht. Ebenso wird in den neuesten Veröffentlichungen der maßgebenden Firmen dieser Begriff mit starken Ein-

¹ Vgl. Masch.-Bau Nr. 11 (1932) S. 45.

schränkungen gebraucht oder abgelehnt. Man kommt deshalb nicht darum herum, die Schnittleistung von Schnellstählen durch ständige Schnittversuche zu prüfen.

Für ausgesprochene Schlichtfräser — sofern es sich um die Bearbeitung weicher, nicht verschleißender Werkstoffe handelt — genügt oft Kohlenstoffstahl (bzw. schwach legierter Werkzeugstahl). Kleine Fräser mit scharfen Spitzen — überhaupt schwer härtbare Fräser — oder aber wenig beanspruchte Fräser solcher Abmessungen, bei denen der Werkstoffanteil den Lohnanteil übersteigt, wird man ebenfalls aus Werkzeugstahl herstellen.

Um Werkstoff zu ersparen, stellt man oft nur den Schneidenteil des Fräsers aus Schnellstahl her — man setzt also Messer ein oder schweißt z. B. bei Schaftfräsern einen Schnittkörper aus Schnellstahl an einen Schaft aus einem billigeren Sonderstahl. Die Haltbarkeit der Schweißstelle ist heute gewährleistet.

Man kann den Schaft auch in den Schnittkörper einschrauben: eine gute und billige Verbindung. Damit das Gewinde sich beim Arbeiten nicht löst, muß es rechtsgängig bei Linksdrehung, linksgängig bei Rechtsdrehung des Fräsers sein. Die Fräser können aber nur dann befriedigend arbeiten, wenn die Verbindung als unlösbar behandelt wird und demnach die Zähne immer nur auf dem Schaft geschliffen werden. Bei T-Nuten hat diese Ausführung noch den Vorteil, daß die Stirnzähne nach dem Schaft zu bequem gefräst werden können.

In den letzten Jahren haben Fräser mit Hartmetallschneiden¹ immer mehr an Verbreitung gewonnen — so vor allem im Automobilbau bei der Bearbeitung gußeiserner Zylinderblöcke oder zur Bearbeitung sehr schwer bearbeitbarer oder stark verschleißender Werkstoffe wie Manganstahl, Isolierstoffe, gewisse Leichtmetalle, Glas. Die gesinterten Hartmetalle wie Widia, Böhlerit und Titanit bedeuteten dabei einen Fortschritt gegenüber den gegossenen wie Stellite und Akrit, die bereits früher auf dem Markt waren und die auch heute als Auftropfmethalle für größere Messerköpfe noch manchmal verwandt werden².

Die Vorzüge des Hartmetalles bestehen in der Möglichkeit, die Standzeit des Werkzeuges zu erhöhen und infolge der höheren Härte und Verschleißfestigkeit schwer bearbeitbare Werkstoffe zu bearbeiten. Die Schwierigkeiten bei der Verwendung von Fräsern mit Hartmetallschneiden liegen vor allem in der Stoßempfindlichkeit der Hartmetalle — wenn auch Widia X und Titanit hier beachtliche Fortschritte gegenüber den bisherigen Hartmetallen gebracht haben — und im Nachschleifen der Schneiden. Hier helfen eine geeignete Konstruktion und geeignete Scheiben. Die Hartmetallplättchen sollen bei ausreichendem Querschnitt für gute Wärmeableitung nie größer sein, als es die größte Spantiefe erfordert. Die Schneide selbst muß geläpft werden, da das gefürchtete Ausbröckeln der Schneide meist von kleinsten, mit bloßem Auge kaum sichtbaren Verletzungen der Schneidkante ausgeht. Einzelheiten der Herstellung und Behandlung von Hartmetallwerkzeugen lese man im angegebenen Schrifttum nach. Daß Hartmetallwerkzeuge nur auf starren, schwingungsfesten Maschinen mit hohen Drehzahlen arbeiten, sollte selbstverständlich sein.

Härtung. In Heft 7 und 8 ist das Härten von Werkzeugen beschrieben.

Bei reinen Kohlenstoffstählen sinkt die Härtetemperatur mit wachsendem C-Gehalt. Bei Schnellstahl hängt sie in erster Linie von den Legierungsbestandteilen ab.

Ein gutes Härteergebnis ist aber nicht nur von der Gleichmäßigkeit der Erwärmung, von der Härte- und Anlaßtemperatur und von der Wahl des Abschreck-

¹ Näheres s. Heft 62 der Werkstattbücher: Hartmetall in der Werkstatt.

² Vgl. AWF-Schrift Nr. 258 „Hartmetalle. Berlin: Beuth-Verlag 1935.

mittels abhängig, sondern ebenso von der Formgebung des Werkstückes. Querschnitt und die Art der Übergänge im Querschnitt beeinflussen die unvermeidlichen Wärmespannungen.

Bei der Herstellung der Fräser sind ganz besonders alle scharfen Ecken zu vermeiden. Die Übergänge der an Fräsern vorkommenden Flächen sind gut abzurunden; so ist z. B. der Zahngrund durch Radien zu verbinden, die Aussparung in den Seitenflächen oder in den Fräserbohrungen sind mit Werkzeugen mit abgerundeten Schneiden herzustellen, ebenso sind die Naben an Fräsern abzurunden. Jede scharfe Ecke kann Veranlassung zum Springen beim Härten geben. Wenn bei Formfräsern scharfe Ecken durch die Konstruktion bedingt sind, sollte man daher, wenn irgend möglich, durch Trennen des Fräasers in mehrere Stücke solche Ecken zu umgehen suchen.

Für Formfräser und ganz allgemein für große Fräser, besonders mit stark wechselnden Durchmessern, wie Schneckenrad- und schneckenförmige Stirnradfräser, empfiehlt es sich, nachdem man sie nahezu auf Maß gearbeitet hat, sie vor dem Fertigstellen noch einmal auszuglühen, um Spannungen und Ungleichheiten im Stahl aufzuheben.

B. Die spangebende Bearbeitung.

Die Bearbeitung der Fräser umfaßt in richtiger Folge:

- | | |
|--|--|
| 1. Werkstoff abstechen. | 7. Hinterdehen. |
| 2. Mitten (bei Schafffräsern). | 8. Bezeichnen (durch Ätzung oft erst nach dem Härten und Schleifen). |
| 3. Bohren und Reiben (bei Aufsteckfräsern auf Schleifmaß). | 9. Härten. |
| 4. Drehen. | 10. Loch und seitliche Flächen (Schaft) schleifen. |
| 5. Nuten. | 11. Scharfschleifen. |
| 6. Fräsen. | |

Abstechen und Mitten (Zentrieren).

Abstechen. Mit der Entwicklung moderner Sägen bis zum Sägeautomat geht man an vielen Stellen dazu über, die Rohlinge abzusägen statt sie abzustechen, zumal Sägen billiger in der Anschaffung sind als geeignete Abstechbänke. Man vermeidet dadurch die Schwierigkeiten, die beim Abstechen bestehen: das seitliche Abdrängen schmaler Abstechstähe, das hohle bzw. gewölbte Trennflächen hervorruft, die Veränderung des Drehdurchmessers beim Abstechen, die entweder verwickelte Einrichtungen zur stufenlosen Drehzahländerung an der Maschine verlangt oder aber bei gleichbleibender Drehzahl der Maschine ungünstige Schnittverhältnisse mit sich bringt. Will man das Abdrängen des Abstechstahls vermeiden, so bringt die Verwendung breiter Stähle einen verhältnismäßig großen Werkstoffverlust mit sich.

Andererseits hat das Abstechen den Vorteil, daß es vielfach — nicht immer — weniger Zeit braucht als das Sägen, und daß es beim Trennen besonders schwer bearbeitbarer Werkstoffe möglich ist, Hartmetallstähle zu verwenden bzw. an Werkzeugen zu sparen.

Unbedingt verwerflich ist bei Durchmessern über 6 mm das gewaltsame Abtrennen des Stahlstückes von der Stange durch Einkerbungen an einer Seite und Abschlagen durch einen Hammerschlag. Dieses Abschlagen in kaltem Zustand hat leicht eine Beschädigung des Werkstoffes zur Folge; es entstehen starke Spannungen und Risse, die anfänglich kaum bemerkbar, sich bei der weiteren Bearbeitung, besonders beim Härten, erweitern und das Stück unbrauchbar machen. Bei diesem Verfahren ergibt sich auch ein größerer Stoffverlust durch die Zerquetschung des Werkstoffes an den Enden.

Die Zugaben in Länge und Durchmesser richten sich nach dem Trennverfahren

und der Güte des Werkstoffes. An der Oberfläche verzünderte oder entkohlte Stähle bedingen größere Zugaben im Durchmesser. Fräser mit größeren Durchmessern als etwa 150 mm stellt man aus geschmiedeten Rohlingen her (siehe S. 36).

Ausmitten (Zentrieren). Schaftfräser werden auf Sonderbänken mit zwei Werkzeugfuttern für Bohrer und Senker gemittet, da die Durchführung dieses Arbeitsganges auf der Drehbank umständlich ist. Man kann auch besondere Ausmitt-Zentrierbohrer verwenden, mit denen gleichzeitig gebohrt und gesenkt wird.

Bohren.

Die Bohrungen der Fräser sind in DIN 138 festgelegt. Das Bohren auf Schleifmaß wird auf Revolverbänken oder bei einzelnen größeren Stücken auf der Drehbank mit Spiralbohrern, Dreischneidern und Bohrstaal ausgeführt. Man reibt die Bohrung auf Schleifmaß mit 0,02... 0,03 mm Toleranz meist nur bei hinterdrehten Fräsern. Bei sonstigen Fräsern sind Toleranzen bei der Bohrung bis 0,07, über 30 mm Bohrungsdurchmesser bis 0,1 mm vertretbar. Die Schleifmaßzugaben richten sich nach dem Werkstoff und der Fräserform sowie der Warmbehandlung. Schnellstähle haben meist einen größeren Härteverzug als Kohlenstoffstähle; ebenso lange Fräser mit wenigen, stark gewundenen Zähnen mehr als Fräser mit vielen Zähnen mit schwacher Neigung und geringen Spanlücken.

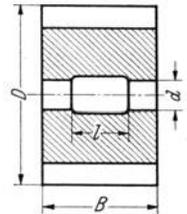


Abb. 71.

Manchmal empfiehlt sich das Vorbohren großer, langer Bohrungen auf Senkrechtbohrwerken (Chucking-Maschinen). Man bohrt mit dem Spiralbohrer vor und mit Dreischneidern oder Aufstecksenkern und der Bohrstange auf, um laufende Bohrungen zu erzielen und größere Vorschübe anwenden zu können.

Fräserbohrungen über 15 mm Breite werden ausgespart (Abb. 71), um das Schleifen der Bohrungen zu erleichtern und um bei breiten und massigen Fräsern der Ausdehnung des Werkstoffes infolge der Erwärmung beim Fräsen Rechnung zu tragen.

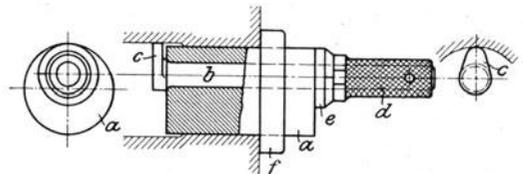


Abb. 72.

Allgemein genügt für die Länge l der Aussparung die halbe Bohrungslänge B .

Man achte wegen der Gefahr des Zerspringens beim Härten streng darauf, daß die Aussparung abgerundet ausläuft. Der Durchmesser der Aussparung kann bei Bohrungen bis 27 mm Durchmesser $= d + 0,6$ mm und bei darüberliegenden Bohrungen $= d + 1$ mm betragen. Die Lehre (Abb. 72) dient zur Kontrolle des Durchmessers der Aussparung in der Bohrung.

Drehen.

Weiterbearbeitet werden die gemitteten Schaftfräser oder die gebohrten Aufsteckfräser auf Drehbänken. Bei Massenanfertigung benutzt man naturgemäß Revolverbänke oder Halbautomaten und arbeitet bei kleineren Durchmessern von der Stange. Bei Einzelanfertigung hilft die Verwendung von Drehbänken mit Vielstahlhalter.

Drehdorne. Die Richtlinien für brauchbare Drehdorne sind bekannt. Eine Schutzsenkung soll nicht fehlen (Abb. 73). Neben festen Drehdornen verwendet man die schnell und bequem zu handhabenden Spreizdorne — entweder fliegend oder zwischen den Spitzen (Abb. 74). Ihre Verwendung ist durch die Fräserlänge und die Genauigkeit ihres Rundlaufes beschränkt.

Der eingefettete Drehdorn wird zweckmäßig immer unter einer Dornpresse ein- und ausgetrieben, da das Treiben von Hand stets Gefahren mit sich bringt:

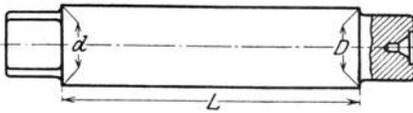


Abb. 73.

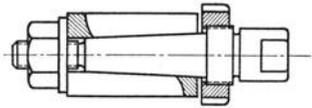


Abb. 74.

schiefes Einsetzen des Dornes (dadurch Fräuserschlag), Beschädigung der Bohrung und des bearbeiteten Fräasers.

Kopierdrehen. Fräser mit spitzen Zähnen, deren Kanten ungerade Linien sind (Abb. 75), können von Hand ausgekurbelt und mit der Feile geglättet werden. So eine lehrenhaltige Form herzustellen, erfordert große Übung und gelingt nicht immer. Sicherer ist es, die Form mit einem Kopierlineal auszudrehen (Abb. 76).

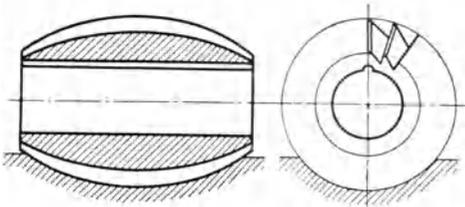


Abb. 75.

An sehr vielen Drehbänken mit Kopiereinrichtungen wird die Kopierrolle nicht zwangsläufig geführt, wie auf Abb. 77, sondern durch Federkraft gegen das Kopierlineal gedrückt. Hier sei auf den Unterschied in der Konstruktion des Kopierlineals beim Kopierdrehen und beim Kopierfräsen hingewiesen:

Beim Kopierfräsen ist der Kopierstiftdurchmesser gleich dem Durchmesser des Kopierfräasers, und der Kopierstift läßt sich auch, wenn der Fräser durch Schärfe im Durchmesser kleiner wird, durch seinen Kegel immer so einstellen, daß das alte Verhältnis gewahrt bleibt. Außerdem ist auf der Kopierfräsmaschine auch die Bedingung erfüllt, daß die Arbeitseite des Fräasers der des Kopierstiftes entspricht. Die Folge ist, daß bei diesen Verhältnissen der Fräser die gleiche Form am Arbeitsstück erzeugt, die die Kopierschablone hat.

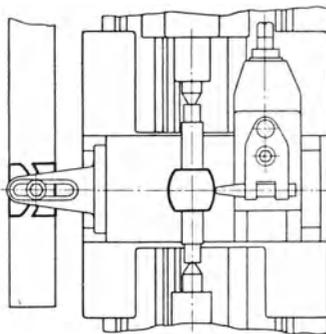
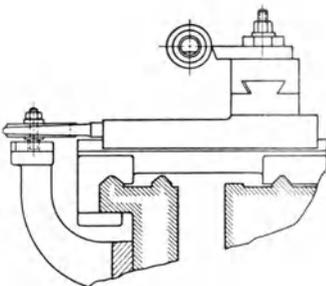


Abb. 76.

Beim Kopieren auf der Drehbank ändern sich die Formenverhältnisse dadurch, daß die Schneide am Drehstahl einen kleineren Durchmesser haben muß als die Kopierrolle. Soll z. B. das Profil des Fräasers (Abb. 75) auf der Drehbank kopiert werden, dann muß beim Aufreißen der Form auf die Kopierleiste in folgender Weise vorgegangen werden:

In Abb. 78 stelle die Kurve $a-b$ die Profilform des Fräasers dar. Die halbrunde Schneidkante des Drehstahles S mit Radius r und Mittelpunkt m berühre die Kurve $a-b$. Gleitet sie nun $a-b$ entlang, dann beschreibt m eine Kurve $c-d$, die zur Kurve $a-b$ abstandsgleich ist, d. h. an jeder Stelle um r von ihr entfernt

liegt. Schlägt man nun um m mit dem Kopierrollenhalbmesser R einen Kreis und läßt den Mittelpunkt dieses Kreises sich auf der Kurve $c-d$ fortbewegen, dann

beschreibt der Durchmesser des Kreises die zwei Kurven e_1-f_1 und e_2-f_2 , die gleichfalls zu $a-b$ den gleichen Abstand haben. Diese beiden Kurven ergeben dann die Formen für die Kopierleisten. In unserem Beispiel, in dem die Form der Kurve ein Radius ist, könnte man die für die Kopierleisten notwendigen Radien R_1 und R_3 leicht auch rechnerisch bestimmen.

Es läßt sich naturgemäß nicht jede Form in der vorbeschriebenen Weise kopieren. Fräser, deren Formen scharfkantige oder stark ansteigende Konturen aufweisen, wie Abb. 79, sind dafür nicht geeignet. Auch bei Fräsern wie Abb. 80, an deren Stirnseite die Formen angearbeitet werden sollen, wobei aber das vorgeschriebene mechanische Kopieren wegen der steil ansteigenden Form nicht möglich ist, kann man sich Formstücke auf die Schiene aufschrauben und sie beim Vorschuppen als Anhalt für die Form benutzen. Man kurbelt Quersupport und Längssupport von Hand und nimmt dabei vom Fräser soviel Stoff ab, bis die am Arm befindliche Rolle das aufgeschraubte Formstück berührt. So verhütet man, daß der Drehstahl an irgendeiner Stelle zu tief in den Werkstoff eindringt.

Drehen mit Formstahl. Spitzzahnige Formfräser mit nicht zu breiten Abmessungen kann man auch mit einem Formstahl (Abb. 81) drehen, besonders wenn sie aus gewöhnlichem Werkzeugstahl bestehen. Schnellstahl läßt sich so weniger gut behandeln; seine Oberfläche reißt stellenweise oft noch beim letzten und leichtesten Schabespan. Hat man es einmal mit einem besonders unangenehmen Werkstoff zu tun, dann kann man die vorge drehte Form auch mit einer profilierten Schleifscheibe (Abb. 82) auf der Schleifmaschine fertig schleifen. Voraussetzung ist hierbei, daß die Schleifscheibe breiter ist als der Fräser, und daß ein auf die Schleifmaschine aufzusetzender Apparat zum Profilieren der Schleifscheiben vorhanden ist, so daß nur ein Kopierstück dazu anzufertigen wäre (A in Abb. 82).

Gegenlehre. Da zur Herstellung und zur Prüfung der Formfräser eine Lehre mit Gegenlehre angefertigt werden muß, ganz gleich welchen Bearbeitungsweg man einschlägt, kann bei dem zuletzt beschriebenen Schleifen der Form das Kopierstück A (Abb. 82) zugleich als Gegenlehre dienen. Es muß aber, wie bei der Lehre, die hintere Kante parallel zur Fräserachse abgerichtet werden, damit die richtige Lage der Form an den Fräsern geprüft werden kann. Die Gegenlehre benutzt man zum Ausrichten des Formenstahles, wenn mit diesem gearbeitet wird. Sie wird dazu mit der hinteren Kante an den Drehdorn gelegt und der Formstahl mit der Form in die Gegenlehre hineingeführt und dann festgezogen (Abb. 81).

Fräser wie Abb. 79 kann man auch mit profilierter Schleifscheibe nicht fertigstellen, da man ihr die nötige Form nicht geben kann. In solche Profile könnte man die spitzen Zähne aber auch nicht einfräsen, so daß das Fertigdrehen gar nichts nutzen würde. Es bleibt nichts übrig, als solche Fräser hinterdreht auszuführen.

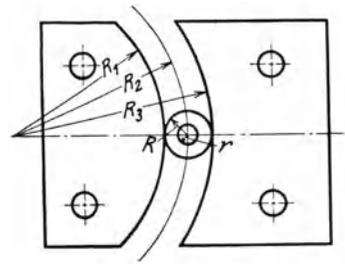


Abb. 77.

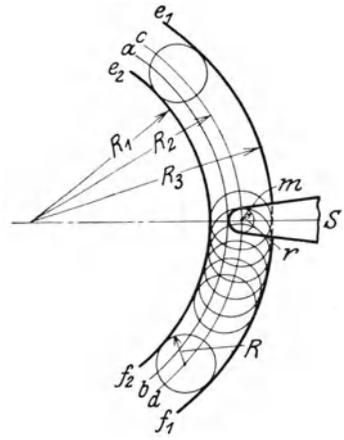


Abb. 78.

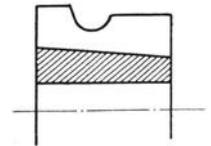


Abb. 79.

Nuten.

Wenn Fräserbohrungen genutet werden (vgl. S. 33), so sollten die Nuten unbedingt nach DIN 138 bemessen werden. Die Vorteile derartiger genommener Bohrungen und Nuten sind so groß, und die Gründe, die zu ihnen geführt haben, so einleuchtend, daß sich ihnen niemand entziehen kann. Die Abmessungen der Fräsdorne müssen natürlich den Normalmaßen der Fräserbohrungen entsprechen, und man sollte gegebenenfalls vor Neuanschaffungen von Fräsdornen nicht zurückschrecken.

Lage und Form. Die Nut soll in der Fräserbohrung stets so liegen, daß der größtmögliche Abstand zwischen ihr und der nächstliegenden Zahnücke erreicht wird, da die beim Härten entstehenden Spannungen den Fräser an den geschwächten Stellen leicht auseinandersprengen. Man achte auch darauf, daß bei rechteckigen Keilnuten die Ecken gut abgerundet werden, wie DIN 138 vorschreibt, da an scharfen Ecken durch die Kerbwirkung die Fräser bei höherer Beanspruchung gesprengt werden. Es kann nicht genug Sorgfalt beim Einstoßen der Keilnute aufgewendet werden, da sonst die Schwierigkeiten, die man beim Einrichten eines aus mehreren Fräsern bestehenden Fräsesatzes hat, sehr groß sind. Das öftere Abnehmen der Fräser vom Fräsdorn erfordert dann viel Zeit.

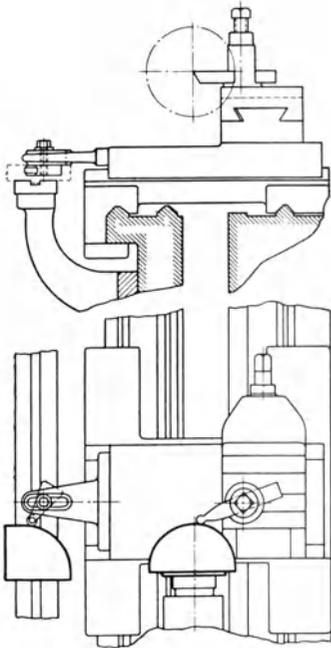


Abb. 80.

Auch ist ein zu schwacher Federkeil, der sich in alle, auch in die nicht genau ausgeführten Nuten der Fräser hineinschieben läßt, eine Gefahr für die Nut des Fräsdornes: Der Keil wird besonders beim Anschnitt von den Fräsern mitgenommen und auf die Kante der Nut des Fräsdornes gedrückt, die dadurch beschädigt wird.

Prüfung. Meistens verziehen sich Nuten — besonders in langen Fräsern mit starker Zahnneigung — beim Härten sehr stark. Es genügt deshalb nicht, die Nuten im weichen Fräser zu prüfen, sie müssen vielmehr nach dem Härten mit einem Sonderkalibrdorn nachgeprüft werden, der nicht nur Breite und Tiefe, sondern auch die Symmetrie der Nute zur Bohrung mißt (ähnlich Abb. 83). Die oft erforderliche Nacharbeit der gehärteten Nuten ist mangels geeigneter, maschineller Verfahren schwierig und sehr zeitraubend, da die am Markt befindlichen Nutenschleif- oder Honing-Maschinen nicht für alle Nuten in Frage kommen.

Arten des Nutens. Die Nute wird mit Räumnadeln geräumt oder mit dem Stoßstahl auf einer senkrechten Stoßmaschine eingestoßen (Abb. 84) oder eingezogen. Es empfiehlt sich in jedem Fall, die Stoßstange im Tisch zu führen, wenn keine geeignete Nutzenziehmaschine zur Verfügung steht. Um eine symmetrische Lage der Nute zur Bohrung zu erzielen, wird der Fräser durch einen prismatischen Anschlagwinkel α gemittet oder durch ein Paßstück mit Aussparung für den Stoßstahl, das in die Fräserbohrung eingreift.

Als Notbehelf zum Nutzenstoßen dienen Waagrechtstoßmaschinen (Abb. 85) und — für sehr lange Bohrungen — Tischhobelmaschinen.

Die hierzu erforderliche Messerstange, die am hinteren Ende im Stahlhalter

der Hobelmaschine gehalten wird und sich mit dem vorderen Ende in einem auf den Tisch der Maschine aufgeschraubten Lagerbock hin und her schiebt, erhält ein mit Hand nachstellbares auswechselbares Messer *a* (Abb. 83), dessen Schneide je nach Bedarf halbrund oder eckig ist. Bei der senkrechten und waagerechten Stoßmaschine kann man die Nuten während der Arbeit leicht messen, da das Werkstück vom Stoßstahl weggekurbelt und die Nut so unmittelbar mit der Lehre geprüft werden kann. Auf der Hobelmaschine ist das nicht ohne weiteres möglich, da das Stoßwerkzeug durch die Bohrung geht; man muß sich hier mit der Vorprüfung durch Federtaster behelfen, der nach den Gegenlehren eingestellt werden kann.

Schleif- und Fräsnut. Satzfräser wie in Abb. 87 können eine Schleif- und eine Fräsnut erhalten.

Die Schleifnut dient, wie schon die Bezeichnung sagt, dazu, die Satzfräser zum Scharfschleifen auf dem Dorn auszurichten.

Im allgemeinen werden die Nuten unmittelbar nach dem Drehen eingestoßen, damit die Fräskörper beim nachfolgenden Fräsen und Hinterdrehen gesichert werden können. Bei Satzfräsern wie Abb. 87 stößt man die Schleifnuten jedoch besser erst nach dem Hinterdrehen ein.

Der Vorteil dieser Bearbeitungsfolge liegt darin, daß man die Satzfräser nach dem Hinterdrehen ohne Schwierigkeit auf genau gleiche Durchmesser bringen kann, indem man sie auf einen Dorn zusammenspannt und die äußeren Kanten der Fräser durch Rundschleifen solange mit der Schleifscheibe anschleift, bis sich an allen Schnittkanten der Zähne eine

Fase bildet. Nun schleift man die Zähne an der Zahnbrust so weit nach, daß an allen Zähnen die Fase gerade verschwindet und eine scharfe Schneidkante entsteht. So erhält man im Durchmesser genau gleiche und rundlaufende Satzfräser. Jetzt kann man die Fräser mit einem Dorn und die Zähne mit einem an die Zahnbrust angelegten Lineal ausrichten und die Schleifnut einstoßen.

So genutete Satzfräser, durch die Schleifnut ausgerichtet auf einen Schleifdorn zusammen aufgespannt, werden beim Schärfen gleichmäßig angegriffen, sie verändern also gleichmäßig ihre Durchmesser. Das zeitraubende Messen der Fräser-

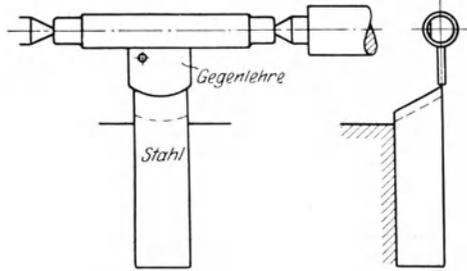


Abb. 81.

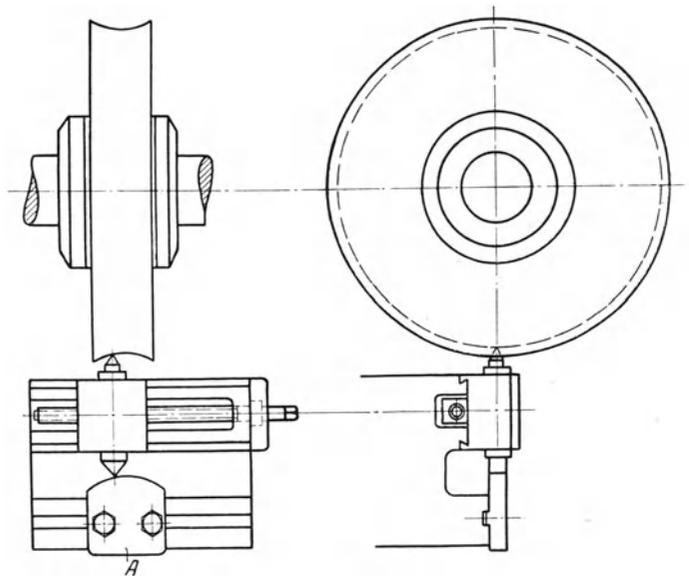


Abb. 82.

durchmesser, das sonst beim Schärfen der einzelnen Satzfräser notwendig ist, fällt bei Anordnung der Schleifnut fort.

Die Fräsnut sucht man so einzustoßen, daß die Spanfläche jedes Fräser-Zahnes gegen die seines benachbarten Zahnes etwas zurückliegt, so daß die Spanflächen der Fräser im Satz eine Spiralfäche bilden (Abb. 87). Eine solche Anordnung der Zahnluken vermeidet das ruckweise Arbeiten und die Erschütterungen, die beim gleichzeitigen Anschneiden aller Zähne auftreten. Man reißt die Nuten entweder an und stößt sie einzeln ein, oder man legt die Fräser alle überein-

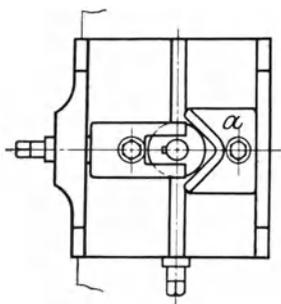
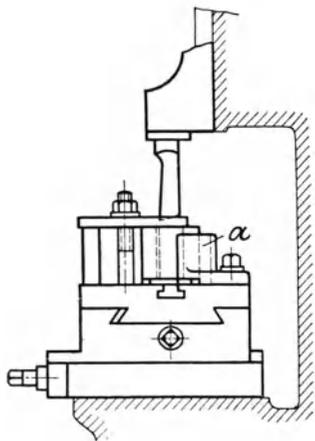


Abb. 84.

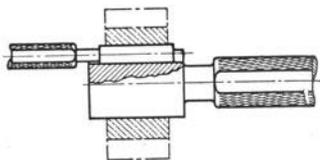
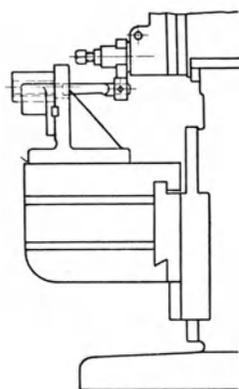


Abb. 83.

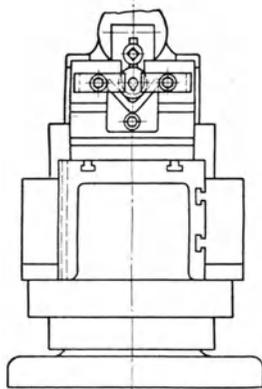


Abb. 85.

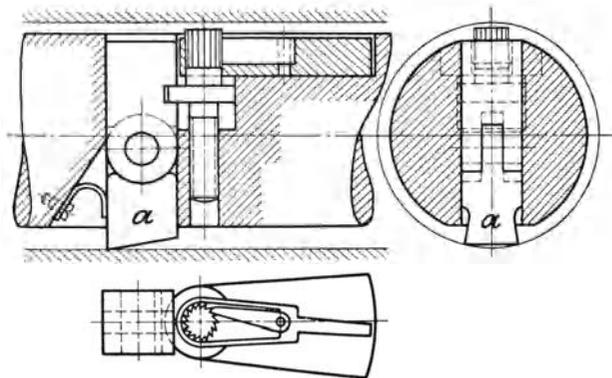


Abb. 86.

ander, verteilt die Zahnluken dabei so, wie sie auf dem Fräsdorn sitzen sollen und stößt dann die Nuten ein.

So umständlich diese Verteilung der Zähne eines Satzfräasers auch sein mag, sie hat den Vorteil, daß die Schneidkanten dabei den günstigsten Schnittwinkel erhalten. Spannte man dagegen alle Fräskörper eines Satzes auf einen

Dorn und fräste dann die Zahnluken spiralg ein, so erhielt jeder Zahn rechts und links verschiedene Schnittwinkel, einen spitzen und einen stumpfen (Abb. 88). Stumpfwinklige Schneidkanten können aber nicht schneiden, sie drücken nur,

erzeugen höchstens unsaubere Flächen und nutzen sich naturgemäß leichter ab als die günstigen spitzwinkligen Schneidkanten.

Fräsen der Zähne.

Aufnahme. Zur Aufnahme der Fräserrohlinge beim Fräsen dienen einfache Drehdorne, Aufspanndorne mit Spanmutter (Abb. 89) und fliegende Dorne

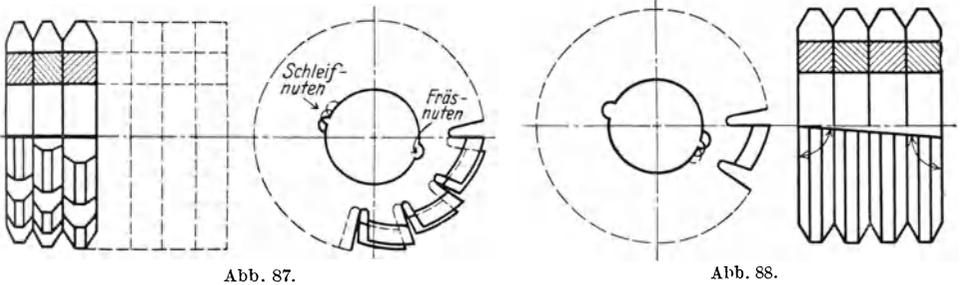


Abb. 87.

Abb. 88.

(Abb. 90). Die Drehdorne können, da sie verjüngt sind, nur ein Stück aufnehmen; auf den Aufspanndornen können dagegen mehrere Rohlinge zugleich aufgespannt werden, da sie lose aufgesteckt und mit der Spannmutter auf den Dorn festgezogen werden. Durch eine Nute im Schaft des Dornes und die Nut in der Fräserbohrung können die Fräser in einer bestimmten Lage gehalten werden. Die Dorne werden zwischen den Spitzen des Teilkopfes und Reitstockes oder eines Spitzenapparates aufgenommen. Durch einen Mitnehmer wird der Dorn beim Umschalten oder beim Drehen, wenn spiralförmige Nuten gefräst werden sollen, mitgenommen. Fliegende Dorne, die in den Kegel der Teilkopfspindel gesteckt werden, dienen zur Aufnahme solcher Fräser, deren Stirnseite gezahnt werden soll, oder für winklige Fräser mit stark steigenden Kegelflächen. Eine Spannschraube hält den Fräser fest, und die Federnut sichert den Fräser gegen Veränderung seiner Lage beim Fräsen.

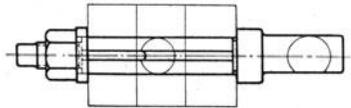


Abb. 89.

Fräsen vielzahniger Fräser mit geraden oder wenig geneigten Zähnen.

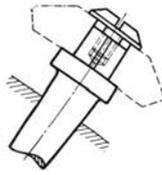


Abb. 90.

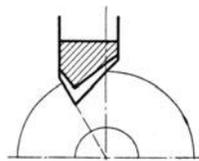


Abb. 91.

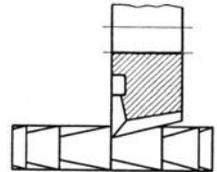


Abb. 92.

Wahl der Fräser. Die Zähne werden in spitzzahnige Fräser mit Winkelfräsern eingefräst. Für die Mantelfläche von Walzen- oder Scheibenfräsern soll man doppelseitige Winkelfräser (Abb. 91) benutzen, während für die Seitenzähne an Scheibenfräsern oder für die Zähne an winkligen Fräsern nur einseitig abgeschrägte Winkelfräser (Abb. 92) gebraucht werden können. Die doppelseitigen sind bei geradnutigen Fräsern aus dem Grunde vorzuziehen, weil ihre Schneidkanten sich sofort nach getaner Schneidarbeit von der Arbeitsfläche abheben, sich also freischneiden, während bei den einseitigen sich die rechtwinklig zur Fräserachse stehenden Schneidkanten infolge ihrer kreisenden Bewegung auf der Zahnbrust durch Kreisbogen bemerkbar machen, die dann durch Nachschliff erst beseitigt werden müssen.

Da die Seitenzähne an Scheibenfräsern und die Zähne an winkligen Fräsern wegen ihrer Lage nur mit einseitig abgeschrägten Winkelfräsern eingearbeitet

werden können, muß man, um dabei keine zu unsaubere Zahnbrust zu erhalten, für feste Aufspannung und für gut laufende Fräser sorgen.

Bei Scheibenfräsern mit positivem Spanwinkel der Seitenschneiden muß das Werkstück diesem Winkel entsprechend geneigt werden.

Fräsen grobgezahnter Fräser mit stark geneigten Zähnen. Um dem Zahn eine möglichst große Festigkeit und eine möglichst gute Wärmeleitfähigkeit zu geben, bildet man den Zahnrücken als gewölbte Fläche aus.

Zur Herstellung der Zahnlücken dienen hinterdrehte Formfräser, deren Kon-

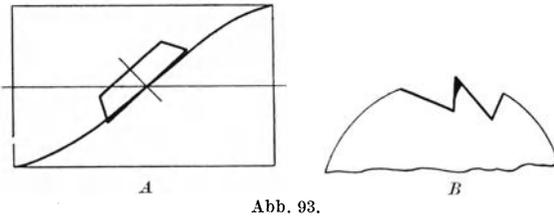


Abb. 93.

struktion auf Abb. 44 dargestellt ist. Die Verwendung eines doppelseitig schneidenden Fräfers ist hierbei Bedingung, da die Zahnbrust eines spiraligen Zahnes eine gewundene Fläche ist. Ein einseitig abgeschrägter Fräser würde die Zahnbrust überschneiden (Abb. 93 A), so daß ein Spanwinkel ent-

stünde, der zum Fräsen völlig ungeeignet wäre (Abb. 93 B). Durch eine Lehre (Abb. 94) wird der Arbeitsfräser in die richtige Lage zum Werkstück eingestellt, meist so, daß die Zahnbrust (Spanfläche), die er fräst, einen positiven Spanwinkel erhält, also nicht durch die Fräsermitte geht.

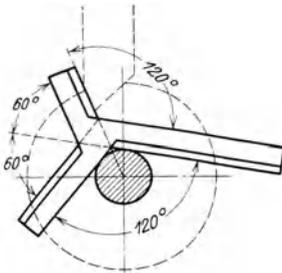


Abb. 94.

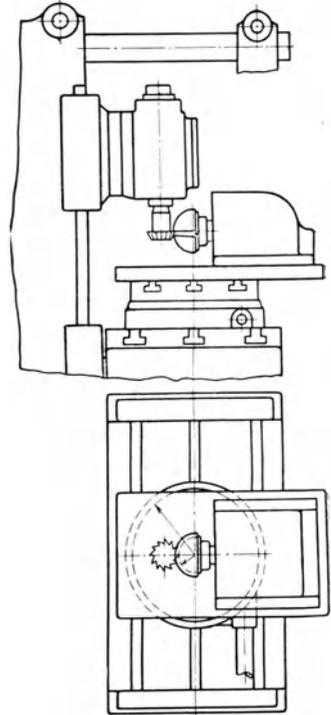


Abb. 95.

Derartige Fräser können nicht nur auf Allgemeinfräsmaschinen hergestellt werden, sondern auch auf Senkrechtfräsmaschinen mit drehbarem Kopf. Der Formfräser ist dann fliegend aufgespannt.

Fräser, deren Zahngrund keine geraden Linien sind. Soweit es sich um Fräser handelt, deren Zahnprofil und Zahngrund gerade Linien sind, genügen zur Aufnahme Teilkopf und Spitzenapparate, die unmittelbar auf den Frästisch aufgesetzt werden. Für Formfräser wie Abb. 95, bei denen die äußere Form und darum auch der Zahngrund Kreisbogen sind, müssen Einrichtungen geschaffen werden, mit denen man die Kreisbewegung ausführen kann.

Man verwendet zweckmäßig einen Rundsupport, auf den man den Teilkopf oder Teilapparat, der den Fräser hält, so spannt, daß der Mittelpunkt des Kreisbogens für den Zahngrund mit dem Mittelpunkt des Rundsupports zusammenfällt (Abb. 95 u. 96). Den senkrecht eingespannten Arbeitsfräser stellt man nach dem Zahngrundkreis ein. Bei nicht genügend großem Durchmesser der Aufspanfläche des Rundsupports befestigt man eine Platte auf ihm, auf die man den Teilkopf oder Teilapparat aufschraubt.

Die geeignetste Fräsmaschine für solche Arbeiten ist die Senkrechtfräsmaschine, da sich auf ihr durch den senkrecht sitzenden Arbeitsfräser der zu verzahnende Fräser in einfachster Weise mit der immer vorhandenen Einrichtung aufspannen und bewegen läßt. Um die waagerechte Fräsmaschine in gleicher Weise mit senkrechtem Arbeitsfräser zu benutzen, muß man einen drehbaren Fräsmaschinenapparat (Abb. 95) zu Hilfe nehmen, der auf die Prismenführung des Fräsmaschinenständers aufgespannt und von der Hauptarbeitsspindel der Fräsmaschine durch Kegel- und Stirnräder angetrieben wird.

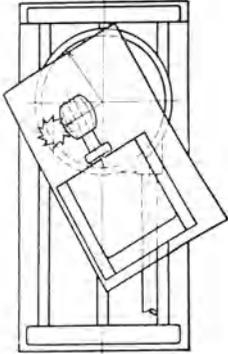


Abb. 96.

Einstellung des Teilkopfes. Da sich die Zahnücke bei Scheiben- und Winkelfräsern nach der Mitte des Fräasers zu in ihrer Breite und Tiefe verzängen muß, damit eine gleich breite Fase entsteht, wird der Fräser so geneigt, daß der Grund der Zahnücke parallel zum Frästisch liegt (Abb. 94). Der Neigungswinkel ω des Zahngrundes zur Fräserachse ist gleich dem Einstellwinkel, unter den die Fräserachse gegen die Tischfläche geneigt werden muß. Die Berechnung der Einstellwinkel geben folgende Formeln:

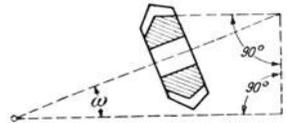


Abb. 97.

$$\cos \omega = \operatorname{tg} \tau \operatorname{ctg} \varrho \left(\text{Teilungswinkel } \tau = \frac{360^\circ}{\text{Zähnezahl}} \right),$$

für kegelige Flächen (Abb. 99): Einstellwinkel $\omega = \omega_1 - \omega_2$ (= Differenz zweier Hilfswinkel), wobei ω_1 und ω_2 zu errechnen sind aus:

$\operatorname{tg} \omega_1 = \cos \tau \cdot \operatorname{ctg} \varrho$ und $\sin \omega_2 = \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{ctg} \varrho \cdot \sin \omega_1$ (Tabellen s. Schuchardt & Schütte, Technisches Hilfsbuch 1933, S. 450 ff).

Die Tiefe der Zahnücke richtet sich nach der Teilung und dem Winkel des Zahnes. Der Arbeits-

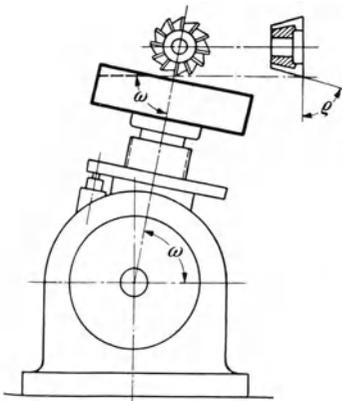


Abb. 98.

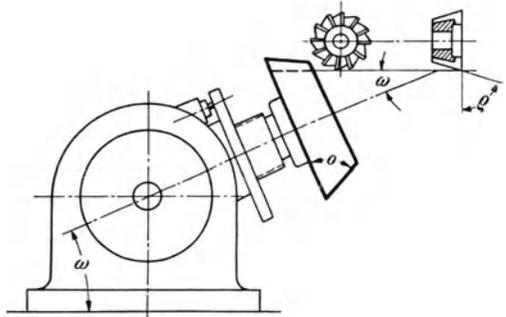


Abb. 99.

fräser wird zum Fräsen der Zahntiefe auf der Mantelfläche meist so eingestellt, daß man erst eine Zahnücke vorsichtig fräst und dann die danebenliegende Zahnücke so weit, daß die Anfänge eines Zahnes hervortreten. Daran kann man dann erkennen, ob der Arbeitsfräser auf richtige Tiefe eingestellt wurde. Der voll angefräste Zahn muß an der Spitze eine Fase von etwa 0,2...0,3 mm haben. Ebenso muß verfahren werden, wenn die Zähne von winkligen Fräsern eingefräst werden sollen. Man braucht aber nur beim Fräsen der Zähne auf der ersten Seite des winkligen Fräasers so vorzugehen. Bei der zweiten Seite richtet

man sich, wie man es auch beim Fräsen der Seitenzähne an Scheibenfräsern tut, nach den schon eingefrästen Zähnen. Man kann für die Seitenzähne der Scheibenfräser mit Hilfe der auf der Mantelfläche vorhandenen Zähne den Arbeitsfräser gleich so tief einstellen, daß die erforderliche Fase beim Fräsen erreicht wird.

Bei ungerader Zähnezahl kann der Fräserdurchmesser so gemessen werden, daß man in eine Zahnücke einen kleinen Zinnbutzen einlötet (Abb. 100) und rundschleift oder so, daß man den Fräser zwischen Spitzen mit einer Meßuhr mißt,

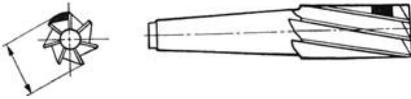
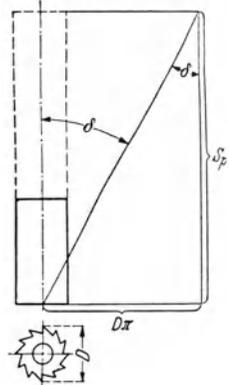


Abb. 100.

die nach einem Zylinder auf den richtigen Durchmesser eingestellt wurde. Die Einstellung des Teilkopfes wird ausführlich be-



handelt in Heft 6, Teilkopfarbeiten.

Die Steigung S_p der Spiralzähne ist für die Einstellung des Teilkopfes zum Fräsen der Zähne wichtig. S_p kann aus dem Fräserdurchmesser D und dem Drallwinkel δ (Abb. 101) leicht errechnet werden aus der Formel

$$S_p = \frac{D\pi}{\text{tg } \delta} \text{ in mm oder } \frac{D\pi}{25,4 \cdot \text{tg } \delta} \text{ in Zoll.}$$

Abb. 101.

Herstellung hinterdrehter Fräser.

Vorarbeiten zum Hinterdrehen. Die Bearbeitung der hinterdrehten Fräser ist bis zum Hinterdrehen grundsätzlich die gleiche wie bei den spitzzahnigen Fräsern, doch muß man bei den hinterdrehten Fräsern ungleich sorgfältiger bei den vorhergehenden Arbeiten vorgehen als bei den spitzzahnigen. Die Bohrung muß unbedingt sauber und genau sein, damit der Fräser bei jeder neuen Aufspannung rund läuft. Der Drehdorn, auf dem der Fräser gedreht wird, darf keinen Schlag

haben. Die Naben- oder Seitenflächen der Fräser müssen genau parallel zueinander und rechtwinklig zur Bohrungsachse sein. Beim Fräsen muß der Fräser unrückbar fest aufgespannt werden, damit er sich auf dem Dorn nicht verdrehen kann, was bei dem oft tiefen Zahn und darum schweren Schnitt leicht vorkommen kann. Die Folgen einer Verdrehung sind ungleiche Zahnteilungen und schlagende Zähne, die man dann nur durch Nachschleifen der Brustflächen der Zähne beseitigen kann, was wiederum die Zähne zwecklos und vorzeitig verbraucht.

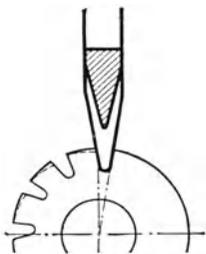


Abb. 102.

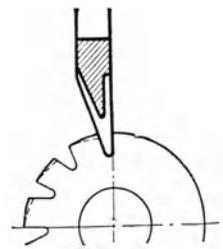


Abb. 103.

Man benutze darum, wenn irgend möglich, den Aufspanndorn mit Federnetz (Abb. 89) und sichere den Fräser gegen Verdrehung durch Federkeil. Die Zahnücken der hinterdrehten Fräser werden mit Fräsern nach Abb. 102 u. 103 eingearbeitet, und zwar dient Abb. 103 nur für gerade Zähne, während man Abb. 102 für gerade und spiralige Zähne benutzen kann. Der Flankenwinkel der Fräser liegt zwischen 18° und 22° ; in den meisten Fällen genügt 18° . Richtig eingestellt werden die Fräser in der üblichen Weise mit dem bekannten Einstellwinkel (Abb. 94 S. 46).

Vor dem Hinterdrehen müssen Bohrung sowohl wie Seitenflächen des Fräsers

leicht überschleifen werden, damit der durch etwaige vorhergegangene Stempelung herausgetriebene und hervorstehende Werkstoff keine Ursache zu einem seitlichen Schlag des Fräasers geben kann. Durch dieses Schleifen wird auch der beim Nutenstoßen an der Auslaufseite der Nut entstehende Grat beseitigt.

Jede geringste Nachlässigkeit bei den Arbeitsgängen vorher rächt sich dadurch, daß man zum Schluß einen in seiner Form schlagenden Fräser erhält, was ein vollständiges Nacharbeiten notwendig macht. Eine Prüfung des Fräasers nach jedem Arbeitsgang sollte darum eine Selbstverständlichkeit sein.

Zum Hinderdrehen wird der Fräser auf einen Aufspanndorn gespannt.

Arten des Hinderdrehens. Um dem Fräser auf der Hinderdrehbank die gewünschte Form zu geben, hat man zwei Möglichkeiten. Man kann ihn mit einem Formstahl hinderdrehen, der genau das Profil des Fräasers hat, oder man kann die Form auch in mehreren Hinderdrehstufen mit verschiedenen Hinderdrehstählen einarbeiten.

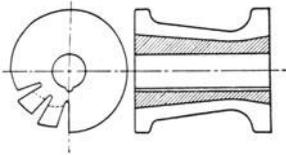


Abb. 104.

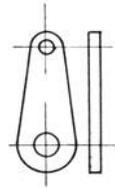


Abb. 105.

Den ersten Weg schlägt man dann ein, wenn sich die Anfertigung eines Formstahles durch mehrere oder immer wiederkehrende Fräser lohnt. Man hat dabei den Vorteil, ohne Schwierigkeiten vollständig gleichmäßige Fräser herstellen zu können. Das ist besonders wichtig bei breiten Formfräsern, die des leichteren Schneidens wegen Spiralzähne erhalten müssen. Hinderdrehbänke mit automatischer Spanzustellung vergrößern dann noch den Vorteil.

Den zweiten Weg wählt man nur dann, wenn kein zweiter Fräser hergestellt zu werden braucht und man darum den teuren Hinderdrehstahl sparen will, oder wenn die Formen des Fräasers derart sind, daß man sie mit Hilfe von vorhandenen Formstählen nach und nach einarbeiten kann.

Man kann z. B. bei einem Fräser mit geraden Zähnen (Abb. 104, der für eine Hebelform, wie Abb. 105, benötigt wird) die Form in der in Abb. 106 a, b, c dargestellten Weise einarbeiten, um den Hinderdrehstahl mit ganzer Form (Abb. 107) zu umgehen. Diese Herstellungsweise bedingt wohl etwas höhere Löhne, ist aber im ganzen doch billiger, wenn der Hinderdreher beim Fertighinderdrehen gut aufmerkt, so daß er zuletzt die Formen nicht mehr angreifen und die bereits fertiggestellten Stellen nicht nochmals nacharbeiten muß.

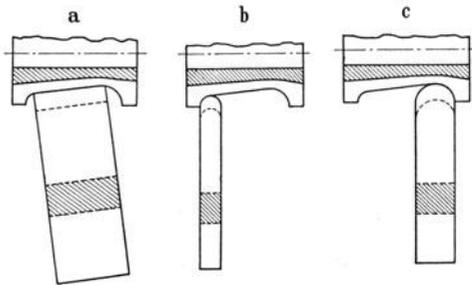


Abb. 106.

Ein etwas anderes Verfahren ist für breite Gewindefräser üblich. Während schmale, geradnutige Gewindefräser mit einem genügend breiten Hinderdrehstahl mit einem Mal hinderdreht werden, hinderdreht man Fräser breiter als etwa 35 mm in mehreren Arbeitsgängen (Abb. 108), da man den Hinderdrehstahl nicht gern breiter als 40 mm macht mit Rücksicht auf die Teilungsänderungen beim Härten.

Spiralgenutete Gewindefräser werden, da die Herstellung eines breiten Hinderdrehstahles zu teuer würde, nur mit einem einzahnigen Stahl hinderdreht.

Man muß dann bei jedem Gewindegang den Support der Steigung entsprechend weiter bewegen und den Gewindefräser der Steigung der Spirale von Gang zu Gang entsprechend etwas drehen. Damit der Fräser ein Profil erhält,

das beim Fräsen ein richtiges Gewinde gibt — soweit das beim spiralgenuteten Gewindefräser überhaupt möglich ist — muß man den Hinterdrehstahl an das Profil der Schnittspirale anpassen, das entsteht, wenn man mit einem Gewindestahl

hoher Genauigkeit die Rillen in den Fräser eindreht.

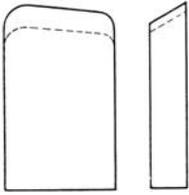


Abb. 107.

Kopieren. Ein weiteres Verfahren beim Hinterdrehen ist das Kopieren mit einem an der Hinterdrehbank angebrachten Kopierlineal (Abb. 109). Hierbei sind nur das Kopierlineal und eine Gegenlehre anzufertigen. Der Hinterdrehstahl ist ein einfacher halb-

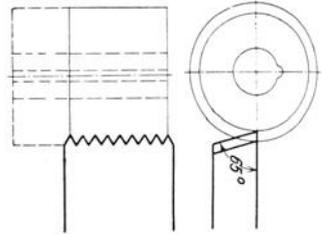


Abb. 108.

runder Formstahl, der zum Hinterdrehen von Fräsern mit den verschiedensten Formen verwendet werden kann, sein Radius muß aber stets um ein Geringes kleiner oder höchstens gleich der kleinsten, an der Form des Fräasers vorkommenden (einspringenden) Rundung sein, damit er jeden Punkt des Kopierlineals berühren kann, was beim Kopieren Bedingung ist.

Der Vorgang des Kopierens auf einer Hinterdrehbank sei kurz beschrieben:

An dem unter starkem Federdruck nach vorn gedrückten Schlitten des Supports ist der Kopierstift *B* (Abb. 109) befestigt. Dadurch wird der Kopierstift gegen das Kopierlineal gepreßt, und beim Verschieben des Bettschlittens in der Längsrichtung gleitet der Kopierstift am Kopierlineal entlang. Der Supportschlitten wird dabei, entsprechend den Formen des Kopierlineals, vor- oder rückwärts gedrängt, so daß eine Bewegung genau der Kurve des Kopierlineals entspricht. Da der Stahlhalter mit Hinterdrehstahl auf dem Supportschlitten befestigt ist, macht der Hinterdrehstahl dieselbe Bewegung.

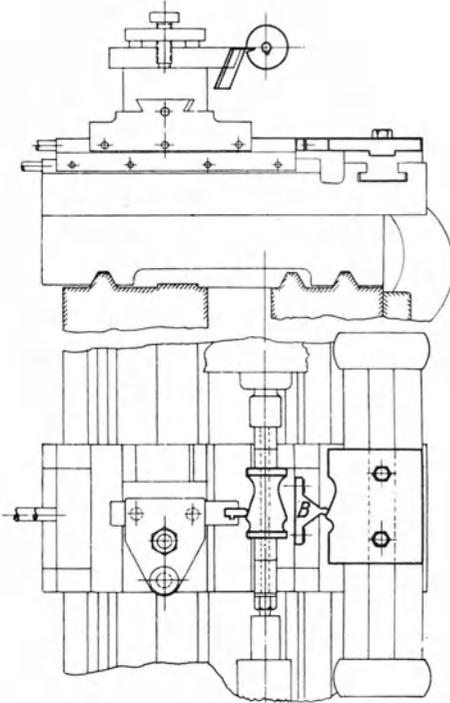


Abb. 109.

Der Bettschlitten kann von rechts nach links oder auch umgekehrt von links nach rechts verschoben werden. Bei schlanken Formen, wie z. B. in Abb. 107, folgt der

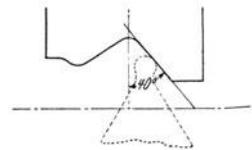


Abb. 110.

durch Federdruck an das Kopierlineal herangedrückte Kopierstift den Formen des Kopierlineales in jeder Stellung. Bei Formen, wie in Abb. 110, bei denen einzelne Teile sich einem Winkel von rund 40° nähern, weicht der Kopierstift schon schwerer aus, und er wird überhaupt nicht mehr zurückgedrängt, wenn der Winkel noch erheblich spitzer wird.

Man kann wohl bei Beginn derartiger stark steigender Kurven den Span unterbrechen, und nachdem man die Formen, wie z. B. Abb. 111, von *c*—*d* be-

arbeitet hat, dann die Schräge von $f-d$, also von links nach rechts besonders bearbeiten, aber abgesehen davon, daß man besonders bei Schlichtspänen ungern den Span unterbricht, würden so stark steigende Kurven nie sauber bearbeitet werden können, wie man sich an Abb. 111 und nachstehender Rechnung leicht klarmachen kann. Der Bettschlitten, und damit der Hinterdrehstuhl und der

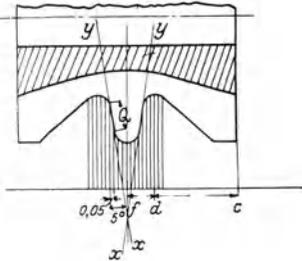


Abb. 111.

Kopierstift, werden mit einem Vorschub von 0,05 mm bei jeder Umdrehung des Fräses vorgeschoben. Bei parallel zur Fräserachse liegenden Profilkanten würde die bearbeitete Strecke bei diesem Vorschub ebenfalls 0,05 mm betragen, dagegen würde für die Kante $x-y$, die unter einem Winkel von

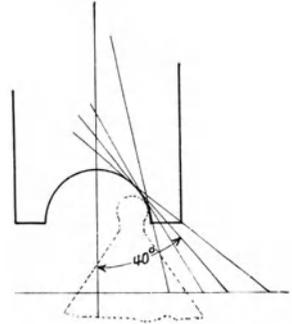


Abb. 112.

5° geneigt liegt, die bearbeitete Strecke Q bei einer Umdrehung $= 0,57$ mm sein, also mehr als 10mal

so groß. Der Wert von Q ergibt sich aus der Beziehung $Q = \frac{0,05}{\sin 5^\circ}$.

Bei Formen mit Halbkreisprofilen, wie Abb. 112, treten diese ungünstigen Verhältnisse ein, um so mehr, je mehr sich die Tangente der Rechtwinkligen zur Achse nähert.

Auch Fräser mit scharfkantigen Umrißformen, wie Abb. 113, können nicht kopiert werden, denn der Kopier-

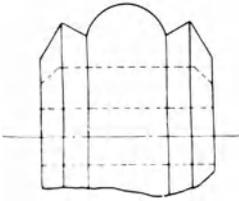


Abb. 113.

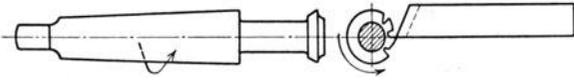


Abb. 114.

stift und der Hinterdrehstuhl müßten dabei eine ganz scharfe Spitze erhalten, was natürlich unmöglich ist. Aus diesen Beispielen ersehen wir, daß die Anwendungsmöglichkeit des Kopierverfahrens begrenzt ist.

Hinterdrehen der Schafffräser. Während das Hinterdrehen rechtsschneidender Schafffräser keine Schwierigkeiten macht, sind für linksschneidende besondere Maßnahmen nötig.

Entweder muß man die Hinterdrehbank links herum laufen lassen — dann muß der Hinter-

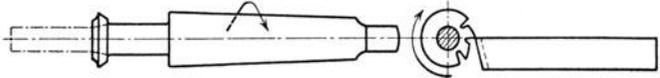


Abb. 115.

drehstuhl mit seiner Brustfläche nach unten gekehrt sein (Abb. 114), und zwischen die Zahnräder für den Antrieb der Kurven muß ein Zwischenrad eingeschaltet werden, damit die Drehrichtung der Kurven unverändert bleibt — oder aber man läßt am Stirnende des Schafffräses einen Spannzapfen stehen (Abb. 115, gestrichelt) und hinterdreht wie bei einem rechtsschneidenden Fräser. Der Spannzapfen wird, wenn nötig, nach Fertigstellung des Fräses entfernt.

Hilfswerkzeuge. Zur Herstellung der Formfräser und zu ihrer Prüfung sind in jedem Fall eine Lehre mit Gegenlehre notwendig, wie z. B. für Fräser Abb. 104 die Lehren Abb. 116 und Abb. 117, und beim stufenweisen Ausarbeiten empfiehlt sich, um die richtige Lage der einzelnen Formen prüfen zu können, noch eine Hilfslehre

(Abb. 118), die keine großen Kosten verursacht, da die Hauptlehre vorhanden ist, von der die Teilformen abgenommen werden können.

Bei geradlinigen Formfräsern, wie Abb. 119, erübrigt sich ebenfalls ein besonderer Hinterdrehstahl, da die geraden Flächen durch jeden beliebigen geradlinigen Hinterdrehstahl bearbeitet werden können; es sind nur Lehre mit Gegenlehre anzufertigen. Die Kosten für die Herstellung der Hilfswerkzeuge ermäßigen sich

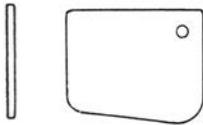


Abb. 116.



Abb. 117.

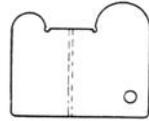


Abb. 118.

ganz erheblich, wenn Musterstücke vorhanden sind, von denen die Formen unmittelbar abgenommen werden können. Sie brauchen dann nicht erst entwickelt zu werden, eine Arbeit, die oft zeitraubend und schwierig ist. Da der Besteller von Fräsern die Kosten für die Hilfswerkzeuge zahlen muß, liegt es in seinem Interesse, vorhandene Musterstücke und Hilfswerkzeuge dem Fabrikanten zur Verfügung zu stellen.

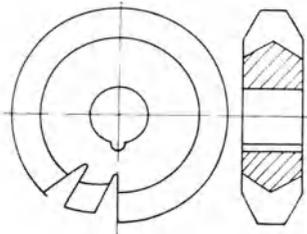


Abb. 119.

Soll z. B. der Fräser (Abb. 104) hergestellt werden, und ist ein Musterstück nicht vorhanden, dann muß die Form erst aufgezeichnet werden. Man nimmt dazu ein etwa 2 mm dickes Stahlblech und trägt mit Zirkel und Reißnadel die Formen auf. Um beim Aufreißen die Maße gleich möglichst genau zu erhalten, ist es nötig, das Blech an einer Seite leicht abzuschleifen oder durch Bestreichen

mit Kupfervitriol mattrot oder einer anderen ätzenden Flüssigkeit matt zu ätzen, damit ganz scharfe Striche gut sichtbar werden. Nach dem Aufriß wird die Form ausgearbeitet und ein Gegenstück dazu angefertigt. Dann beginnt die Prüfung der eingearbeiteten Maße und das Berichtigten.

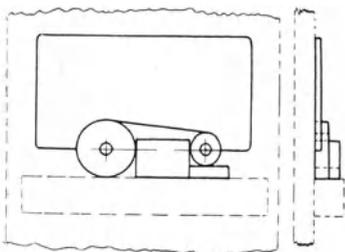


Abb. 120.

Dazu kann man sich manchmal, wie z. B. bei dem Hebel, Meßscheiben und Endmaße zusammenbauen (Abb. 120), indem man sie auf eine Glasscheibe leicht festkittet, damit sie sich beim Prüfen der vorgearbeiteten Ge-

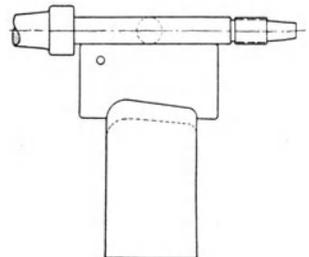


Abb. 121.

genlehre nicht hin und her schieben. Man berichtigt von den Lehren für den Fräser Abb. 104 zweckmäßig die Gegenlehre zuerst, da sich ihre hohle Form nach Abb. 120 leichter prüfen läßt als die erhabene Form der Lehre.

Bei der Herstellung der Gegenlehre ist noch darauf zu achten, daß ihre hintere Kante genau parallel zur Achse des Arbeitsstückes ist, da die Gegenlehre auch zum Einstellen des Hinterdrehstahles auf der Maschine dienen muß (Abb. 121).

Nach der Gegenlehre fertigt man die Lehre an, die zur Kontrolle des hinterdrehten Fräasers, sowohl nach dem Hinterdrehen als auch nach dem Härten dient.

Hat sich der Fräser in der Härte verzogen, dann muß er ausgeglüht und nachhinterdreht werden.

Nur in wenigen Fällen, z. B. bei hinterdrehten Gewinde- und Zahnformfräsern, ist es möglich, die genaue Form durch Hinterschleifen der Fräserzähne zu erzeugen. Diese Arbeit erfordert teure Sondereinrichtungen. Bei den Anforderungen, die heute an Verzahnungsmaschinen gestellt werden, ist aber das Hinterschleifen der Zahnform- und Gewindefräser oft nicht zu umgehen. Die Herstellung dieser Fräser bringt eine Reihe besonderer Schwierigkeiten mit sich, deren Erörterung den Rahmen dieses Heftes sprengen würde. Wir verweisen deshalb auf das angegebene Schrifttum. Die Herstellung solcher Fräser überlasse man den Sonderfirmen.

In dem vorstehenden Beispiel ist es möglich, normale Meßstücke zur Herstellung und Prüfung der Formen zu benutzen; wenn Formen vorkommen, bei denen dies nicht möglich ist, müssen eben zweckentsprechende Hilfsstücke beschafft bzw. hergestellt werden.

Die Lehren und Hinterdrehstähle können auch geprüft werden durch Projektion der Form im vergrößerten Maßstab z. B. 100 : 1 gegen eine Wand, auf die im gleichen vergrößerten Maßstab die Form aufgerissen ist (Abb. 122).

Um die Herstellung solcher Formen zu erleichtern, hat man optische Profilschleifmaschinen entwickelt (Abb. 123: Schema der Maschine von Loewe-Gesüfel).

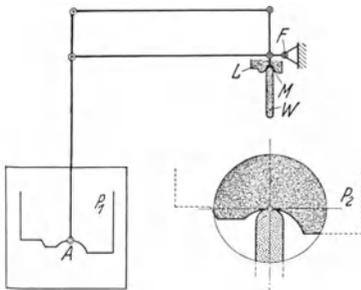


Abb. 123.

Ein Storchschnabellenker, dessen Gleitstift auf einem vergrößerten Aufriß der Form von Hand entlang geführt wird, steuert den Schleifschlitten, dessen Teller-scheibe die Form in das vorgearbeitete Werkstück überträgt. Die Arbeit der Scheibe wird durch ein Mikroskop betrachtet.

Bei Fräsern mit ganz verwickelten Formen, die man durch Handarbeit schwer in den Fräser einarbeiten kann, fertigt man sich mit Hilfe der Gegenlehre einen Drehstahl an und schabt mit dem bei reichlicher

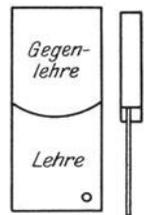


Abb. 124.

Schmierung mit Öl die Form des von Hand möglichst gut vorgedrehten Fräsers auf der Drehbank fertig. Um diesen Schabestahl möglichst leicht und billig herstellen zu können, gibt man ihm nur eine ganz kurze formhaltige Schneidlänge.

Die Herstellung der Hinterdrehstähle. Man kann sie sich für geradnutige Fräser dadurch erleichtern, daß man die Gegenlehren als Schabestähle ausführt und damit den gut vorgearbeiteten Hinterdrehstahl fertig schabt.

Die Gegenlehre als Schabestahl (Abb. 124) wird je nach Breite der Form aus einem etwa 6...8 mm dicken Werkzeugstahl hergestellt und gehärtet. Dieser Schabestahl wird dann in einem besonderen Halter einer wagerechten Stoßmaschine (Shaping-Maschine) derart schräg eingespannt (Abb. 125), daß die Ober-

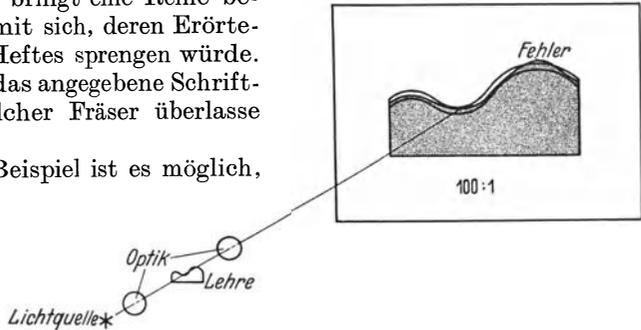


Abb. 122. Projektion einer Lehre (nach H. Schmidt).

fläche $a-b$ des Schabestahles genau parallel zur Oberfläche $c-d$ des unter einem Winkel α (in Abb. 125 = 55°) auf eine Vorrichtung aufgespannten Hinterdrehstahles liegt.

Die Notwendigkeit einer solchen Aufspannung wird klar aus Abb. 126. Der Schabestahl S , der ja auch die Gegenlehre darstellt, hat das richtige Profil mit der Höhe h . Schabt man nun mit ihm in der Lage I den Hinterdrehstahl so, daß die Stirnflächen (Brustflächen) der beiden Stähle parallel zueinander liegen, dann

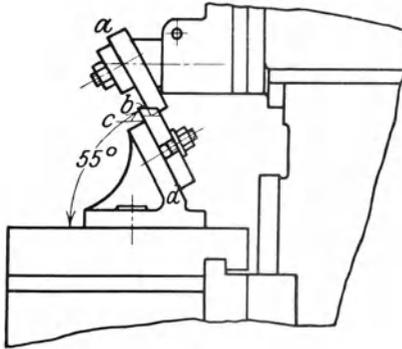


Abb. 125.

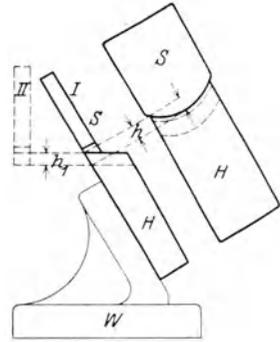


Abb. 126.

hat auch der Hinterdrehstahl an der Brustfläche das richtige Profil, das so lange erhalten bleibt, wie man den Hinterdrehstahl parallel zur Oberfläche nachschleift. Würde man dagegen mit dem Schabestahl in der Lage II (in Abb. 126 gestrichelt) den Hinterdrehstahl nachschaben, dann würde sein Profil falsch werden.

Beim Schaben muß die Schnittgeschwindigkeit des Stößels auf etwa 1,8...2 m/min verringert werden.

Den Winkel β_H des Hinterdrehstahles H (Abb. 127) der = $90^\circ - (\alpha + \alpha_H)$ ist,

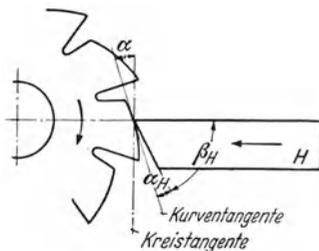


Abb. 127.

wählt man so groß, daß bei dem vorgeschriebenen Hinterdrehwinkel α sich noch ein Freiwinkel α_H von etwa 10° ergibt. Für $\alpha = 15^\circ$ könnte also $\beta_H = 90 - (15 + 10) = 65^\circ$ sein. Da nun aber die Einrichtung zum

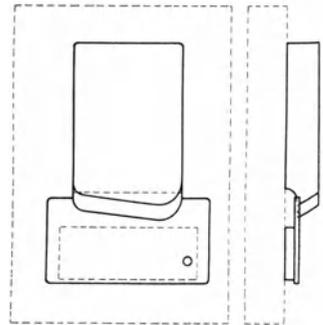


Abb. 128.

Schaben der Hinterdrehstähle für alle Winkel α ausreichen soll, legt man ihrer Konstruktion den größten vorkommenden Wert: $\alpha \approx 25^\circ$ zugrunde. Damit ergibt sich: $\beta_H = 90 - 35 = 55^\circ$. Diese Größe von β_H war auch für die Abb. 125 angenommen.

Um die Gleichmäßigkeit nach dem Schärfe prüfen zu können, benutzt man die Gegenlehre, indem man sie auf Endmaße auf eine Glasscheibe legt und mit der Form des abgeschliffenen Stahles vergleicht (Abb. 128).

Wie oben erwähnt, führt man bei nicht zu verwickelten Profilen, z. B. Radiusfräsern, Formfräser wegen der bedeutend besseren Schnittleistung mit unterschrittenen Zähnen, d. h. mit positivem Spanwinkel aus. Geht die Zahnbrust nicht

durch die Fräsermitte, so muß das Fräserprofil allerdings geändert werden, damit die richtige Form am Werkstück entsteht. Die neue Profilform kann konstruiert oder so erzeugt werden, daß man den Schabestahl als Erzeuger des Formstahles unter dem Spanwinkel des Fräserzahnes neigt.

Wesentlich umständlicher, schwieriger und kostspieliger ist die Herstellung von Hinterdrehstählen für Fräser mit Spiralzähnen (z. B. 129). Durch die Spiralmutter *A* entsteht an der Schnittkante eine verlängerte Form zu dem parallel zur Achse des Fräasers liegenden richtigen Profil. Die verlängerte verzerrte Form muß auch der Hinterdrehstahl erhalten. Man könnte sie nun durch Projektion bestimmen (Abb. 130) und danach Lehre, Gegenlehre und Hinterdrehstahl anfertigen; aber genauer und zuverlässiger ist folgender Weg:

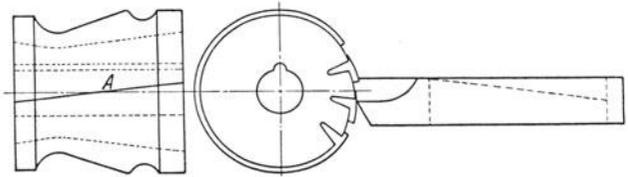


Abb. 129

Man fertigt Lehre und Gegenlehre mit dem normalen Profil an, dreht dann die Form des Fräasers nach der Lehre fertig, fräst die Spiralmutter ein und paßt an der so entstandenen Schnittkante den Hinterdrehstahl an.

Der Fräser wird dazu auf einen Dorn zwischen den Spitzen eines Spitzenapparates aufgenommen. Für den Hinterdrehstahl muß eine geeignete Auflage geschaffen werden, damit er in die richtige Lage dem Fräser angepaßt werden kann (Abb. 131).

Der Hinterdrehstahl soll, wie der Formstahl beim Drehen, mit seiner Schneidkante genau in Höhe der Fräserachse liegen; das ist aber bei spiralnutigen Fräsern nicht möglich. Bei ihnen liegt nur ein Punkt der Schneidkante des Hinterdrehstahles in Höhe der Achse, und zwar in der Mitte des Fräasers; nach den Seiten zu liegt die Schneidkante über oder unter der Achse. Um an diesen Stellen nicht gar zu ungünstige Schneidverhältnisse zu erhalten, nimmt man den Steigungswinkel nur etwa $5 \dots 10^\circ$. Bei schmalen Fräsern mehr den höheren Grad, bei breiteren mehr den niedrigen.

Diese Größe für den Steigungswinkel genügt aber auch fast in allen Fällen, denn der Hauptzweck der Spiralmutter ist ja erreicht: Der Fräser arbeitet durch seine spiraligen Zähne nicht ruckweise.

Bezeichnen.

Kennzeichen. Aus Gründen, deren Aufzählung sich erübrigt, werden die Fräser mit folgenden Kennzeichen versehen:

Firma oder Fabrikmarke — Prüfvermerk des Herstellers — Herstellungszeit (Jahr und Monat) — Hauptabmessungen — oftmals Verwendungszweck und Werkzeugnummer — Werkstoff.

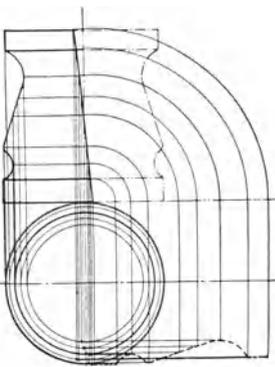


Abb. 130.

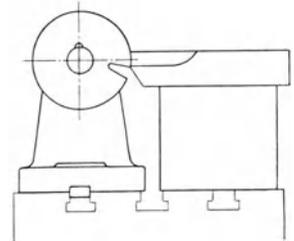


Abb. 131.

Die Angabe des Werkstoffes (durch Buchstaben oder Nummer) ist besonders wichtig, da sie Voraussetzung für eine Prüfung des Werkstoffes im praktischen Betrieb und für die Anwendung einer richtigen Warmbehandlung beim Härten und Aufarbeiten des Fräasers ist.

Die Werkzeuge sind möglichst an solchen Stellen zu bezeichnen, die beim Fertigschleifen nicht übermäßig angegriffen werden, so daß die Bezeichnung erhalten bleibt. Die Werkzeugzeichnung soll die Bezeichnungsstelle, Schriftgrößen und -text vorschreiben.

Stempeln von Hand (durch Hammerschlag). Das erfordert große Geschicklichkeit, wenn die Stempelung sauber und ansehnlich sein soll. Man wendet dieses Verfahren daher nur bei einzelnen Stücken an oder bei Fräsern, deren Form bei maschineller Bezeichnung besondere Unterlagen erfordert oder deren Bezeichnungsfläche eine andere Art des Bezeichnens nicht zuläßt.

Bezeichnungs- oder Graviermaschinen. Diese Maschinen walzen oder drücken die Bezeichnungen ein, und die Stempelung fällt im allgemeinen sauberer und regelmäßiger aus als mit Hand.

Bei flachen Gegenständen werden runde Stempelräder (Abb. 132) benutzt, die auf ihrer Mantelfläche die eingravierten Bezeichnungstypen, wie Firmen oder Fabrikmarken, tragen. Runde Stücke können dagegen nur mit flach gravierten Stempeln bezeichnet werden (Abb. 130). Die Werkzeuge werden je nach der Konstruktion der Maschine, entweder unter dem festgelagerten Stempel hinweggeführt, oder aber das Werkzeug steht fest und der Stempelhalter geht über es hinweg.

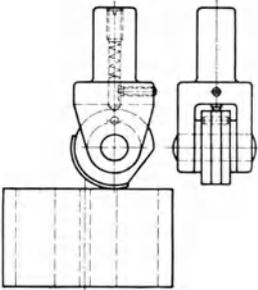


Abb. 132.

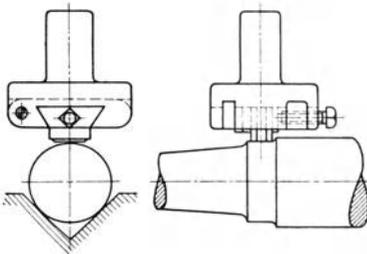


Abb. 133.

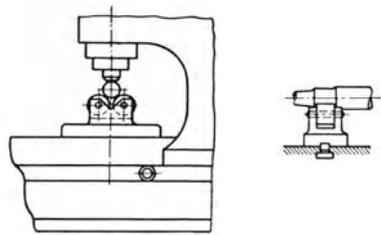


Abb. 134.

Runde Werkstücke, wie Schäfte von Fingerfräsern, müssen auf alle Fälle in Prismen (Abb. 133) oder besser in Rollen (Abb. 134) liegen, damit sie sich leicht um ihre Achse drehen, aber nicht fortrollen können.

Da der Firmastempel immer gleich bleibt, der für das Datum und den Werkstoff dagegen stets wechselt, empfiehlt es sich, die Stempel mehrteilig auszuführen, so daß zu dem festen Firmastempel der wechselnde hinzugesetzt wird. Auch aus wirtschaftlichen Gründen ist das zu empfehlen, weil dann im Falle eines Bruches nicht gleich der ganze Stempel wertlos ist, sondern der Stempel mit ausgebrochenem Buchstaben durch einen neuen ersetzt werden kann. Derartig zusammengesetzte Stempel müssen sehr sorgfältig hergestellt werden — bezüglich der Durchmesser bei Stempelrädern und der Höhe bei flachen Stempeln — damit sie gleichmäßig tief stempeln.

In Gegenständen, für die das Einschlagen oder Eindrücken der Bezeichnung schädlich sein könnte oder aus irgendwelchen technischen Gründen nicht zulässig ist, graviert man die Bezeichnung mit einer Maschine ein. Für Fräser kommt

diese Art Bezeichnung jedoch wenig in Frage, da man sie meist ohne Bedenken in weichem Zustande stempeln kann.

Durch Ätzung. Man verwendet sie hauptsächlich bei dünnwandigen Fräsern nach dem Härten, bei denen sich das Einschlagen oder Eindrücken der Bezeichnung im weichen Zustande verbietet¹.

Durch den elektrischen Strom. Dieser Apparat beruht auf der Erscheinung, daß beim Berühren zweier elektrischer Leiter an den Kontaktstellen Metallteilchen herausgeschmolzen werden. Durch Regelung der Stromstärke kann man die Schrift verschieden tief einbrennen. Der Schriftgriffel kann freihändig oder durch eine Schablone geführt werden.

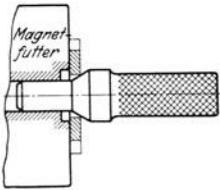


Abb. 135.

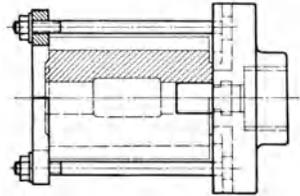


Abb. 136.

Loch- und Nabenschleifen.

Notwendigkeit des Schleifens.

Die Fräser werden nach dem Härten nachgeschliffen: in der Boh-

rung, seitlich und teilweise auch außen. Bei Schaftfräsern schleift man den kegligen oder zylindrischen Schaft. Die Bohrungen werden nach den Beschlüssen des DNA mit Gleitsitz „Feinpassung“ ausgeführt. Da die Abmaße des Gleitsitzes bei Einheitsbohrung und Einheitswelle gleich sind, braucht man aus diesem Grunde bei Bestimmung der Bohrung auf ein bestimmtes Passungssystem keine Rücksicht zu nehmen. Bei Formfräsern kann es notwendig sein, die Bohrung in noch engerer Toleranz zu halten. Es kommt auf die zulässige Gesamt toleranz des aufgespannten Fräasers an.

Die seitlichen Nabenflächen der Fräser müssen zur Bohrung genau laufend und gerade geschliffen werden. Ungenau laufende Nabenflächen ziehen den Fräsdorn beim Festspannen des Fräasers krumm, und schlagende Fräser sind die Folge.

Beim spitzzahnigen Fräser müssen die Zähne außen unbedingt dann rund nachgeschliffen werden, wenn für sie genaue Abmessungen vorgeschrieben sind, wie bei Scheiben- oder Satzfräsern, die an Arbeitsstücken Ansätze mit bestimmten Maßen herstellen sollen. Bei Fräsern für allgemeine Zwecke genügt meist das durch Schärfen der Zähne erreichte Rundlaufen. Bei den hochdrehenden Fräsern mit geringer Zähnezahl erleichtert allerdings das Rundschleifen das Scharfschleifen.

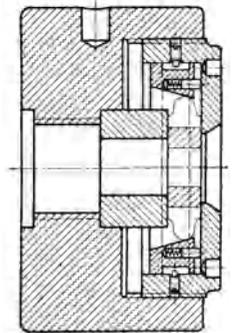


Abb. 137.

Zum Schleifen der Bohrung und der Nabenflächen werden die Fräser, je nach den Einrichtungen des Betriebes, sehr verschieden aufgespannt:

Lochschleifen. An neuzeitlichen Lochschleifmaschinen sind besonders bequeme Ausmitt- und Spannhalter vorhanden, die das langwierige Ausrichten des Werkstückes nach seiner Bohrung überflüssig machen.

An älteren Maschinen kann man den Fräser gegen eine Magnetplatte spannen und mit Hilfe eines Dornes mit kegligem Ansatz, der sich gegen den Rand der Fräserbohrung legt, ausmitten (Abb. 135).

Es empfiehlt sich — besonders bei hinterdrehten Formfräsern — Bohrung und Außendurchmesser nach dem Ausrichten am Futter noch mit der Meßuhr zu prüfen.

¹ Über neuzeitliche Ätzverfahren siehe Wende: Werkst. Techn. 1931 S. 125. — Rieder: Werkst. Techn. 1935 S. 347; ferner Heft 9: Rezepte für die Werkstatt.

Während die Bohrungen der Fräser mit geringen Längen am Magnetfutter in einer Aufspannung ausgeschliffen werden können, muß man die großen Fräser auf der Spannscheibe zweimal aufspannen. Denn erstens reichen die Längen der Schleifspindeln meist für längere Bohrungen nicht aus, und zweitens ist der Führungszapfen, auf den der Fräser aufgesetzt ist (Abb. 136), im Wege. Das zweite Aufspannen macht aber bei Benutzung des Führungszapfens keine Schwierigkeiten: man muß nur den ersten Führungszapfen gegen einen zweiten auswechseln, dessen Durchmesser zu dem Normalmaß der bereits aufgeschliffenen Bohrung paßt. Der Führungszapfen kann leicht kegelig und federnd sein, um die Aufspannung zu erleichtern.

Zentrierfutter ähnlich Abb. 137 verwendet man ebenfalls, allerdings nur für schmalere hinterdrehte Formfräser. Da aber die Aufnahmefähigkeit beschränkt ist, kommen sie nur bei größeren Mengen oder stetig wiederkehrenden, gleich großen oder gleichartigen Fräsern in Frage. Sie geben auch die Möglichkeit, den Fräser nach seiner Profilform zu mitteln und also die Bohrung laufend zum Profil auszuschleifen.

Nabenschleifen. Wenn man die Nabenseitenflächen der Fräser als Anlagefläche für das Schleifen der Bohrung benutzt, so müssen diese vor der Bohrung geschliffen werden. Die Nabenseitenflächen werden meist nach Abb. 138 geschliffen.

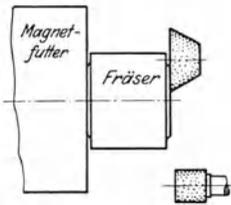


Abb. 138.

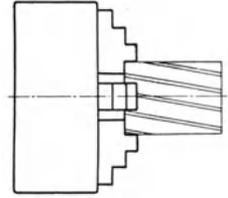


Abb. 139.

Um ein Verspannen des Fräsdornes durch ballige Nabenseitenflächen auf jeden Fall zu verhindern, schleift man die Naben nach der Bohrung zu leicht nach innen geneigt.

In Ermangelung eines Magnetfutters verwendet man ein zentrisch spannendes Dreibackenfutter (Abb. 139) mit weichen Backen.

Beim Lochschleifen — vor allem bei schmalen Fräsern — ist darauf zu achten, daß die Bohrung keine „Vorweite“ erhält, d. h.: die Schleifspindel darf sich nicht über das zulässige Maß abdrücken. Oft läßt man die Schleifscheibe nicht ganz aus der Bohrung herauslaufen, um das Abfedern der Spindel zu umgehen. Da der Fräser genutet ist, muß man härtere Scheiben als bei ungenuteten Bohrungen verwenden. Im Verhältnis zur Bohrung große Scheiben nützen sich zwar weniger rasch ab, da das einzelne Schleifkorn seltener in Tätigkeit tritt als bei kleinen Scheiben; es wird aber auch bei großen Scheiben der Berührungsbogen größer und damit die Gefahr des Brennens. Bei großem Berührungsbogen müßte man weichere Scheiben verwenden, die wiederum den Fräsernuten nicht genügend standhalten. Als erster Anhaltspunkt für die Auswahl der Scheibe kann die Angabe „60 M“ dienen.

Scharfschleifen und Instandhalten der Fräser.

Fräser mit gefrästen Zähnen. Nach dem Härten werden die Fräser zur Erzeugung des richtigen Rücken- oder Freiwinkels scharf geschliffen. Hierzu dienen besondere Werkzeugschleifmaschinen.

Es empfiehlt sich auch, die Zahnbrust (Spanfläche) nach dem Härten zu schleifen, um eine möglichst schartenfreie Schneide und eine glatte Fläche für die Späne zu erzielen. Während man beim Drehstahl alle die Schneide bildenden Flächen schleift, meint man, bei dem viel teureren Fräser mit geringerer Sorgfalt auskommen zu können.

Die Scharfschleiferei wird in den meisten Betrieben immer noch am stiefmütterlichsten behandelt. Wie oft wird gegen den Grundsatz: „Oft schärfen“,

den manche Werkzeugfabriken sogar ihren Schneidwerkzeugen aufstempeln, gesündigt! Es ist viel wirtschaftlicher, häufiger zu schleifen und dabei nur wenig Werkstoff von den Schneiden abzunehmen als umgekehrt: selten zu schärfen und dann starke Schleifspäne zu nehmen. Im ersten Fall kann man mit Trockenschliff auskommen, ohne Gefahr zu laufen, daß die Werkzeugschneide ausglüht.

Die zweite Bedingung für einen ordnungsmäßigen Scharfschliff ist die Einhaltung richtiger Schneidenwinkel (siehe S. 12). Da ein guter Fräser schon bei der Herstellung an der Zahnbrust geschliffen sein soll, wird er meist nur am Rücken nachgeschärft. Es sollte selbstverständlich sein, daß bei einem oft nachgeschärften Fräser die Breite der Rückenfläche ein bestimmtes Maß nicht überschreiten darf (etwa 4 mm), und man also den gesamten Zahnrücken entsprechend nachschleifen muß. Bei zu kleinem Rückenwinkel drückt der Fräser und unsaubere Flächen, erhöhte Schnittkräfte und damit Dorndurchbiegungen sind die Folge. Bei zu großem Freiwinkel bröckelt die Schneide zu leicht aus. Die Freiwinkel sind um so größer zu wählen, je stärker der Zahndrall und je höher die Vorschubgeschwindigkeit ist, da sonst die Fräser ebenfalls drücken. Die Erklärung für diese Erscheinung ist in der Relativbewegung zwischen verhältnismäßig langsam durch den Werkstoff ziehenden schrägen Schneiden und rascher Vorschubbewegung des Werkstückes zu suchen. Die Winkel sind in ihrer Wirkungsebene, d. h. rechtwinklig zur Schneidkante zu messen.

Ein anderer Fehler stellt sich ein, wenn man die Zahnbrust mit zu großer Scheibe schleift. Die Schleifscheibe muß so klein gewählt und so eingestellt werden, daß sie beim Verlassen des Zahnes nicht nachschneidet und den richtigen Spanwinkel zerstört. Hierzu verwendet man die keglige Seite einer Scheibe nach DIN 182. Um wirklich eine gerade Zahnbrust zu erzeugen, empfiehlt es sich, die Scheibe nicht freihändig abzuziehen — dies führt fast immer zu balligen Flächen — sondern mit Hilfe eines Diamanten (Abb. 140). Bei sehr großen Drallwinkeln muß die Scheibe ein krummliniges Profil haben, um sich freizuschneiden. Das richtige Profil kann nur mit Hilfe einer Vorrichtung erzeugt werden.

Nach dem Scharfschleifen ist zu prüfen, ob der Fräser rundläuft. Für genaue Arbeiten schleift man deshalb den Fräser auf seinem Dorn aufgespannt, doch wird man im allgemeinen einen Schlag von 0,05 mm (Fräser- und Dorndschlag) als zulässig bezeichnen.

Das Schleifen mit Topfscheiben ist vorzuziehen, weil beim Schleifen mit Tellerscheibe eine hohle Fase entsteht. Verwendet man Flachscheiben zum Scharfschleifen, so empfiehlt es sich, sie ziemlich schmal zu wählen, damit die an der Schleifstelle entstehende Erhitzung und die Gefahr des Ausglühens der Schneidkanten verringert wird.

Der Freiwinkel wird dadurch eingestellt, daß der Tisch der Werkzeugschleifmaschine um einen gewissen Betrag gesenkt bzw. gehoben wird (siehe Abb. 141).

Die Führungszunge soll so breit sein, daß der Zahn noch abgestützt wird, wenn ihn die Schleifscheibe schon verlassen hat. Die Führungszunge soll sich beim Schleifen nicht abbiegen und sich in der Zahnnut nicht klemmen. Auf die

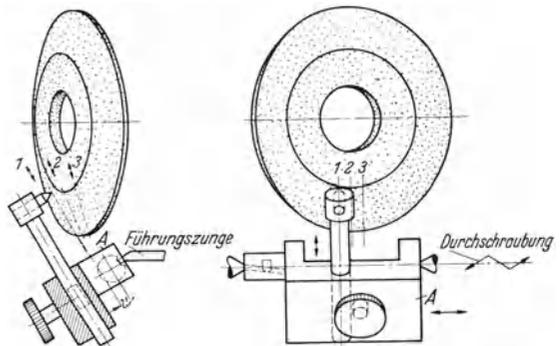


Abb. 140. Vorrichtung zum Abdecken von Schleifscheiben (nach Loewe-Notizen 1934). A=Halter.

Ausbildung geeigneter Stützfinger ist vor allem beim Schleifen der hochdralligen Fräser zu achten. Es soll möglichst der Zahn abgestützt werden, der geschliffen wird.

Mit Rücksicht auf das Rundlaufen nach dem Schliff sollte man Fräser mit gefrästen Zähnen nie mit Hilfe einer Teilscheibe, sondern stets mit der Zahnauflage schleifen. Denn bei kaum einem Fräser kann infolge des beim Härten unvermeidlichen Verziehens die Zahnteilung noch mit der Teilung einer Teilscheibe übereinstimmen. Verbindet man also einen Fräser durch Aufstecken auf einen Dorn fest mit einer Teilscheibe, so werden die verschiedenen Zähne beim Teilen nicht immer die gleiche Lage zur Schleifscheibe erhalten, d. h. einzelne Zähne werden in bezug auf Rundlauf und auf die Winkel an der Schneide verschliffen, oder aber es müßten sämtliche Zahnflächen, der gekrümmte Zahnrückens und die Zahnbrust, nachgeschliffen werden, was die Fräser sehr verteuerte.

Der dritte Gesichtspunkt beim Scharfschleifen ist die Ausbildung der Schneide. Saubere Flächen und lange Standzeiten können nur mit glatten, scharfenfreien Flächen erhalten werden. Die Drehrichtung der Schleifscheiben soll stets der Zahnbrust entgegengerichtet sein, um jede Gratbildung an der Schneide zu verhindern.

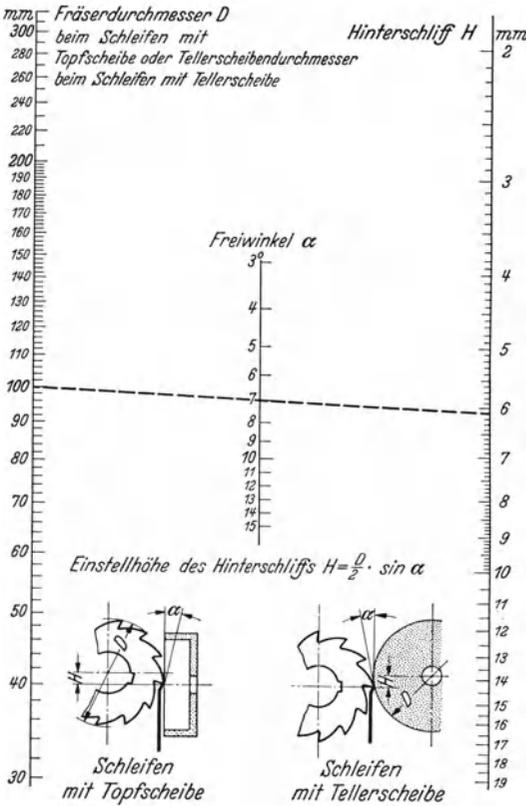


Abb. 141. Reihentafel für die Einstellung der Schleifscheibe beim Schleifen des Freiwinkels.

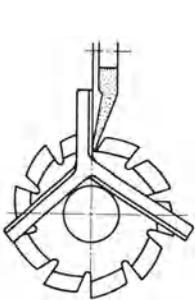


Abb. 142.

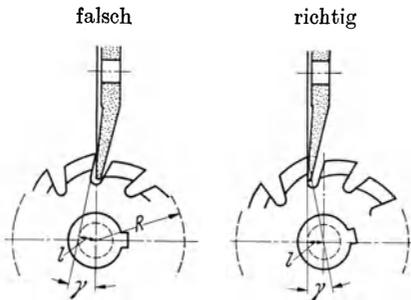


Abb. 143.

War man gezwungen, mit einer grobkörnigen Scheibe viel Stoff abzunehmen, so ist mit einer feineren Scheibe bei kleinem, gleichmäßigen Vorschub fertig zu schleifen, was eine gewisse Übung erfordert. Für besondere Ansprüche empfiehlt sich, nach dem Schliff die Schneide mit dem Ölstein abziehen. Man verwendet für den Vorschliff Scheiben 46 L, 50 K, für den Fertigschliff 60 K bis 60 M.

Der gute Zustand der Schneide ist bei Hartmetallschneiden in erhöhtem

Maße Voraussetzung für die Schneidleistung¹. Praktisch kommen diese meist an Messerköpfen vor. Der maschinelle Schliff auf besonderen Messerkopf-Schleifmaschinen erfordert einiges Gefühl, da bei zu starker Zustellung der Scheibe die Schneide leicht verdorben wird. Es sind verschiedene Scheiben für den Schaft und die eigentliche Hartmetallschneide zu verwenden. An diese ist nach dem Schliff eine kleine Fase (bis 0,2 mm) maschinell oder von Hand anzuläppen, da Hartmetall nur bei risse- und schartenfreier Schneide seine überlegene Standzeit erreicht, sonst aber Schnellstahl unterlegen sein kann.

Hinterdrehte Fräser. Hinterdrehte Fräser werden nur an der Brust (Spanfläche) scharf geschliffen. Hierbei muß der Spanwinkel, der bei der Fräserherstellung zugrunde lag, genau erhalten bleiben, d. h.: die Schleifscheibe muß nach der Zahnbrust ausgerichtet werden. Bei radial stehenden Zähnen ($\gamma = 0^\circ$) geschieht dies mit Hilfe der in Abb. 142 dargestellten Lehre, bei Fräsern mit Spanwinkeln über 0° , also mit nicht radial stehenden Zähnen, mit Hilfe einer entsprechenden Lehre. Der Fräser muß hierbei um den Betrag $l = R \cdot \sin \gamma$ aus der Mitte ge-

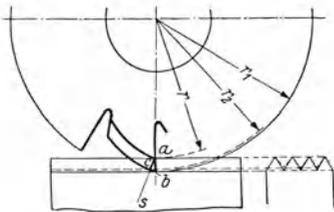


Abb. 144.

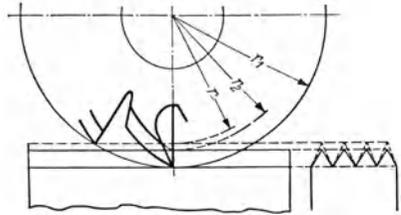


Abb. 145.

rückt werden (Abb. 143). Wird die Schleifscheibe unsorgfältig eingestellt, so tritt eine Profilverzerrung beim Fräsen ein, die sich besonders bei Gewindefräsern unangenehm bemerkbar macht (Abb. 144 und 145).

Schleift man nämlich die Zahnbrust so, daß sie nach hinten geneigt ist (in Abb. 144 der Deutlichkeit halber übertrieben dargestellt), dann wird das Gewindeprofil zu flach. Diese Veränderung entsteht dadurch, daß der Abstand r , also der von der Fräserachse bis zu der von der Schnittkante a am Arbeitsstück erzeugten Arbeitsfläche unverändert bleibt, während sich der Abstand r_1 mit der Schneidkante b in r_2 mit der Schnittkante s verändert. Wird die Zahnbrust unter sich geschliffen, wie in Abb. 145 übertrieben gezeichnet, dann vergrößert sich das Gewindeprofil, wie aus der Figur zu erkennen ist.

Die Verwindung einer Teilscheibe ist auch beim Schleifen hinterdrehter Fräser mit Rücksicht auf das Rundlaufen verwerflich, wobei aber etwas andere Gründe als beim spitzzahnigen Fräser maßgebend sind: Durch das Härten verzieht sich der Fräser; er wird im ganzen unrund; die einzelnen Hinterdrehungen nehmen verschiedene Lagen zur Fräserachse ein. Diese ungleichmäßige Lage der Hinterdrehungen kann man überhaupt nicht beseitigen, denn es ist nicht möglich, etwa beim Fertigschleifen nach dem Härten die Fräserbohrungen nach den Hinterdrehungen auszurichten, weil hierzu jeder Anhalt fehlt. Wollte man das Profil hinterschleifen, so würde der Fräser sehr verteuert, abgesehen davon, daß dies in einzelnen Fällen überhaupt nicht möglich ist. Zum Rundlaufen kann man den Fräser überhaupt nur dadurch bringen, daß man die höherstehenden Zähne solange an der Brust nachschleift, bis die Schneidkanten aller Zähne wieder auf einem zur Bohrungssachse mittigen Kreise liegen. Dabei muß natürlich die Teilung

¹ Näheres s. Heft 62 „Hartmetall in der Werkstatt“.

ungleich werden, wodurch der Fräser in seiner Leistung jedoch nicht im mindesten beeinträchtigt wird. Daraus folgt, daß für das Rundlaufen nicht die genaue Zahnteilung, sondern die genaue Zahnhöhe von Bedeutung ist. In dieser Erkenntnis schleift man bei der Herstellung Fräser mit hinterdrehten Zähnen ohne Rücksicht auf die Zahnteilung solange an der Zahnbrust nach, bis die Meßuhr an allen Zähnen des Fräasers den gleichen Ausschlag gibt.

Um das Nachschleifen zu erleichtern, kann man die hinterdrehten Fräser, nachdem sie rundlaufen, auf genau gleiche Zahndicke schleifen; d. h. der Rücken der Schneidnute stimmt nunmehr zur dazugehörigen Hinterdrehkurve ebenso genau, wie die nach der Meßuhr geschliffene Zahnbrust und kann ohne weiteres als Auflage für die Zahnstütze dienen. Es ist dann natürlich darauf zu achten, daß der Zahnrücken nicht durch zu starke Schleifscheiben beschädigt wird. Sind die Zahnrücken nicht in dieser Weise hergerichtet, so lassen sich Zahnstützen wegen der möglichen Teilungsfehler kaum anwenden. Geübte Scharfschleifer verzichten manchmal auf jede Führung und benutzen lediglich die Schleifscheibe selbst als Anlage beim Durchschleifen durch die Zahnücke.

Aus den oben genannten Gründen ist es auch nicht ratsam, hinterdrehte Fräser mit spiraligen Nuten mit Hilfe von Führungsbüchsen oder Führungszapfen zu schleifen, in deren Nuten die Führungszunge eingreifen kann, es sei denn, man schleift diese Führungsnuten in Übereinstimmung mit den Fräsernuten, die durch Härteverzug und mit Rücksicht auf den Rundlauf (siehe oben) meist ungleich geteilt sind. Dies verbietet sich jedoch meist durch die entstehenden hohen Kosten.

Besondere Sorgfalt muß beim Scharfschleifen von Wälzfräsern für die Herstellung von Verzahnungen verwendet werden, da hierbei Rundlauffehler zwar nicht die Teilung des Werkstückes, wohl aber die richtige Zahnform beeinflussen. An den Flanken ungeschliffene Wälzfräser schleift man ebenfalls auf genauen Rundlauf (siehe oben), der auch dadurch erreicht werden kann, daß man die Koppkanten des Fräser auf einer Rundschleifmaschine leicht „anschlägt“ und solange die Zahnbrust nachschleift, bis die Fasen an allen Zähnen gleichmäßig verschwinden. Der Winkel der Schnittspirale ist hierbei genau einzuhalten. In den Flanken geschliffene Fräser kann man auch auf genaue Spiralteilung mit Hilfe einer Teilscheibe schleifen. Das oben Gesagte ist auch hinsichtlich des Abziehens der Schleifscheibe zu beachten. Einzelheiten lese man im Schrifttum nach¹.

VI. Fräser und Fräsmaschine.

Auf die Wechselwirkung von Werkzeug und Werkzeugmaschine ist oft hingewiesen worden. Befriedigende Arbeit hängt immer von der Einheit Bedienungsmann-Maschine-Werkzeug ab. Alle drei Einflußgrößen müssen aufeinander abgestimmt sein. Bei Schwierigkeiten hat es meist keinen Sinn, den Fehler nur bei einer dieser Größen zu suchen. Deshalb sollen, nachdem in den vorstehenden Kapiteln soviel vom Fräserwerkzeug die Rede war, hier einige Hinweise auf den Zusammenhang zwischen Werkzeug und Maschine gegeben werden.

Aus der „Standard-Fräsmaschine“ des Jahres 1907 (Abb. 146) entwickelte sich die neuzeitliche „Hochleistungsmaschine“ (Abb. 147) mit vielstufigem, gegebenen-

¹ Vgl. Jackowsky: Beeinflussung der Laufeigenschaften von Zahnrädern durch das Scharfschleifen des Abwälzfräasers. Werkst.-Techn. 1933 S. 351. — Werkst.-Techn. 1934 S. 225. — Budnik: Genaue Zahnradabwälzfräser. — Masch.-Bau 1934 S. 73. — Pfauter: Wälzfräsern. — Stock-Fräser-Handbuch.

falls bis zur Stufenlosigkeit schaltbarem Getriebe, etwa dem 5fach stärkeren Antriebsmotor bei nahezu gleichen Tischabmessungen, den Schnellbewegungen des Tisches. Diese außerordentlich leicht umstellbare, allgemein verwendbare Maschine ist freilich nur dort wirtschaftlich, wo von dieser Umstellbarkeit sehr oft Gebrauch gemacht wird. Sie erfordert zu ihrer Wartung und letzten Ausnutzung denkende Fachleute und nicht Handlanger. Die Zahl solcher Menschen ist freilich nicht sehr groß, weshalb man nach Maschinenarten gesucht hat, die nicht nur dem hochentwickelten Maschinenbau mit vorwiegend Einzel- oder Kleinreihenfertigung, sondern auch der Massenfertigung gerecht wurden. Daraus sind die Einzweck- oder Mehrzweckmaschinen (Abb. 148) entstanden, die zwar über dieselbe Starrheit und genaue Ausführung wie ihre Schwester verfügen, aber auf das teure, hier unausgenützte Getriebe verzichten und ihre Tischschaltung dem einen gegebenen Verwendungszweck anpassen. Daß die Verwendung von Hartmetallwerkzeugen und die Bearbeitung des Leichtmetalls als Werkstoff hinsichtlich der Drehzahlen, der Schwingungsfestigkeit und der Schutzvorrichtungen besondere Anforderungen an die Fräsmaschine stellt, ist zu betonen. So mag auch die Frage, ob für jede Arbeit die richtige Maschinenart gewählt wurde, überflüssig erscheinen. Keineswegs ist ihre Beantwortung immer selbstverständlich. Häufig können verschiedene Gesichtspunkte hierbei

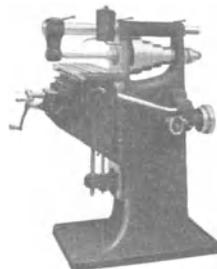


Abb. 146. Standard-Fräsmaschine von 1907.

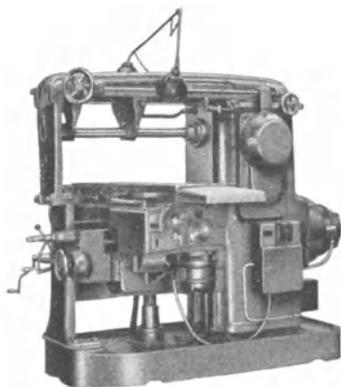


Abb. 147. Neuzeitliche Hochleistungs-Fräsmaschine.

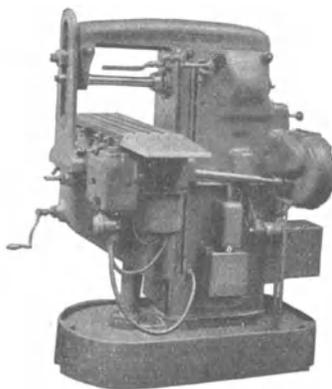


Abb. 148. Neuzeitliche Mehrzweck-Fräsmaschine.

sich widersprechen: z. B. die Forderung nach gutem Späneabfluß und die Möglichkeit guter Sicht bei Gesenkarbeiten können Waagrecht- oder Senkrechtfräsmaschine als vorteilhaft erscheinen lassen.

Beste Aufspannmöglichkeit, Lage der Arbeitsfläche zur Aufspanfläche, Wahl der Fräserart (Stirn- oder Walzenfräser) bestimmen ebenfalls die Art der Maschine. Weiter ist zu fragen, ob die Maschine stark genug ist (Leistungsberechnung s. S. 9), ob sie geeignete Drehzahlen und Vorschübe (Hartmetallwerkzeuge!) besitzt. Nicht umsonst empfiehlt eine große Fräsmaschinenfabrik ihren Kunden die sorgfältige Prüfung folgender Fragen:

Die Maschine betreffend: Ist der Spindelkegel sauber und unbeschädigt, laufen Fräs- und Tischspindel mit dem richtigen geringen Spiel? Ist die Schlittenführung richtig eingestellt? (Meist ist sie zu lose.) Ist die Längslagerung der Frässpindel in Ordnung; arbeitet die Kühlwasserzuführung?

Die Einstellung betreffend: Ist die Maschine für die Arbeit richtig vorbereitet? Sind die Klemmungen am Konsol und am Querschlitten bzw. am Spindelkasten gut festgezogen? Ist der Gegenhalter festgeklemmt, ist die Gegenhalterstütze aufgesetzt und gut befestigt? Sind die Tischanschläge richtig gesetzt und gut befestigt?

Das Werkzeug betreffend: Ist das richtige Werkzeug gewählt? [Z. B. sind Schaftfräser vorzugsweise für Arbeiten nach Abb. 149 zu verwenden, nicht dagegen zur Herstellung nutenartiger Ausfräsungen, Schlitze usw. nach Abb. 150. Hierfür sind Langlochfräser mit

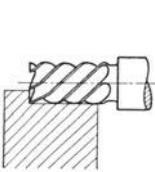


Abb. 149.

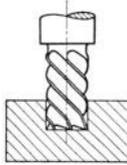


Abb. 150.

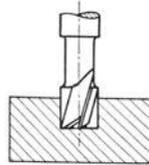


Abb. 151.

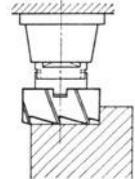


Abb. 152.

wenigen kräftigen, kurzen Schneiden besser geeignet (Abb. 151). Ebenso empfiehlt es sich, für größere Leistung bei Stirnarbeit statt des verhältnismäßig schwachen Schaftfräasers den gedrungeneren, widerstandsfähigeren Walzenstirnfräser (Abb. 152) bzw. den Messerkopf zu verwenden.] Hat das Werkzeug richtige Schnittwinkel? Sind die Schneiden nicht schartig, stumpf oder durch falsches Schleifen ausgeglüht? Schlägt der Fräser?

Werkzeugaufspannung betreffend: Ist der Fräsdorn unbeschädigt und stark genug? Sind die Stirnflächen der Fräsdornringe, der Spannmutter und des Fräasers planparallel und rechtwinklig zur Drehachse? Liegen die Nuten im Fräser und in den Ringen und die Feder im Dorn parallel zur Achse? (Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, so wird der Fräsdorn beim Anziehen der Dornmutter verspannt.)

Werkstück und Fertigung betreffend: Ist das Werkstück für die Bearbeitung richtig konstruiert? (Aufspannmöglichkeit.) Ist es richtig aufgespannt? Sind die Schnittbedingungen richtig gewählt? Kann die Fertigungszeit gekürzt und die Arbeitsgenauigkeit durch Verwendung geeigneter Vorrichtungen gesteigert werden?

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER

Bisher sind erschienen (Fortsetzung):

- Heft 32: Die Brennstoffe.**
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 33: Der Vorrichtungsbau.**
1. Teil: Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 34: Werkstoffprüfung. (Metalle). 2. Aufl.**
Von Prof. Dr.-Ing. P. Riebensahm.
- Heft 35: Der Vorrichtungsbau. 2. Teil:**
Typische Einzelvorrichtungen. Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen. Kritische Vergleiche. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 36: Das Einrichten von Halbautomaten.**
Von J. van Himbergen, A. Bleckmann, A. Waßmuth.
- Heft 37: Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei.**
Von Fr. und Fe. Brobeck.
- Heft 38: Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau.**
Von Ing. Arno Dorl.
- Heft 39: Die Herstellung roher Schrauben.**
1. Teil: Anstauchen der Köpfe.
Von Ing. Jos. Berger.
- Heft 40: Das Sägen der Metalle.**
Von Dipl.-Ing. H. Hollaender.
- Heft 41: Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle).**
Von Dr.-Ing. A. Peter.
- Heft 42: Der Vorrichtungsbau. 3. Teil:**
Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen.
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 43: Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl.**
(7.—12. Tausend.) Von Dipl.-Ing. Ernst Kloss.
- Heft 44: Stanztechnik. 1. Teil: Schnitttechnik.**
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 45: Nichteisenmetalle. 1. Teil: Kupfer Messing, Bronze, Rotguß.**
Von Dr.-Ing. R. Hinzmann.
- Heft 46: Fellern.**
Von Dr.-Ing. Bertold Buxbaum.
- Heft 47: Zahnräder.**
1. Teil: Aufzeichnen und Berechnen.
Von Dr.-Ing. Georg Karrass.
- Heft 48: Öl im Betrieb.**
Von Dr.-Ing. Karl Krekeler.
- Heft 49: Farbspritzen.**
Von Obering. Rud. Klose.
- Heft 50: Die Werkzeugstähle.**
Von Ing.-Chem. Hugo Herbers.
- Heft 51: Spannen im Maschinenbau.**
Von Ing. A. Klautke.
- Heft 52: Technisches Rechnen.**
Von Dr. phil. V. Happach.
- Heft 53: Nichteisenmetalle. 2. Teil: Leichtmetalle.**
Von Dr.-Ing. R. Hinzmann.
- Heft 54: Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine.**
Von Dipl.-Ing. Otto Weidling.
- Heft 55: Die Getriebe der Werkzeugmaschinen. 1. Teil: Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen.**
Von Dipl.-Ing. Hans Rögnitz.
- Heft 56: Freiformschmiede.**
3. Teil: Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede. 2. Aufl. (7.—12. Tausend.)
Von H. Stott.
- Heft 57: Stanztechnik.**
2. Teil: Die Bauteile des Schnittes.
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 58: Gesenkschmiede. 2. Teil: Einrichtung und Betrieb der Gesenkschmieden.**
Von Ing. H. Kaessberg.
- Heft 59: Erscheint später.**
- Heft 60: Stanztechnik. 4. Teil: Formstanzen.**
Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
- Heft 61: Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe.**
Von Dr.-Ing. habil. K. Krekeler VDI.

In Vorbereitung bzw. unter der Presse befinden sich:

- Hartmetall in der Werkstatt.** Von Ing. F. W. Leier.
- Messen und Tolerieren von Gewinden.** Von Ing. Karl Kress.
- Stanztechnik III.** Von Dipl.-Ing. E. Krabbe.
- Gesenkschmiede III.** Von Ing. H. Kaessberg.
- Grundzüge der Metallographie.** Von Dr.-Ing. O. Mies.
- Baustähle.** Von Dr.-Ing. K. Krekeler.
- Elektromotoren für Werkzeugmaschinen II.** Von Ing. K. Maecker.