

WERKSTATTBÜCHER

HERAUSGEBER H.HAAKE

HEFT 22

E. BRÖDNER

FRÄSER

DRITTE AUFLAGE



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. H. HAAKE VDI

Jedes Heft 50—70 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen
Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1981 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)
Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50

Die Werkstattbücher behandeln das Gesamtgebiet der Werkstattstechnik 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 vorwärtstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können. Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten

I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren

	Heft
Das Gußeisen. 2. Aufl. Von Chr. Gilles	19
Einwandfreier Formguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	30
Stahl- und Temperguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	24
Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Von K. Krekeler	75
Die Werkzeugstähle. Von H. Herbers	50
Nichteisenmetalle I (Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	45
Nichteisenmetalle II (Leichtmetalle). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	53
Härten und Vergüten des Stahles. 4. Aufl. Von H. Herbers	7
Die Praxis der Warmbehandlung des Stahles. 5. Aufl. Von P. Klostermann. (Im Druck)	8
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Brennhärten. Von H. W. Grönegreß	89
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. 2. Aufl. Von K. Krekeler. (Im Druck)	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 4. Aufl. Von F. Spitzer	9
Furniere — Sperrholz — Schichtholz I. Von J. Bittner	76
Furniere — Sperrholz — Schichtholz II. Von L. Klotz	77

II. Spangebende Formung

Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe. 2. Aufl. Von K. Krekeler. (Im Druck)	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 3. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselrädereberechnung für Drehbänke. 5. Aufl. Von E. Mayer. (Im Druck)	4
Bohren. 3. Aufl. Von J. Dinnebier. (Im Druck)	15
Senken und Reiben. 3. Aufl. Von J. Dinnebier. (Im Druck)	16
Innenräumen. 2. Aufl. Von L. Knoll	26
Außenräumen. Von A. Schatz	80
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 3. Aufl. Von E. Brödner	22
Das Fräsen. Von Dipl.-Ing. H. H. Klein	88
Das Einrichten von Automaten I (Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe). Von K. Sachse. (Vergriffen)	21
Das Einrichten von Automaten II (Die Automaten System Gridley [Einspindel] und Cleveland und die Offenbacher Automaten). Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil	23
Das Einrichten von Automaten III (Die Mehrspindel-Automaten, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe). Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil	27
Das Einrichten von Halbautomaten. Von J. v. Himbergen, A. Bleckmann, A. Wassmuth	36
Die wirtschaftliche Verwendung von Einspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	81
Die wirtschaftliche Verwendung von Mehrspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	71
Werkzeugeinrichtungen auf Einspindelautomaten. Von F. Petzoldt	83
Maschinen und Werkzeuge für die spangebende Holzbearbeitung. Von H. Wichmann	78

III. Spanlose Formung

Freiformschmiede I (Grundlagen, Werkstoff der Schmiede, Technologie des Schmiedens). 2. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt	11
Freiformschmiede II (Schmiedebispiele). 2. Aufl. Von B. Preuss und A. Stodt	12
Freiformschmiede III (Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede). 2. Aufl. Von A. Stodt	56

(Fortsetzung 3. Umschlagseite)

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Grundlagen für Form und Aufbau der Fräser	3
A. Die Zerspanungsgesetze	3
1. Zerspanbarkeit eines Werkstoffs S. 3. — 2. Wirtschaftliche Zerspanung S. 4. — 3. Spanbildung, Schneidenansatz, Oberflächengüte S. 4	
B. Die Schnittkräfte	6
4. Bezogene Schnittkraft S. 6. — 5. Zerlegung und Zusammensetzung S. 6. — 6. Bedeutung der Schnittkräfte S. 7. — 7. Schnitt- und Antriebsleistung S. 8.	
C. Die Schnittbedingungen	9
8. Schnittbreite und Schnitttiefe S. 10. — 9. Schnittgeschwindigkeit und Vorschub S. 10.	
D. Einflüsse auf die Gestaltung des Fräasers	11
10. Die Winkel an der Schneide des Fräserzahns S. 11. — 11. Durchmesser und Zähnezahzahl S. 13. — 12. Zahnneigung S. 14. — 13. Spanbrechernuten S. 16.	
II. Die Gestaltung der Fräser	17
A. Fräser mit gefrästen Zähnen	17
14. Normung S. 17. — 15. Fräserwahl S. 17. — 16. Zähnezahzahl S. 20. — 17. Schnitt- richtung der Fräser S. 20. — 18. Zahnform S. 20.	
B. Hinterdrehte Fräser	20
19. Verwendung S. 20. — 20. Durchmesser, Zahnücke, Zähnezahzahl S. 20. — 21. Zähne mit positivem Spanwinkel S. 21. — 22. Spiralzähne S. 21. — 23. Die Hinterdrehkurve (Krümmung, Kurvenfall, Hinterdrehwinkel, Profilform, Schräg- hinterdrehen) S. 21. — 24. Wälzfräser für Stirnräder S. 27. — 25. Wälzfräser für Schraubenräder S. 28. — 26. Wälzfräser für Schneckenräder S. 28. — 27. Wälz- fräser für Kettenräder S. 29. — 28. Wälzfräser für Keilwellen S. 29. — 29. Wälz- fräser für Sperräder, Kreissägen usw. S. 31.	
C. Zusammengesetzte Fräser	31
30. Zusammengesetzte Einzelfräser S. 31. — 31. Fräsersätze S. 33.	
III. Aufspannelemente für Fräser und Fräsermitnahmen	34
32. Fräser mit Bohrung S. 34. — 33. Schaftfräser S. 36.	
IV. Herstellung der Fräser	37
A. Werkstoff und Härtung	37
34. Werkstoffauswahl S. 37. — 35. Härtung S. 38.	
B. Die spangebende Bearbeitung	39
36. Abstechen und Mitten S. 39 (a) Abstechen S. 39; b) Ausmitten [Zentrieren] S. 40). — 37. Bohren S. 40. — 38. Drehen S. 40 (a) Drehdorne S. 40; b) Kopier- drehen S. 40; c) Drehen mit Formstahl S. 42). — 39. Nuten S. 43 (a) Lage und Form S. 43; b) Prüfung S. 43; c) Arten des Nutens S. 43; d) Schleif- und Fräsnut S. 44). — 40. Fräsen der Zähne S. 45 (a) Aufnahme S. 45; b) Fräsen vielzahniger Fräser S. 45; c) Fräsen grobgezahnter Fräser S. 45; d) Fräser, deren Zahngrund keine geraden Linien sind S. 46; e) Einstellung des Teilkopfes S. 47). — 41. Her- stellung hinterdrehter Fräser S. 48 (a) Vorarbeiten zum Hinterdrehen S. 48; b) Arten des Hinterdrehens S. 48; c) Hinterdrehen der Schaftfräser S. 51; d) Hilfswerkzeuge S. 51; e) Die Herstellung der Hinterdrehstähle S. 53). — 42. Bezeichnen S. 55 (a) Kennzeichen S. 55; b) Stempeln von Hand S. 55; c) Be- zeichnungs- oder Graviermaschine S. 55; d) Ätzung S. 56; e) Elektrische Bezeich- nung S. 56). — 43. Loch- und Nabenschleifen S. 56 (a) Notwendigkeit des Schleifens S. 56; b) Lochschleifen S. 57; c) Nabenschleifen S. 57). — 44. Scharf- schleifen und Instandhalten der Fräser S. 58 (a) Fräser mit gefrästen Zähnen S. 58; b) Hinterdrehte Fräser S. 60).	
V. Fräser und Fräsmaschine	62

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

I. Grundlagen für Form und Aufbau der Fräser¹.

A. Die Zerspanungsgesetze.

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 Richtpunkte festlegen kann, also kein Zaubermittel für den Erfolg darstellt.

Nachdem, auf den Versuchen TAYLORS aufbauend, in den letzten 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.

1. 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 Gefügebauaufbaues. 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/mm^2 Zerreißfestigkeit viel besser fräsen als etwa ein schwach legierter Werkzeugstahl von nur 70 kg/mm^2 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 Gefügebau (der bei fast gleicher Festigkeit ganz verschieden sein kann),
- von seiner Wärmebehandlung bei der Entstehung und der Weiterverarbeitung,
- von seinem Verschmiedungsgrad

¹ Die erste Auflage dieses Heftes ist 1925 erschienen, die zweite Auflage 1937. Mitarbeiter an den ersten beiden Auflagen war Ing. P. ZIETING.

und schließlich von den äußeren Arbeitsbedingungen, wie Werkstückform, Einspannung, Kühlmittel, Zustand von Maschine und Werkzeug und verlangter Oberflächengüte.

2. 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 lehrerhaltigen 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.

Wirtschaftlich fräsen heißt: Eine gegebene Spanmenge am Werkstück möglichst schnell, mit genügend sauberer Oberfläche, mit möglichst geringer Antriebsleistung bei möglichst großer Standzeit des Fräasers abtrennen. Durch fräsgerechte Konstruktion des Werkstücks muß freilich schon im technischen Büro die Voraussetzung für ein wirtschaftliches Fräsen geschaffen werden.

3. 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 Spanwinkels (Brustwinkels) γ der Schneide ab (Abb. 1). 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 (Abschn. 10).

Ein großer Keilwinkel (Meißelwinkel) β , der einen kleinen Spanwinkel γ zur 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 (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. Die Spanbildung beim geradzahnigen und beim schrägverzahnigen Fräser zeigen die Abb. 3 u. 4. Mittlere Temperatur und Temperaturschwankung nehmen erheblich mit wachsendem γ ab, gemäß folgender Zusammenstellung:

Schneidentemperatur in Abhängigkeit vom Spanwinkel.

Spanwinkel γ°	Mittlere Temperatur $^\circ\text{C}^*$	Temperatur- schwankung $^\circ\text{C}^*$
0	580	140
15	418	58
35	218	17

* Werte, die bei Schnittversuchen gemessen wurden.

¹ 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.

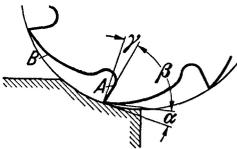
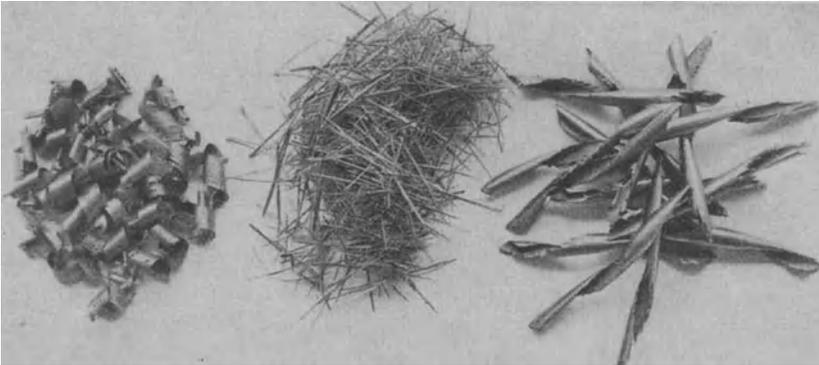


Abb. 1. Die Winkel an der Fräferschneide.

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.



Fließspäne eines Stirnfräasers.

Quetschspäne eines Walzenfräasers.

Fließspäne

Abb. 2. Frässpäne.

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,

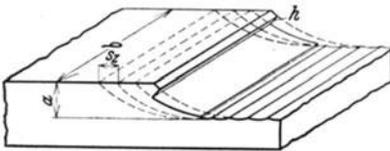


Abb. 3.

Spanbildung beim geradzahnigen und schräg verzahnten Walzenfräser.

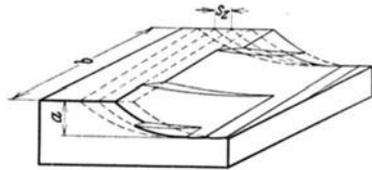


Abb. 4.

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.

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

B. Die Schnittkräfte.

4. 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 gleichbleibt, 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.

5. 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:

am Werkstück: in Vorschub- oder Waagrechtkraft W , Senkrechtkraft S und Achskraft A (nur beim schrägverzahnten Fräser);

am Fräser: in Umfangskraft U , Mittenkraft (Radikalkraft) M und Achskraft A (nur beim schrägverzahnten Fräser).

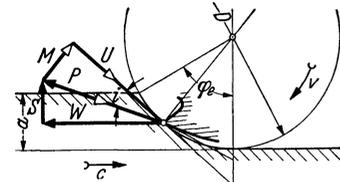


Abb. 5. Schnittkräftezerlegung am geradzahnigen Walzenfräser.

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: Stock-Z. 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: $U = M_d : D/2 = 2M_d/D$ 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 .

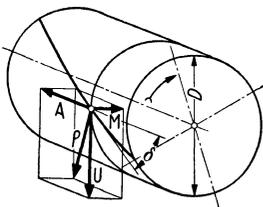


Abb. 6. Schnittkräftezerlegung am schrägverzahnten Walzenfräser.

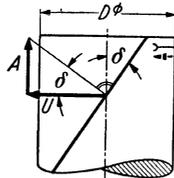


Abb. 7.

Weniger einfach ist die Zerlegung und Zusammensetzung der Kräfte beim Fräser mit geneigten (Spiral-) Zähnen: einmal liegen nicht alle Kräfte in einer Ebene (Abb. 6 u. 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. 6 oder rechnerisch aus der Gleichung $A = U \cdot \operatorname{tg} \delta$.

A kann aber auch unmittelbar gemessen werden.

6. Bedeutung der Schnittkräfte. Alle Schnittkräfte schwanken während der Arbeit mehr oder weniger (Abschn. 12). 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

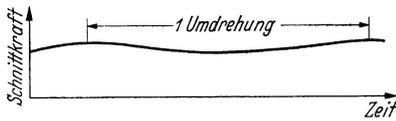


Abb. 8. Schnittkraftschwankungen infolge des Fräterschlags.

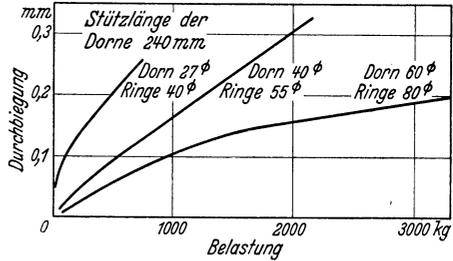


Abb. 9. Fräsdorndurchbiegung. (Nach BAHLECKE.)

den Fräser auf dem Dorn und den Dorn in der Spindel zu drehen — was durch Reibung, Federkeile oder andere „positive“ Mitnahmen verhindert wird. Außer-

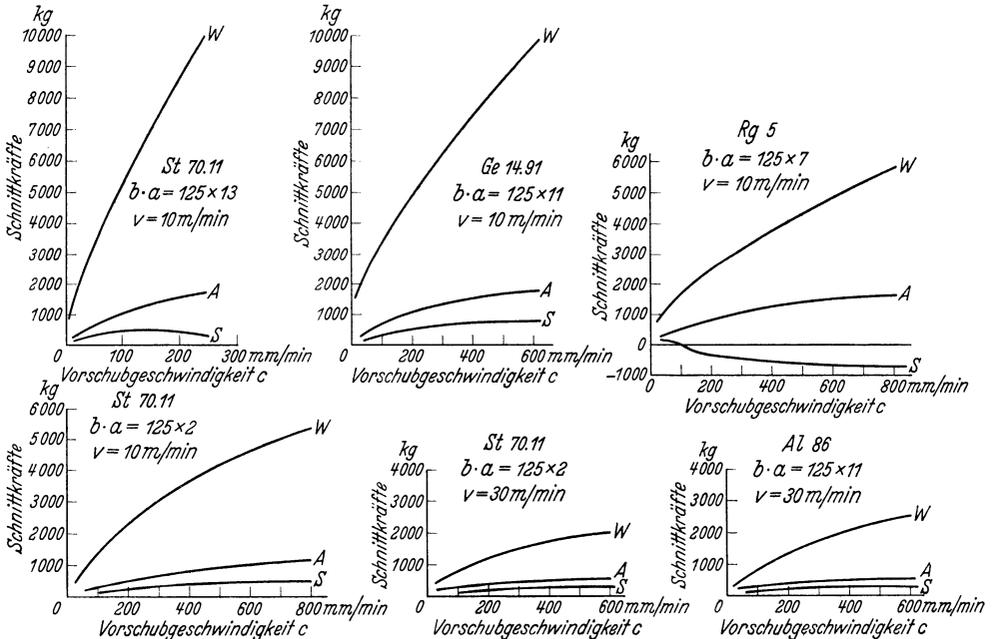


Abb. 10. Schnittkräfte beim Fräsen mit Walzenfräsern. Die Werte $b \cdot \alpha$ geben Schnittbreite mal Schnittiefe, die Kurven W , A , S die Größen der Waagrecht-, Achs- und Senkrechtschnittkräfte in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit bei verschiedenen Werkstoffen (St 70.11, Ge 14.91 usw.)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

dem gibt M_d (bzw. Umfangskraft U) zusammen mit der minutlichen Drehzahl des Fräasers die Größe der Nutzleistung an (Abschn. 7).

Die höchsten Schnittkräfte werden durch den Fräterschlag (Abb. 8), der in der Werkstatt kaum unter 0,05 mm liegt, oft erheblich beeinflusst. Bei der Aus-

wertung von Schnittkraftmessungen und ihrer Anwendung auf die Berechnung 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 Fräsdörne 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 Fräsdörne, deren Durchmesser den Schnittkräften nicht standhielt.

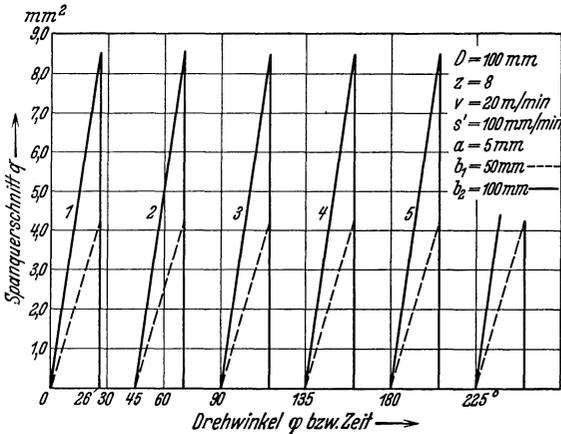


Abb. 11. Schwankungen des Spanquerschnitts (und damit der Schnittkraft) beim Fräsen mit geradzahnigen Fräsern.

zeitig 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 (Abschn. 12).

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

$$N_s = \frac{U v}{60 \cdot 10^2} \text{ (kW)}.$$

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

$$N = N_s / \eta.$$

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 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 Schneideneigung, 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 mitt-

Durch die kommaartige Spanbildung 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 Schnittiefen 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 gleich-

leren Eingriffsbogen $\varphi_e/2$ (Abb. 5) einstellt, als geeignete Bezugsgröße¹. Sie errechnet sich zu:

$$h_M = \frac{c}{nz} \sqrt{\frac{a}{D}}$$

Hierin und im folgenden bedeuten:

a Schnitttiefe (mm)	D Fräserdurchmesser (mm)
b Schnittbreite (mm)	n Drehzahl (min^{-1}) des Fräasers
c^* Vorschubgeschwindigkeit (mm/min)	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

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

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. Der Einfluß von n und z ist größer als der von D (Abschn. 11), was mathematisch daraus hervorgeht, daß D unter dem Wurzelzeichen steht. Die Formel gibt somit eine Erklärung für die unten geschilderten Konstruktionsmaßnahmen.

C. 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, Gestalt, Werkstoff, verlangte Genauigkeit,

die Maschine, hinsichtlich Drehzahl, Vorschub, Kühlmittel, Bauart und Starrheit,

den Fräser, hinsichtlich Zähnezahl, Schneidenwinkel, Zahnneigung, Durchmesser, Art der Mitnahme, Werkstoff,

das Verfahren²: „gleichläufiges“ oder „gegenläufiges“ Fräsen.

¹ Den Beweis hierfür siehe Werkst.-Techn. 1931 S. 409. — Vgl. auch KLEIN: Das Fräsen. Werkstattbuch Heft 88, Abschn. 1.

² In den Refa-Schriften wird die Vorschubgeschwindigkeit mit s' bezeichnet.

³ Siehe Werkstattbuch Heft 88 und JEREZEK: Fräsen im Gleichlauf. Z. VDI 1936 S. 237; Werkst. u. Betr. 1937 S. 123.

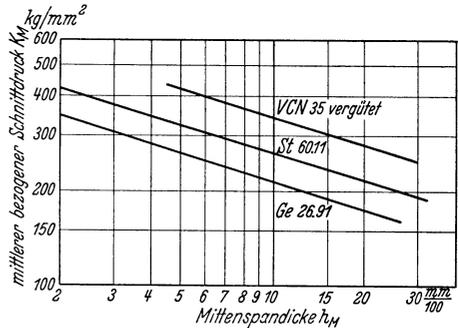


Abb. 12. Bezogene Schnittkraft in Abhängigkeit von der Mittenspanndicke.

8. Schnittbreite und Schnitttiefe. Die Schnittkräfte sind der Schnittbreite nahezu verhältnismäßig. 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 nur auf das 6fache. Die gleiche Leistungsaufnahme wird aber bereits bei Verzehnfachung der Schnitttiefe erreicht.

9. 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 Tabelle 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.

Tabelle 1. Richtwerte für die Schnittgeschwindigkeit.

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit von Fräsern				Schnittgeschwindigkeit von Sägen aus Schnellstahl m/min
	mit Schnellstahlschneiden schruppen m/min	schlichten m/min	mit Hartmetallschneiden schruppen m/min	schlichten m/min	
Stahl nach 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	
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, Bronzenach 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 ¹					bis 300
Isolierstoffe					100 (Sondersägen)

Voraussetzung für die Zahlen der Tabelle 1 sind starre Werkstücke und widerstandsfähige Fräser. Je höher der Spanquerschnitt, desto niedriger ist die Schnittgeschwindigkeit zu wählen. Bei hartem und ungleichmäßigem Werkstoff sind aus der obigen Tabelle die niedrigen Werte für die Schnittgeschwindigkeit zu wählen.

¹ Bei den Leichtmetallen üben die Legierungsbestandteile einen großen Einfluß auf die wirtschaftliche Schnittgeschwindigkeit aus.

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 Zähnezahlsoll der Fräser mit der größeren Zähnezahls langsamer laufen, damit nicht Fräaserschwingzahl (Drehzahl \times Zähnezahl) und Maschinenschwingzahl in „Resonanz“ fallen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß man die größte Spanleistung und kürzeste Schnittzeit bei großen Vorschüben und kleiner Schnitttiefe bis etwa 5 mm erhält¹. 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 Schruppen 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

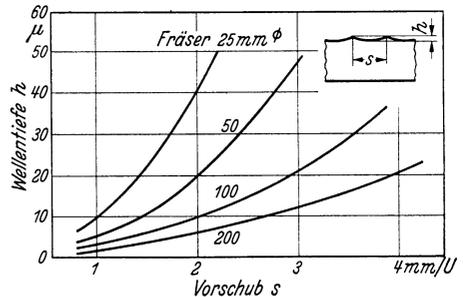


Abb. 13. Fräsoberfläche in Abhängigkeit von Fräserdurchmesser und Vorschub je Umdrehung. (Nach BAHLECKE.)

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 Fußnote 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, einzahnige 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.

D. Einflüsse auf die Gestaltung des Fräasers.

Aus den Forderungen im Abschn. 4 („Wirtschaftliches Fräsen“) und den erwähnten Untersuchungen ergibt sich für die Gestaltung des Fräasers:

10. Die Winkel an der Schneide des Fräserzahnes. 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, 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 Abschn. 20 und 21), und zwar sollen an allen Schneiden des Fräasers positive Spanwinkel

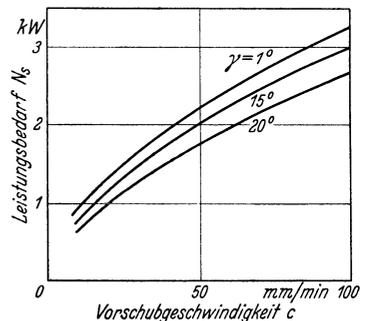


Abb. 14. Einfluß des Spanwinkels.

¹ KLEIN: Wahl des Vorschubs beim Fräsen. Werkst.-Techn. 1937 S. 485. — OPITZ-MEYER: Schlichtfräsen von Stahl. Techn. Z. prakt. Metallbearb. 1942 S. 1.

entstehen. Bei Scheibenfräsern erreicht man dies durch die sogenannte „Kreuzverzahnung“ (Abb. 15). Bei Schaftfräsern 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 Linksdrall 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

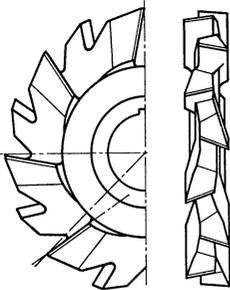


Abb. 15. Kreuzverzahnung.

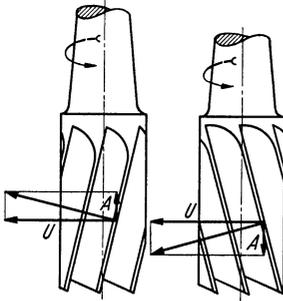


Abb. 16. Fräserdrall und Spanwinkel an der Stirn.

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 Rücken nicht drückt. Die Größe ist vom Werkstoff des Werkstückes abhängig (Tabelle 2). Beim Gleichlaufräsen muß man größere Freiwinkel und größere Spanwinkel wählen als beim

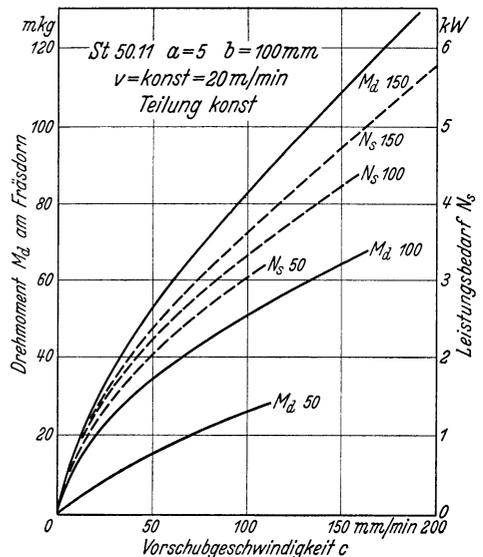
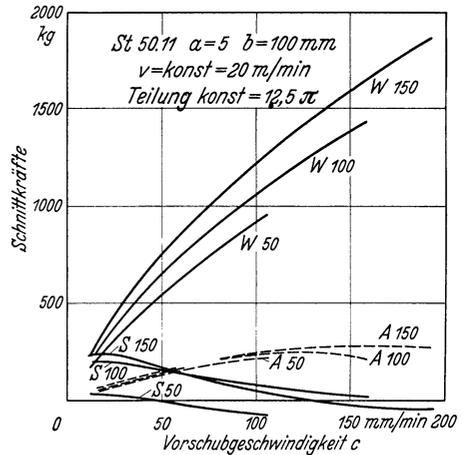


Abb. 17. Einfluß des Fräserdurchmessers, für $D=50, 100, 150$ mm. (Nach STÖWER.) W Waagerechtkraft; A Achskraft; S Senkrechtkraft; α Schnitttiefe; b Schnittbreite.

gegenläufigen Fräsen. Eine zu große Mannigfaltigkeit in der Wahl der Schneidwinkel vermeide man. Sie fordert eine zu große Zahl verschiedener Formfräser für die Fräserzähne und verteuert das Lager an Fräsern.

Tabelle 2. Richtwerte für die Winkel¹ an Fräaserschneiden.

Werkstoff	Brust- oder Spanwinkel γ°	Rücken- oder 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

11. 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. 7).

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

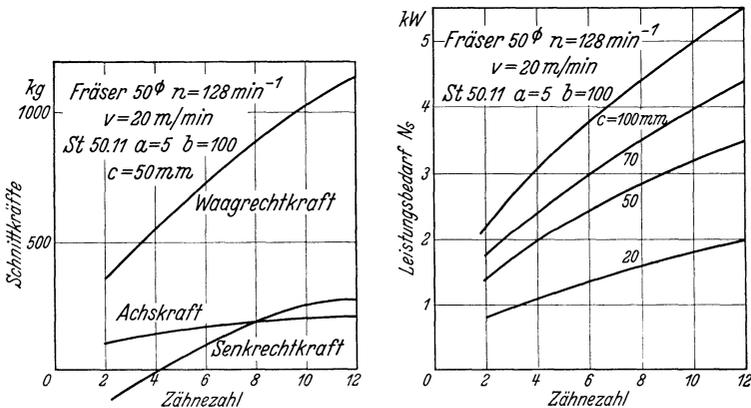


Abb. 18. Einfluß der Zähnezahl. (Nach STÖWER.)

wird die Standzeit des Fräasers höher, wenn er dicke Späne abtrennt und nicht feine Späne (Abschn. 3), 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 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

¹ OPTZ-MEYER: Techn. Z. prakt. Metallbearb. 1941 S. 629.

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.

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, Schaftfräsern usw., wählt man daher die 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 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 grobzahnigen Fräsern. In der Tat eignen sich solche Fräser auch zum Schruppen harter Werkstoffe. Nur werden harte Stellen im Werkstoff sich um so rascher auf 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 Tabelle 3 entsprechen, die für die meisten Werkstoffe brauchbar ist.

Tabelle 3. Zähnezahlen an Fräsern (vgl. Masch.-Bau 1939 S. 175).

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 Stock-Z. 1930 S. 87.

Über den Einfluß der Fräsermitnahme auf die Schnittleistung siehe Abschn. 32.

Allerdings ist zu bemerken, daß grobzahnige 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.

12. Zahnneigung (Zahnspirale)¹. Um Maschine und Werkzeug zu schonen, ist zu fordern, daß die Schwankungen der Schnittkraft, die durch die Eigenart der Spanbildung beim Fräsen bedingt sind, möglichst klein bleiben. Geradzahnige Fräser verursachen immer starke Schwankungen der Schnittkraft, auch dann,

¹ Werkst. u. Betr. 1940 S. 76.

wenn mehr als ein Zahn gleichzeitig im Eingriff ist (Abschn. 6). 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 Fräsers in Achsrichtung (ta Abb. 20) oder deren ganzzahligem Vielfachen ist. Die nebenstehende Rechen-

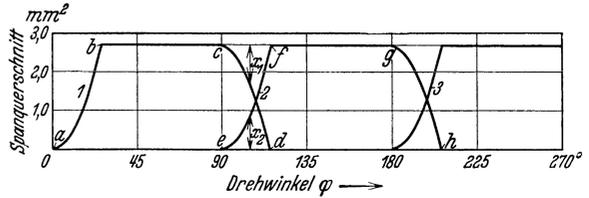


Abb. 19. Änderung des Spanquerschnitts (und damit der Schnittkraft) beim schrägverzahnten Walzenfräser. *abcd* Kraftverlauf für Zahn 1; *efgh* Kraftverlauf für Zahn 2; $x_1 = x_2$.

tafel (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 zu halten. Man wird daher den Fräser so konstruieren, daß er auch im un-

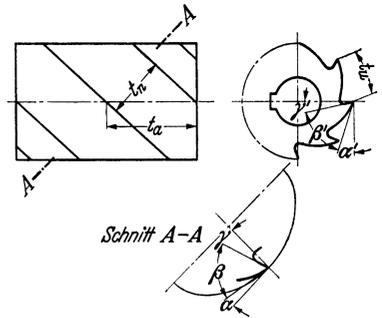


Abb. 20. Achsteilung und Normalteilung beim schrägverzahnten Walzenfräser.

günstigsten 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 u. 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

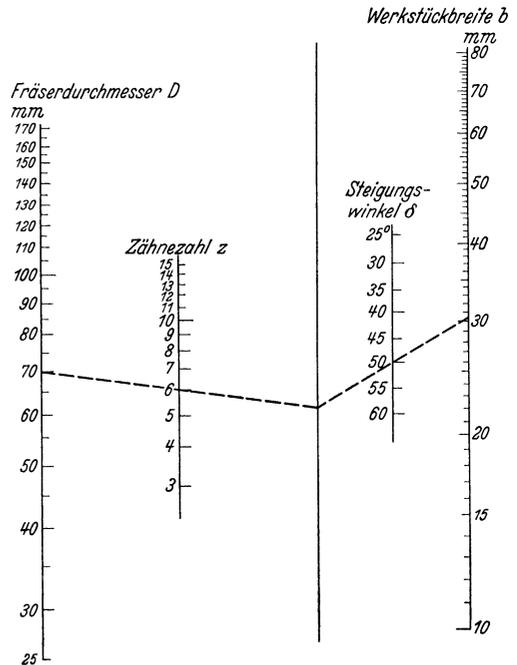


Abb. 21. Rechentafel für „gleichförmiges“ Fräsen mit Walzenfräsern.

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.

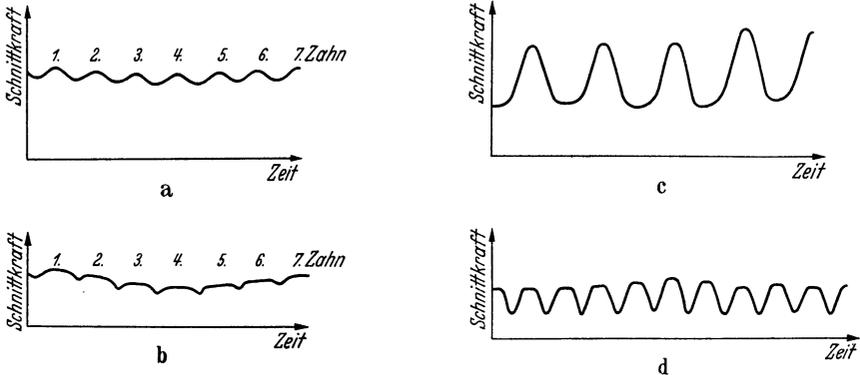


Abb. 22. Vergleich zweier Walzenfräser mit gleichen Abmessungen, aber verschiedenem Drall. Oszillogramme der Schnittkraftschwankungen.

a und b: Fräser 90 mm \varnothing , 7 Zähne, 55° Drall bei $n = 39,1$ U/min
 c und d: Fräser 90 mm \varnothing , 7 Zähne, 35° Drall bei $n = 37,9$ U/min.
 Breitenverhältnis = $\frac{\text{Fräsbreite}}{\text{Achsteilung des Fräasers}}$ bei a = 2,82 bei c = 1,89
 bei b = 1,41 bei d = 0,69.

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 obenerwähnten Ausnahmen — möglichst geringe Zähnezahlen anstreben, um die Schnittkräfte klein zu halten und um der Eigenschwingungszahl der Maschine

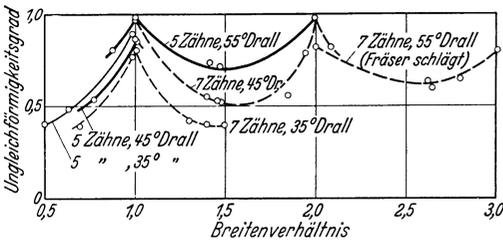


Abb. 23. Einfluß des Zahndralls auf „gleichförmiges“ Fräsen.

fernzubleiben. Werden nämlich Fräuserschwingzahl, die sich aus Drehzahl mal Zähnezahl errechnet, und Eigenschwingzahl der Maschine gleich, so tritt Resonanz ein: der Fräser „rattert“.

13. 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 Schneidstück ebenfalls stärker beansprucht. Der Fräser muß über Gebühr nachgeschliffen werden. Als Schlichtfräser eignen sich

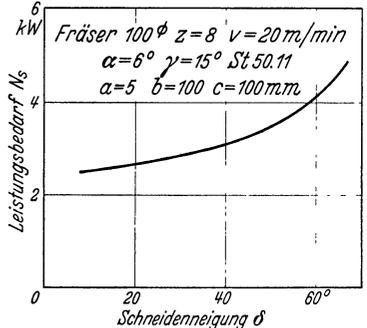
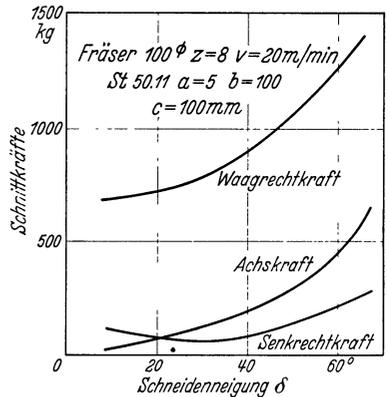


Abb. 24. Einfluß der Schneideneigung. (Nach STÖWER.)

solche Fräser nicht, sie blähen also das Werkzeuglager auf. Bei den Schälspänen hochdralliger 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 Formfräsern mit geringer Zahnneigung oder bei Gewindefräsern, kann unter Umständen eine Spanunterteilung notwendig sein.

II. Die Gestaltung 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.

14. 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 in Tabelle 4 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 Zahnform den Konstrukteur einengen und den Fortschritt hemmen, sondern nur dem Wirrwarr der Abmessungen mit ihren verlustreichen Folgen für Lagerhaltung, Verwaltung und Übersicht steuern wollen.

15. Fräserwahl. Zunächst richtet sie sich nach dem Fräsverfahren, z. B. ob man „walzt“ oder „stirnt“ (siehe Werkstattbuch Heft 88) oder ob man „gleichläufig“ oder „gegenläufig“ fräst. Es muß ferner beachtet werden, daß es einen Allgemeinfräser (Universalfräser) für alle Werkstoffe oder alle Betriebsverhältnisse ebensowenig gibt wie einen Allgemeindrehstahl. Es wird immer Fälle geben, in denen 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 neuester Bauart 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 Maschine ergeben. Und in

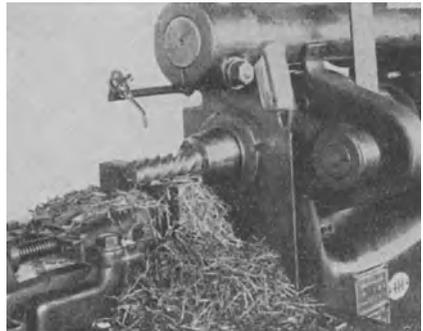
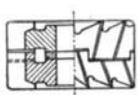
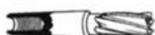
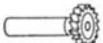
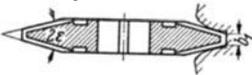
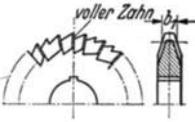
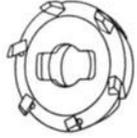
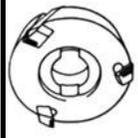


Abb. 25. Auch alte Maschinen arbeiten wieder wirtschaftlich, wenn ein leicht schneidender Fräser benutzt wird.

Tabelle 4. 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	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 schnellumlaufende, feilenähnliche Werkzeuge.

alter Art	Fräser neuer Art	für Leichtmetall	DIN Nr.	Bezeichnung	Bemerkungen und Berechnung
				Zahnfräser spitzgezahnt	zum Vorfräsen von Zähnen $b_1 = \text{Modul}$ $\left(\frac{\pi}{2} - 1 \cdot 16 \text{tg } 2\alpha\right) - x$ $x = 0,5 \dots 1 \text{ mm}$ je nach Größe der Teilung.
				Trapezge- winde- und Schnecken- fräser	Auch dieser wird als Kreuzzahnfräser ausge- bildet. Ein gerader, vol- ler Kontrollzahn. Seit- liche Zähne einen um den andern frei machen. Besondere Maßnahmen beim Schleifen. $b_1 = b \cdot \cos \alpha$ ($b =$ 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.

der Tat konnten solche Fräser infolge der geringeren Zerspanungswiderstände die sie hervorrufen, die Spanausbeute auf verhältnismäßig schwachen Maschinen steigern oder bei gleicher Spanmenge die Standzeit erhöhen. Diese Möglichkeit, die Leistung eines alten Maschinenparkes durch „Höchstleistungswerkzeuge“ zu steigern (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.

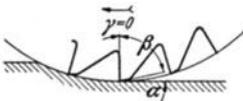


Abb. 26. Veraltete Verzahnung.

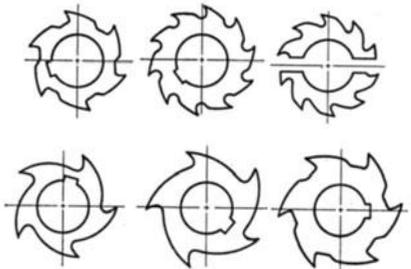


Abb. 27. Fräser für Stahl, Gußeisen und für Leichtmetall.

Bei allen konstruktiven Überlegungen wie bei der Beschaffung von Fräsern muß an eine wirtschaftlich sinnvolle Lagerhaltung gedacht werden. Während man sich bei der Massenfertigung 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 und 3 der Tabelle 4 am besten gerecht werden, kann nicht mehr bezweifelt werden.

16. Zähzahl. Tabelle 3 gibt für Durchmesser von 5...200 mm für die üblichen Fräserarten geeignete Zähnezahlen an. Im übrigen ist auf Kapitel I D zu verweisen.

17. Schnitttrichtung der Fräser. Nach DIN 857 heißt ein Fräser links-schneidend, wenn er vom Antrieb aus gesehen gegen den Uhrzeigersinn läuft, und rechtsschneidend, wenn er vom Antrieb aus gesehen im Uhrzeigersinn läuft.

18. 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.

19. 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 Scheibenfräser bei besserer Oberflächengüte raschere Arbeit. Dagegen sind spitzgezahnte Formfräser trotz ihres guten Schnittes nur in den seltenen Fällen möglich, in denen man sie leicht und doch genau — etwa mit zwangläufig 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.

20. Durchmesser, Zahnücke, Zähnezahl. Fräserdurchmesser, Zähnezahl und Schneidenneigung können beim hinterdrehten Fräser nicht nur unter dem Ge-

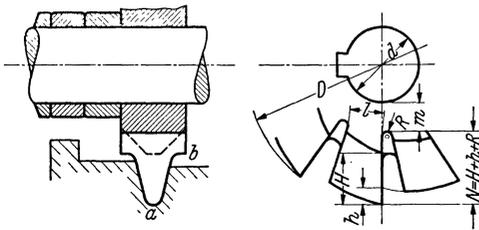


Abb. 28. Zahnform hinterdrehter Fräser.

sichtspunkte günstigster Zerspanung bestimmt werden. Die Form, Breite und Tiefe des Profils ergeben einen bestimmten kleinsten Durchmesser unter Berücksichtigung einer genügenden Fleischstärke m (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 Fräferschwingzahl zu vermeiden

(Abschn. 12). 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 Zähnezahlnzahl immer mehrere Zähne zugleich im Eingriff zu halten.

21. 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 (Abschn. 55); 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.

22. 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 Fräsers 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 Fräserschneide — 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.

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 Fräsers wie bei spitzzahnigen Fräsern, sondern den mittleren Durchmesser, den man erhält, wenn man die Mittellinie durch das Profil des Fräsers zieht; in Abb. 29 die Linie ab .

23. 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 wird¹.

a) 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

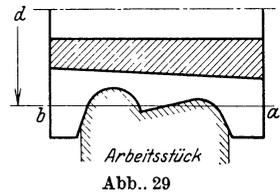


Abb. 29

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

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.

Die Krümmung der so entstehenden Hinterdrehkurve hängt lediglich ab vom Verhältnis der Geschwindigkeiten der drehenden Bewegung des Zahnes und der fortschreitenden des Hinterdrehstahles.

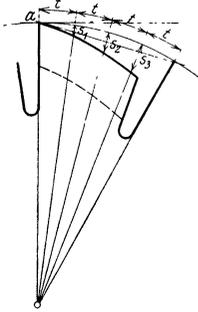


Abb. 30.

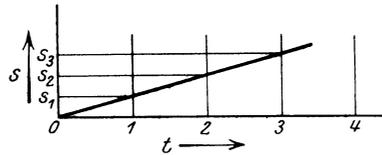


Abb. 31.

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

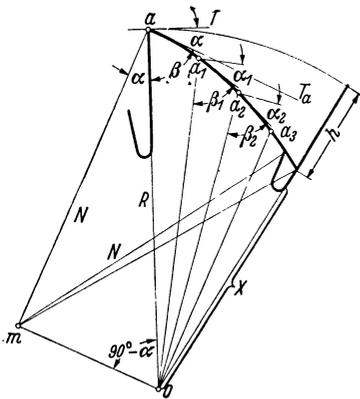


Abb. 32.

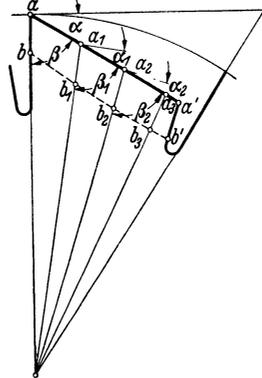


Abb. 33.

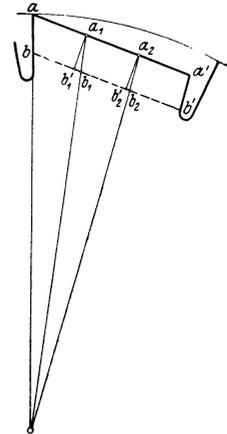


Abb. 34.

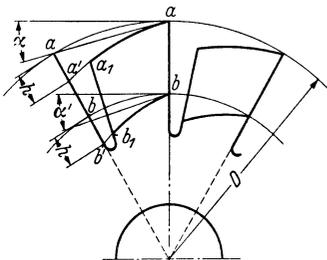


Abb. 35.

Abb. 30-35. Zur Konstruktion der Zahnform hinterdrehter Fräser.

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 Profilpunkte 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 gleichmäßigen Drehung des Fräserkörpers einen gleichmäßigen Vorschub

des Hinterdrehstahls, so daß also in Abb. 30 $s_2 = 2s_1$, $s_3 = 3s_1$ 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 ao , so daß $N : T_a$ steht. Fällt man dann von o das Lot auf N , so ist m der Mittelpunkt für den Kreisbogen 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. 33 zu entnehmen. Bemerkenswert ist, daß der Zahngrund bb' nicht etwa eine Parallele zur geneigten Geraden aa' wird, sondern eine Kurve, weil in den radialen Schnitten die Profiltiefen $a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 \dots$ gleich sein müssen.

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

Früher, bevor es Hinterdrehbänke gab (und auch heute wohl noch, wenn keine zur Verfügung stehen), fertigte man sich Formfräser mit geradem Zahnrückén 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 Zahnrückén überall gleich tief liegt, also bb' parallel aa' ist, wodurch wohl $a_1b_1' = a_2b_2'$, aber nicht $ab = a_1b_1 = a_2b_2$ 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.

b) Kurvenfall und Hinterdrehwinkel. Der Fall oder die Tiefe h der Hinterdrehkurve wird bis zum nächsten Zahn gerechnet, so daß $h = aa' = bb'$ (Abb. 35) ist. Die Größe von h ergibt sich aus Hinterdrehwinkel α , Zähnezahzahl z und Durchmesser D des Fräasers; angenähert ist $h = \frac{\text{tg } \alpha D \pi}{z}$. Um h für einen bestimmten α zahlenmäßig zu bestimmen, ist es das einfachste, einen Zahn, wie in Abb. 35, aufzureißen. 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 $\alpha = 10^\circ$.

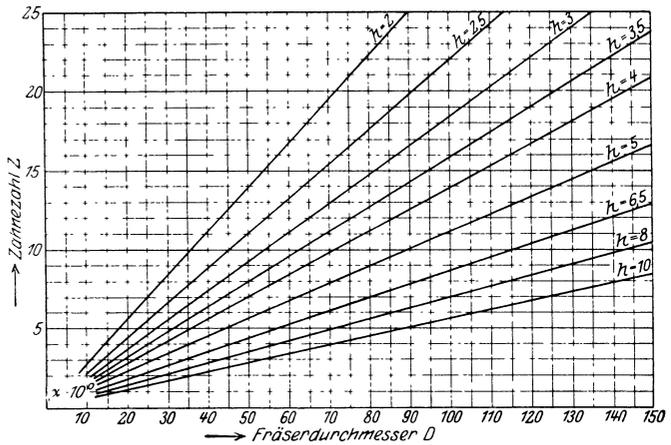


Abb. 36. Kurvenfall in Abhängigkeit von Zähnezahl und Fräserdurchmesser für $\alpha = 10^\circ$.

Die Freiwinkel sind bei hinterdrehten Zähnen wesentlich größer als bei spitzgezahnten. Bei diesen ist nämlich die den Anstellwinkel bildende Fase nur eine kleine schmale Fläche an die sich der verhältnismäßig steil abfallende Zahnrückén anschließt. Ein solcher Zahn kann daher, selbst bei grobem Vorschub des Arbeitsstückes, nötigenfalls noch mit einem Anstellwinkel von 3° ohne Schwierigkeiten in den Werkstoff eindringen. Bei hinterdrehten Zähnen würden dagegen die bei einem so kleinen Anstellwinkel 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 Nutttiefe und die größere Hinterdreharbeit.

Der kleinste in der Praxis vorkommende Hinterdrehwinkel beträgt etwa 8° , jedoch findet man auch Winkel von $15^\circ \dots 22^\circ$. In den meisten Fällen dürfte ein Winkel von etwa $10^\circ \dots 15^\circ$ 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.

c) Hinterdrehwinkel und Profilform. Bei dem meist üblichen Hinterdrehen quer zur Fräserachse (radiales Hinterdrehen) erhalten die Kanten des Fräserprofils, die parallel zur Achse liegen (*aa*, Abb. 37), den vollen Hinterdrehwinkel als Rücken- oder Freiwinkel. Dagegen erhalten die Kanten rechtwinklig zur Achse, wie *ab*, 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...2 mm breiter Rand stehen bleibt.

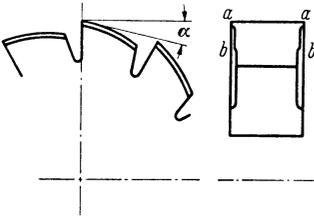


Abb. 37.

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 Kanteneigung sich der Rechtwinkligen zur Achse nähert, d. h. je größer φ (Abb. 38) ist. Folgende Betrachtung wird das klarmachen:

In Abb. 38 u. 39 sind die Kurven *aa*₁ und *bb*₁ die Hinterdrehkurven der Punkte *a* und *b* bzw. der Kanten *aa* und *ab*. Die Kurven *aa*₂ und *bb*₂ dagegen stellen den Verlauf der von den Kanten *aa* und *ab* im Arbeitsstück beim Fräsen erzeugten Schnittfläche dar (angenähert Kreisbogen aus der Fräsermitte).

Die Breiten *aa* und *bb* des Fräserprofils bleiben entlang den Hinterdrehkurven *aa*₁ und *bb*₁ stets gleich groß. Dagegen muß die Profilbreite entlang der Kurve *bb*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 *aa*₁, *bb*₂ und *bb*₁, entlang gelegten Schnitte, die in Abb. 39 dargestellt sind, lassen das deutlich erkennen.

Der Neigungswinkel α_1 der Kante *bb*₂ des Zahnquerschnitts gegen die Schnittfläche ist der Freiwinkel im Punkte *b* der Profilkante *ab*. Ebenso nun wie Punkt *b* hat auch jeder andere Punkt von *ab* den Freiwinkel α_1 , so daß die ganze Kante *ab* 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 *ab* des Fräasers im Arbeitsstück beim Fräsen erzeugten Schneidflächen *aa*₂ und *bb*₂ dieselben bleiben, dagegen die Rückenflächen *aa*₁ und *bb*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

$z = \text{Zähnezahl}$
 $x = \text{tg}(90^\circ - \varphi) h_1$
 $t = \frac{(D - 2h_1)\pi}{z}$

Abb. 38.
 $\text{tg } \alpha_1 = \frac{x}{t}$
 $\text{tg } \alpha_1 = \frac{\text{tg}(90^\circ - \varphi) h_1 z}{(D - 2h_1)\pi}$

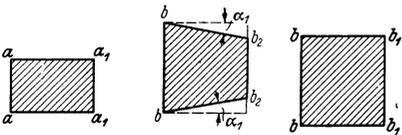


Abb. 39.

Abb. 37...39. Zur Konstruktion des Freiwinkels für jeden Punkt des Profils.

aber nichts anderes, als daß der Freiwinkel einer schrägen Profilkante um so größer wird, je größer der Hinterdrehwinkel ist.

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 *bb* 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 einen Schnitt *a*₁*a*₁ hindurch legt (vgl. Abb. 39). Man kann α_1 an der Stelle *a*₁' aber auch aus α und φ berechnen

mit der angenähert gültigen Gleichung $\text{tg } \alpha_1 = \frac{\text{tg}(90^\circ - \varphi) h_1 z}{(D - 2h_1)\pi}$.

Natürlich darf man aus Gründen, die oben angegeben sind, α nicht über eine gewisse Grenze hinaus vergrößern, nicht über etwa $20 \cdots 22^\circ$, da man sonst an günstig gelegenen Kantenstücken des Fräserprofils, also an den mehr parallel zur Fräserachse liegenden, zu 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 aa' länger ist als die innere bb' , muß der Freiwinkel $\alpha' > \alpha$ sein.

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.

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

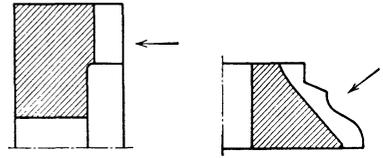


Abb. 40. Schräghinterdrehen.

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 Profillinie), so bleibt natürlich nichts übrig, als eine für alle Kanten

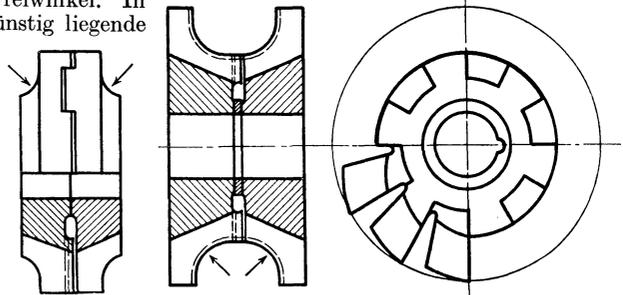


Abb. 42. Profile, die schräg zu hinterdrehen sind.

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 u. 43), müssen daher von beiden Seiten hinterdreht werden und nähmen daher

beim Nachschleifen an Profilbreite 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).

Tabelle 5. Hinterdrehte Fräser.

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

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

Die Konstruktion von Formfräsern für die Zahnlücken hochdralliger Walzenfräser zeigt Abb. 44.

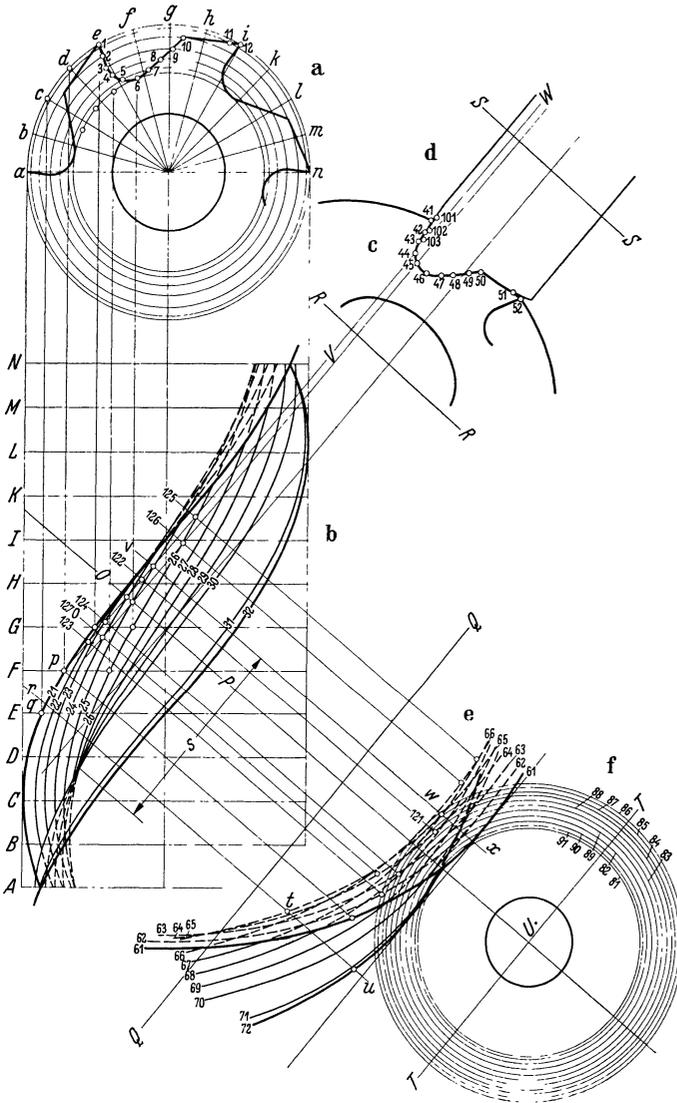


Abb. 44. Konstruktion von Profilfräsern zum Spiralfräser¹.
a Stirnprofil von Zahn und Nute eines Walzenschälfrägers; *b* Verlauf der Nute bei einer Spiralsteigung von 40° am Umfang des Fräasers; *c* das verlangte Nutenprofil, rechtwinklig zur Spirale gesehen; *d* Nutenfräser mit nicht korrigiertem und mit später korrigiertem Profil; *e* Verlauf der Nute aus Bild *a* und *b* im Seitenriß; *f* Stellung des Nutenfräasers in der Nute des Walzenfräasers; im Zusammenhang mit Bild *b*...*e* wird die Korrektur des Nutenprofils gezeigt.

¹ TORGE: Bestimmung der Abmessungen von Winkelfräsern zur Herstellung von Walzenfräsern mit großem Spiralwinkel. Werkst.-Techn. 1929 S. 702; Masch.-Bau Bd. 13 (1934) S. 210.

² Für die Angaben dieses Abschnittes sei auch an dieser Stelle Herrn Ing. GÖHRING gedankt.

³ Vgl. Z. VDI 1927 S. 255; Werkzeugmasch. 1935 S. 245; Werkst.-Techn. 1929 S. 205; 1936 S. 24.

Wälzfräser².

Die Wälzfräser bilden eine besonders wichtige Gruppe der hinterdrehten Fräser. Sie dienen meist der Herstellung von Verzahnungen oder zahnähnlichen Profilen und finden immer mehr Anwendung. Man stellt sogar spiral- und bogenverzahnte Kegelräder durch ein Abwälzschraubfräsen her; auch Vieleckprofile können „gewälzt“ werden (Abb. 45)³. Für den Wert eines Wälzfräasers sind maßgebend:

- seine Profilgenauigkeit,
- der Verlauf des Gewindeganges,
- die Steigung von Zahn zu Zahn,
- die Geradheit und der richtige Verlauf der Zahnbrust,
- die richtige Schnittspirale (besonders beim Nachschleifen zu beachten),
- der Rundlauf.

Die hohen Anforderungen, die hinsichtlich Maßabweichungen und Oberflächengüte heute an Verzahnungen gestellt werden, bedin-

gen Fräser höchster Genauigkeit, 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 werden¹.

Häufig muß das Profil in zwei Arbeitsgängen fertiggestellt werden. Dann strebt man an, beim Schruppen so tief zu fräsen, daß beim Schlichten nur noch die Zahnflanken angegriffen werden.

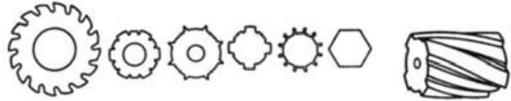


Abb. 45. „Wälzbare“ Profile.

Die Hauptarten sind:

24. Wälzfräser für Stirnräder². Einstellung des Fräsers an der Maschine nach Abb. 46. Neigung um $(90^\circ - \delta)$ gegen die Werkstückachse.

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

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

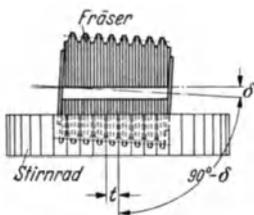


Abb. 46. Einstellung des Wälzfräsers beim Fräsen von Stirnrädern.

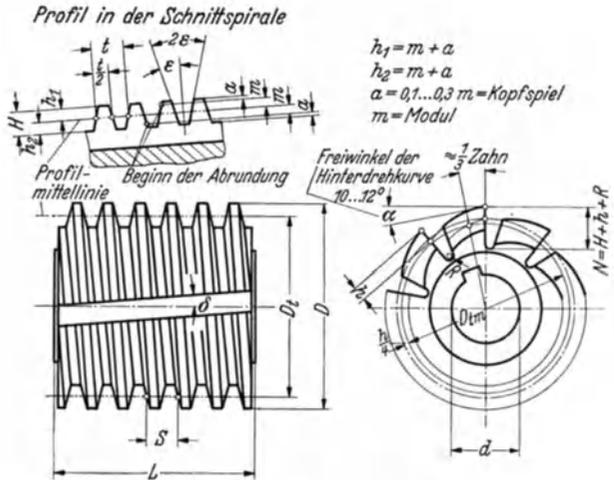


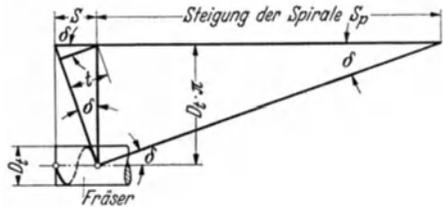
Abb. 47. Fräser für Stirnräder.

δ = mittlerer Steigungswinkel.

$$D_t = D - 2h_1.$$

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 $D_{tm} = D_t - 2h/4 = D_t - h/2$ gerechnet wird. Über Schnitt- und Gangrichtung siehe Abb. 49 I.

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



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

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

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

Abb. 48.

¹ TRIER: Die Zahnform der Zahnräder. Werkstattbuch, Heft 47.

² WINDMÜLLER: Die Bestimmung der Abmessungen von Stirnradwälzfräsern für Evolventenverzahnungen. Z. VDI Bd. 9 S. 800. — LOEWE: Not. 1934 S. 49. — Ferner Masch.-Bau 1930 S. 533; 1934 S. 573; Z. VDI 1927 S. 73.

Steigung der Schnittspirale $S_p = \frac{D_t \pi}{t g \delta}$. (Über Zähnezahzahl und Hinterdrehen siehe Abschn. 20).

Die Profilform der Fräserzähne entspricht dem Zahnstangenprofil (Abmessungen siehe Abb. 47).

ε = Eingriffswinkel der Evolvente im Zahnradteilkreis.

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

Bei Fräsern für korrigierte Zahnprofile richtet sich die Fräserprofilform nach dem Bezugsprofil der Räder.

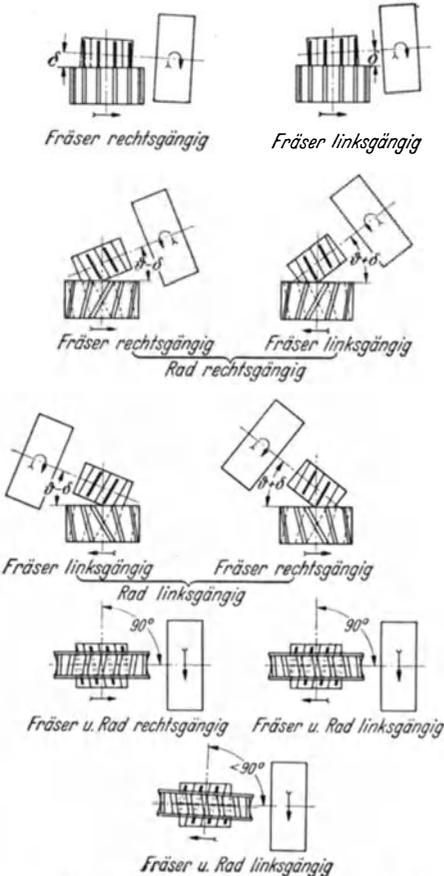


Abb. 49. Lage des Fräasers zum Rad beim Fräsen mit Wälzfräser. (Nach GLÄSER.)

25. Wälzfräser für Schraubenräder.

I Fräserteilung t in der Schnittspirale des Wälzfräasers gleich der Normalteilung des Schraubenrades (Einstellung siehe Abb. 49 II u. 50). Bei Schraubenrädern über 20° Schrägungswinkel versieht man die Wälzfräser mit einem kurzen, kegeligen Anschnitt von etwa $1,5 t$ Länge.

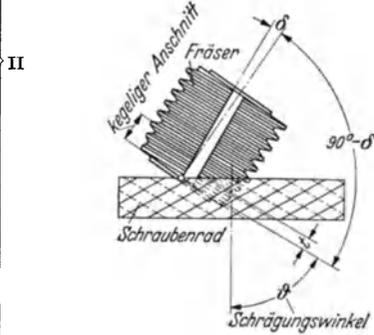


Abb. 50. FräserEinstellung beim Wälzfräsen von Schraubenrädern.

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

Tangentialfräser: Kegeliger Anschnitt des Fräasers $5 t$. 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.

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

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

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

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

Bei mehrgängigen Schneckenradfräsern soll Spannutenzahl eine ganze

Gangzahl eine ganze Zahl sein. Schnitt- und Gangrichtung nach Abb. 49 III. (Über Schneckenherstellung siehe Schriftumsverzeichnis; über Messung der Fräser vgl. LOEWE-Notizen 1934 S. 49 ff.)

27. Wälzfräser für Kettenräder 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.

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

$$D_t = D - 2h_1 \quad S = \frac{t}{\cos \delta} \quad S_p = \frac{D_t \pi}{\text{tg } \delta}$$

z = Anzahl der Kettenradzähne; T = Mittenentfernung zweier Rollen

$$q = 360/z; \quad T = D_t \sin q/2; \quad t = D_t/2 \text{ arc } q,$$

d. h. während T für alle Zähnezahlen gleichbleibt, 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.

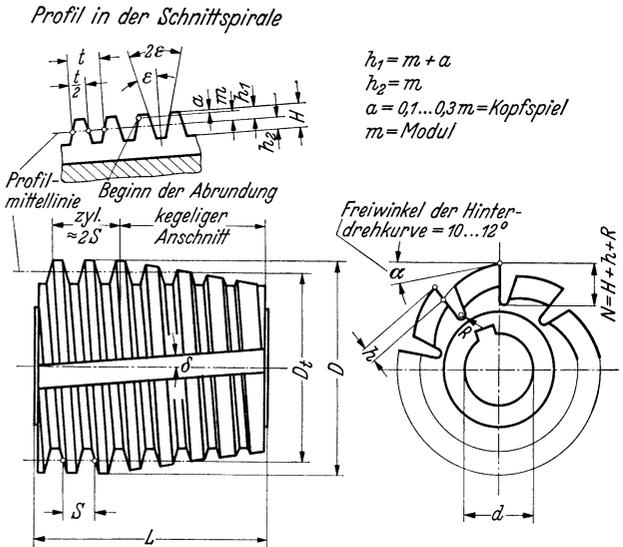


Abb. 51. Wälzfräser für Schneckenräder.

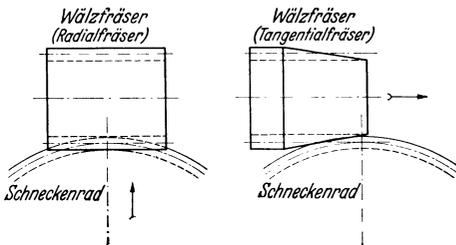


Abb. 52. Verfahren zur Herstellung von Schneckenrädern.

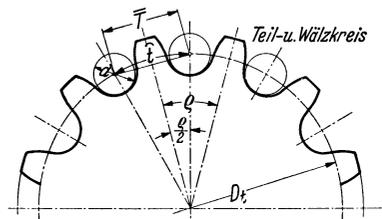


Abb. 53. Konstruktion eines Kettenrades.

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

28. Wälzfräser für Keilwellen¹. Es ist

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

¹ Vgl. DIN E 5431; Masch.-Bau 1934 S. 252; Z. VDI 1935 S. 1517.

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.

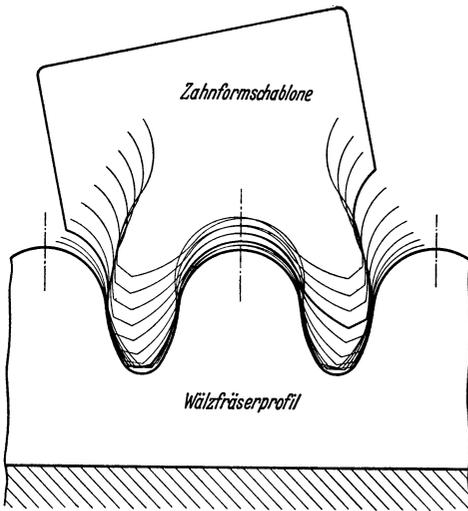


Abb. 54. Abwälzen einer Zahnformschablone.

Danach trägt man den Wälzkreis von *C* aus auf der Waagerechten *A—B* ab, indem man die Bogenstücke *C1'*, *1'2'*, *2'3'* usw. der Reihe nach abträgt. Die Schnittpunkte erhalten die Bezeichnung *1''* bis *5''*. Um diese Punkte werden dann wieder mit den Strecken *11'*, *22'*, *33'* usw. Kreisbögen geschlagen, die mit den durch die Eingriffspunkte *1E*, *2E*, *3E* usw. parallel zur Waagerechten *AB* zu ziehenden Geraden in den Punkten *1'''*, *2'''*, *3'''* usw. schneiden. Diese Punkte liegen auf der gesuchten Profilflanke des Fräasers.

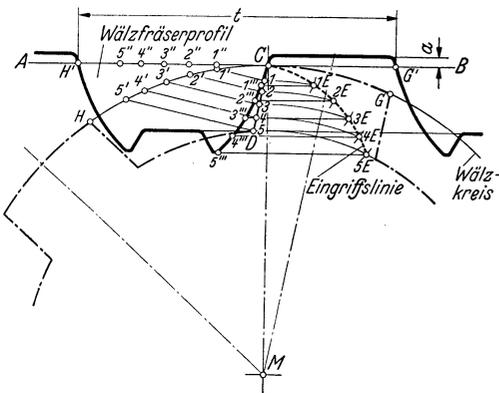


Abb. 55. Zeichnerische Ermittlung des Wälzfräserprofils für Keilwellen.

Durch ein rechnerisches Verfahren können nach Abb. 56 die in Abb. 55 zeichnerisch gefundenen Profilpunkte folgendermaßen bestimmt werden:

Man bildet ein Koordinatensystem mit den Achsen *AB* und *EF*. *C* ist Koordinatenmittelpunkt. Die Abszisse *x* und die Ordinate *y* errechnen sich dann wie folgt, z. B. für Punkt *4'''*: Den Winkel *i* erhält man aus der Beziehung

$$\sin i = b/\sqrt{2R},$$

worin *b* die Keilstollenbreite und *R* der Keilwellenradius ist. Für den Winkel λ gilt:

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

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

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

Zeichnerische Ermittlung (Abb. 55): Zunächst wird das Profil der Keilwelle vergrößert aufgezeichnet und der Außendurchmesser als Wälzkreis gewählt. Dann zieht man durch *C* die Waagerechte *AB* und errichtet auf der Profilflanke *CD* in den beliebig gewählten Punkten *1, 2, 3, 4, 5* die Senkrechten und bringt sie mit dem Wälzkreis zum Schnitt (*1'* bis *5'*). Danach konstruiert man die Eingriffslinie des Fräserprofils mit der Keilwelle. Dabei schlägt man mit den Strecken *11'*, *22'*, *33'* usw. um den Punkt *C* Kreisbögen. Desgleichen mit den Strecken *1M*, *2M*, *3M* usw. um die Profilmittelpunkte *M*. Die Schnittpunkte dieser Kreise (*1E* bis *5E*) bilden die Eingriffslinie.

Das Spiel *a* zwischen Keilwelle und Profilgrund 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 Profilsitzen, 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.

l_4 ist der Abstand von C bis zum beliebig gewählten Punkt 4 auf der Keilstollenflanke. Die ganze Länge der Keilstollenflanke ist zu berechnen, indem man sich M mit D verbunden denkt und in den oben für $\sin \lambda$ aufgestellten Ausdruck für λ den entsprechenden, bei M entstehenden Winkel λ' und an Stelle von c den Radius r einsetzt, also $\sin \lambda' = b/2r$. Aus $\lambda' - i$ erhält man dann den mit φ_1' zu bezeichnenden Winkel DMC und somit aus dem Dreieck MDC :

$$CD = \frac{r \sin \varphi_1'}{\sin i}$$

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

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

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

$\varphi_2 = 180^\circ - (\psi + o)$; o erhält man aus dem Dreieck $M44'$:

$$\sin o = \frac{c \sin \psi}{R}$$

Nach der auf den Abwälzbedingungen begründeten Konstruktion (Abb. 55) sind die beiden Dreiecke $M44'$ und $M4_E C$ kongruent, also auch Winkel $CM4_E = \varphi_2$; demnach ist $y' = c \cos \varphi_2$ und

$$y = R - y' = R - c \cos \varphi_2;$$

ferner ist $C4_E = 4''4'''$ und $4_E4'''$ parallel zur Waagerechten AB , mithin ist auch $C4 = 4_E4'''$. Da nun $C4' = C4'' = R \text{ arc } \varphi$ ist, wird

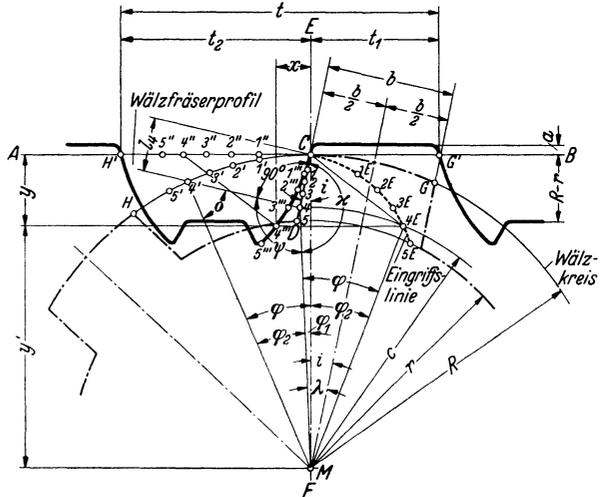


Abb. 56. Rechnerische Ermittlung des Wälzfräserprofils für Kielwellen.

$$x = R \text{ arc } \varphi - c \sin \varphi_2,$$

worin $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ ist. Wie für den Punkt $4'''$ müssen auch die weiteren Punkte des Fräserprofils errechnet werden.

Die Profilteilung am Außendurchmesser ist

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

ferner $t_1 = R \text{ arc } 2i$ 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 Profilkpunkte sehr gut zum Prüfen der fertigen Lehren benutzt werden¹.

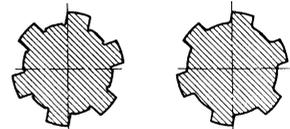


Abb. 57. Profile von Kielwellen.

29. Wälzfräser für Sperräder, Kreissägen usw. verwendet man als 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 Einstellzähne².

C. Zusammengesetzte Fräser.

30. Zusammengesetzte Einzelfräser. Mit steigenden Abmessungen werden die Fräser wegen der oft unverhältnismäßig großen Abfallmengen bei der Herstellung

¹ Vgl. KOTTSEPER: Ermittlung der Wälzfräser-Schneidflanken für geradflankige Zahnformen. Masch.-Bau Bd. 18 (1939) S. 495.

² PFAUTER: S. 257 Abb. 233.

und wegen der hohen Kosten des Werkstoffes, wenn angängig, zusammengesetzt. Wo die wirtschaftliche Grenze für das Zusammensetzen liegt, läßt sich zahlenmäßig 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 in den Körper eingesetzt. Häufig schweißt man bei Schaftfräsern den Schneidenteil aus Schnellstahl an den Schaft aus geeignetem Sonderstahl an¹.

Die Messer werden verschieden befestigt: meist werden sie mechanisch durch Stifte, Buchsen oder Druckstücke (Abb. 58 u. 59) festgeklemmt, so daß sie aus-

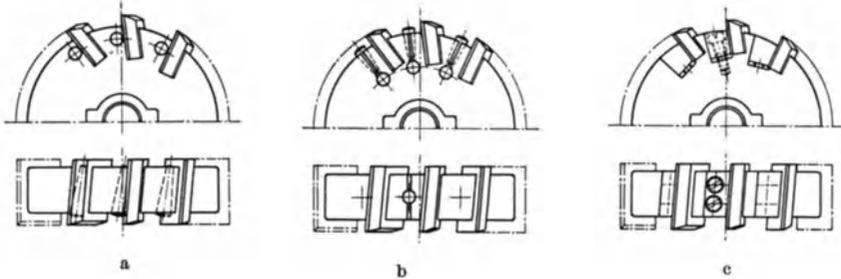


Abb. 58 a...c. Messerköpfe.

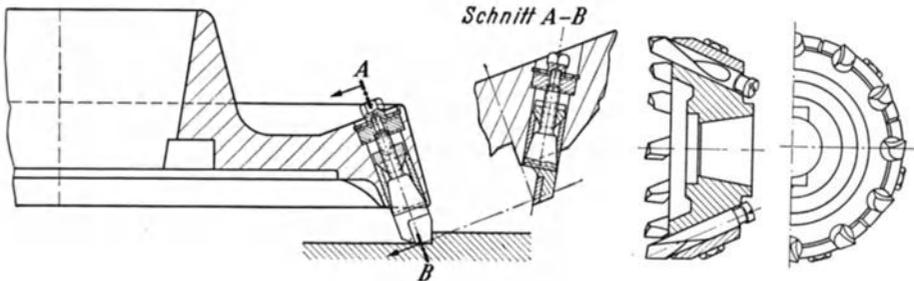


Abb. 59a. Spreizfassung. (Ernst Winter & Sohn, Hamburg).

Abb. 59a und b. Messerköpfe mit einzeln einstellbaren Schneiden.

Abb. 59b. Fräskopf mit spiralgenuteten Rundstäben. (Oekonom, Bitterfeld.)

wechselbar 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.

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.

Hartmetallmesserköpfe versagen in jedem Fall, wenn die Messer nur wenige Hundertstel ausbiegen und zurückfedern können. Um dieses Federn nach

¹ SCHAUMANN-MÜLLER: Messerköpfe. Masch.-Bau 1941 S. 465.

Möglichkeit unschädlich zu machen, läßt man die Hartmetallmesser einen ziehenden Schnitt ausführen, d. h. der Messerhalter zieht die Messerschneide in den Werkstoff hinein.

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.

31. 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. Fräsersatz 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.

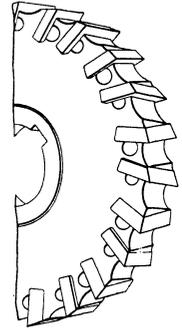


Abb. 60. Kreuzverzahneter Messerkopf (Scheibenfräser).

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

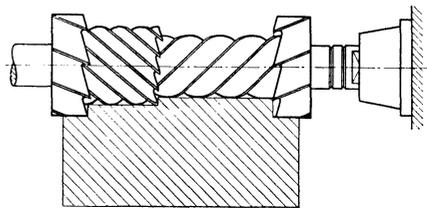


Abb. 61. Satzfräser.

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 Fräasers hineingeht (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 Satzfräasers klemmen. Verklemmen sich aber Späne in den Fräserfugen oder Überlappungen, so sind saubere Oberflächen nicht zu erzielen. Dies muß schon der Konstrukteur des Satzfräasers beachten.

III. Aufspannelemente für Fräser und Fräsermitnahmen.

32. 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.

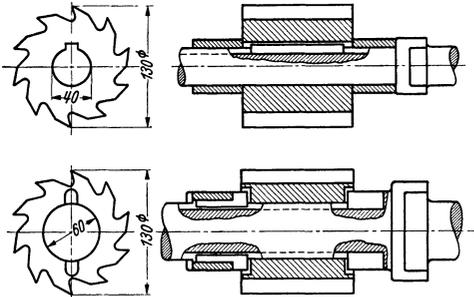


Abb. 62. Seitliche Fräsermitnahme. (Nach Stock & Co.)

Eine Lösung des Problems stellt die Fräserbefestigung durch Mitnehmer an den Stirnflächen (DRP. 510696) 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 Fräsmessers zu vergrößern, der sich bei Annahme einer Nute parallel zur

Achse durch die Nuttiefe ergäbe. Es wird also bei gleichem Außendurchmesser des Fräasers die Verwendung stärkerer Fräsdorne ermöglicht. Und darauf kommt es an. Denn der Fräsdorn ist leider vielfach das schwächste Glied der ganzen Fräsmaschine.

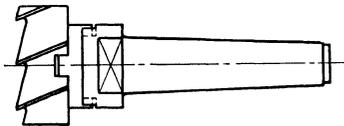


Abb. 63. Mitnahme von Stirnfräsern quer zur Achse.

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 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 Verdrehungen des unstarren Werkzeuges zurückzuführen.

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. 65 entspricht DIN 2201 Vornorm, 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 Drehmoment-

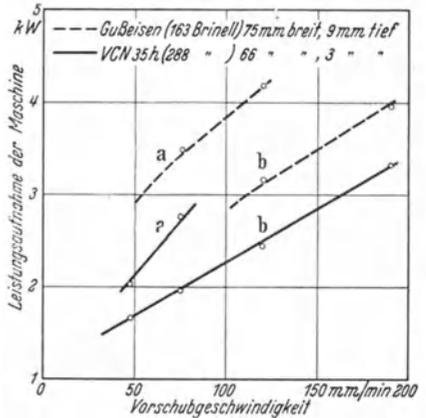


Abb. 64. Einfluß der Fräsermitnahme auf die Schnittkraft.
a = Fräser mit Längsnut
b = Fräser mit Quernut.

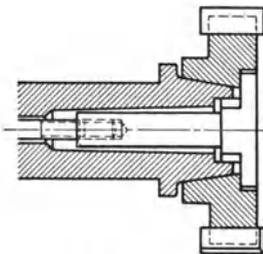


Abb. 65. Günstige

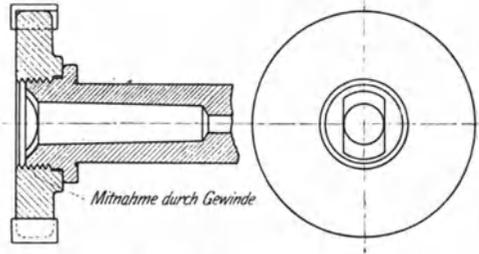


Abb. 66. Ungünstige Mitnahme von Messerköpfen.

bereich übertragen wird als bei dem Spindelkopf nach DIN. Um ein Krümmenspannen von Fräsdornen mit verhältnismäßig kleinem Durchmesser zu verhindern, führt man diese Dorne manchmal als Keilwelle aus oder fräst zumindest zwei

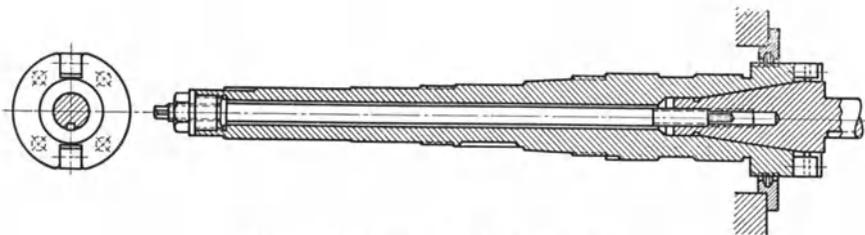


Abb. 67. Amerikanische Fräserbefestigung.

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 Fräserei 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 Fräsers 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, linkschneidende mit Linksgewinde befestigen.

33. Schafffräser werden am einfachsten durch Kegelschaft mit Mitnehmerlappen befestigt. Diese Konstruktion gestattet eine linke wie auch rechte Schnittrichtung des Fräsers. Erforderlich ist allerdings, daß der Kegel gut paßt, da er die einzige Sicherung gegen Lösen bildet. Ein Fräser mit schlechtem Kegel lockert sich beim Arbeiten sehr leicht, und Werkstück 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 Spananstellen ganz besonders unangenehm bemerkbar macht. Diese Befestigung ist bei Schafffräsern mit geneigten Zähnen nicht brauchbar, da infolge der Zahnneigung die Schnittkräfte den Fräser aus der Arbeitsspindel herausziehen (vgl. Abb. 16).

Richtiger ist dann, den Schafffräser mit einer Anzugsstange in der Arbeitsspindel der Fräsmaschine zu befestigen (vgl. Abb. 67), wobei die Fräser mit

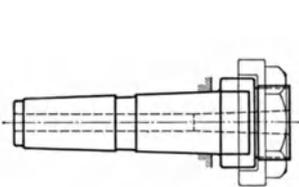


Abb. 68. Übergangshülse.

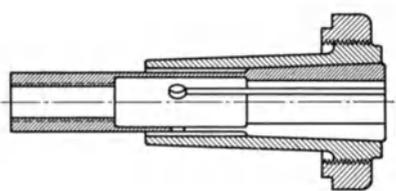
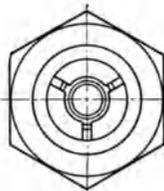


Abb. 69. Spannzange.

Schäften Morse 3 und darüber bei schweren Schnitten besondere Mitnehmerflächen erhalten, die in die Aussparung des DIN-Spindelkopfes passen und das Drehmoment übertragen. Der Kegel dient also hierbei der Zentrierung, nicht der Kraftübertragung.

Um kleine Fräser in großen Spindelbohrungen zu befestigen, bedient man sich der Übergangshülsen (Abb. 68). Man müßte dann auch die Anzugsstange auswechseln, deren Gewindedurchmesser sich nach dem Durchmesser des kegeligen Fräserschafte 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

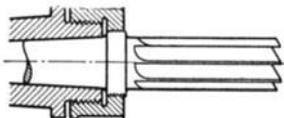


Abb. 70. Fräserbefestigung durch Ausgleichsgewinde.

hohem Drall. Oder man rüstet diese Fräser mit kegeligem Schaft und „Ausgleichsgewinde“ aus (Abb. 70).

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

IV. 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.

34. Werkstoffauswahl. Der Haupt Gesichtspunkt 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, 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 Werkzeugschneide 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 Karbideigerung oft nicht vermeiden, die eine Anordnung der Karbide in „Zeilen“ zur Folge hat. Diese „Zeilen“ unterbrechen das Gefüge 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, und es ist 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. Es läßt sich deshalb nicht vermeiden, die Schnittleistung von Schnellstählen durch Schnittversuche zu prüfen.

¹ Vgl. Masch.-Bau 1932 Nr. 11 S. 45.

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 Fräasers 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 (vgl. Abschn. 30). 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 der Drehrichtung entsprechen (vgl. Abschn. 17). 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 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 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.

35. Härtung. In Heft 7 und 8 der Werkstattbücher 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. Dabei ist zu beachten, daß die derzeitigen Austauschschnellstähle im allgemeinen einen engen Temperaturbereich bei der Härtung haben, von dessen Einhaltung ihre Schneidhaltigkeit sehr wesentlich abhängt (vgl. Masch.-Bau 1941 S. 303 und Stahl u. Eisen 1941 S. 1161).

Ein gutes Härteergebnis ist aber nicht nur von der Gleichmäßigkeit der Erwärmung, von der Härte- und Anlaßtemperatur und von der Wahl des Abschreckmittels abhängig, sondern ebenso von der Formgebung des Werkstückes. Quer-

¹ Näheres siehe Heft 62 der Werkstattbücher: Hartmetall in der Werkstatt. Vgl. AWF-Schrift: Hartmetallwerkzeuge, Leipzig u. Berlin: Teubner, und die Hartmetallnormen (AWF 118 und 119, DIN 4966 und 4990).

schnitt 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 Aussparungen 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 Aufteilen des Fräasers in mehrere solche Ecken zu umgehen suchen.

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

B. Die spangebende Bearbeitung.

- | | |
|--|--|
| 1. Werkstoff abstechen. | 7. Hinderdrehen. |
| 2. Mitten (bei Schaftfräsern). | 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. | |

36. Abstechen und Mitten (Zentrieren). a) Abstechen. Mit der Entwicklung neuzeitlicher 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 Abstechstähle, 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 Durchmesser über 6 mm das gewaltsame Abtrennen des Stahlstückes von der Stange durch Einkerben an einer Seite und Abschlagen durch einen Hammerschlag. Dabei 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 Durchmesser als etwa 150 mm stellt man aus geschmiedeten Rohlingen her (Abschn. 34).

b) Ausmitten (Zentrieren). Schafffräser 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.

37. 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 Bohrstahl ausgeführt. Man reibt die Bohrung auf Schleifmaß mit $0,02 \cdots 0,03$ 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.

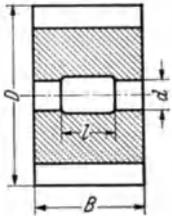


Abb. 71. Aussparen der Fräserbohrung.

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.

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

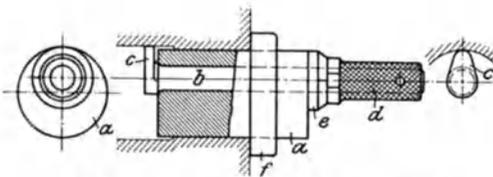


Abb. 72. Lehre zum Messen der Aussparung.

Durchmessers der Aussparung in der Bohrung.

38. Drehen. Weiterbearbeitet werden die gemitteten Schafffräser 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.

a) Drehdorne. Die Richtlinien für brauchbare Drehdorne sind bekannt. Eine Schutzsenkung soll nicht fehlen. Neben festen Drehdornen verwendet man die schnell und bequem zu handhabenden Spreizdorne¹ — entweder fliegend oder zwischen den Spitzen. Ihre Verwendung ist durch die Fräserlänge und die Genauigkeit ihres Rundlaufes beschränkt.

b) Kopierdrehen von Fräsern mit spitzen Zähnen, deren Kanten ungerade Linien sind (Abb. 73). An sehr vielen Drehbänken mit Kopiereinrichtungen wird die Kopierrolle nicht zwangsläufig geführt, wie in Abb. 74, sondern durch Federkraft gegen das Kopierlineal gedrückt. Hier sei auf den Unterschied in

¹ Zum Beispiel den STEBER-Spreizdorn (DRP.).

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 Schärfen 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 Arbeitsseite 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.

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.

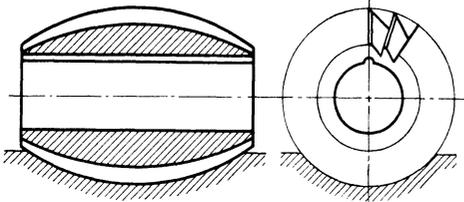


Abb. 73. Formfräser mit Spitzverzahnung.

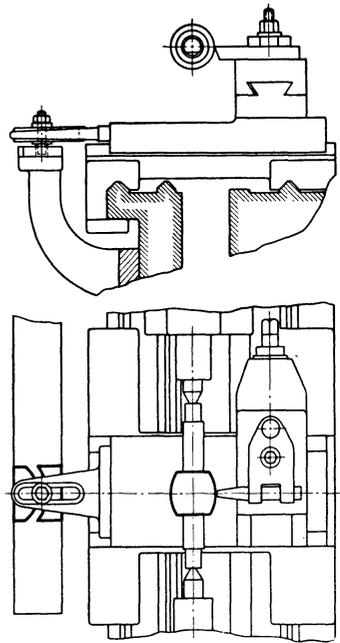


Abb. 74. Einrichtung zum Kopierdrehen.

das Profil des Fräasers (Abb. 73) auf der Drehbank kopiert werden, dann muß beim Aufreißen der Form auf die Kopierleiste in folgender Weise vorgegangen werden:

In Abb. 75 stelle die Kurve ab die Profilform des Fräasers dar. Die halbrunde Schneidkante des Drehstahles S mit Radius r und Mittelpunkt m berühre die Kurve ab . Gleitet sie nun ab entlang, dann beschreibt m eine Kurve cd , die zur Kurve ab abstandsgleich ist, d. h. an jeder Stelle um r von ihr entfernter liegt. Schlägt man nun um m mit dem Kopierrollenhalbmesser R einen Kreis und läßt den Mittelpunkt dieses Kreises sich auf der Kurve cd fortbewegen, dann beschreibt der Durchmesser des Kreises die zwei Kurven e_1f_1 und e_2f_2 , die gleichfalls zu ab den gleichen Abstand haben. Diese beiden Kurven ergeben dann die Formen für die Kopierleisten. In unserem Beispiel, in dem die Form der Kurve ein Kreisbogen ist, könnte man die für die Kopierleisten notwendigen Radien R_1 und R_3 leicht auch rechnerisch bestimmen.

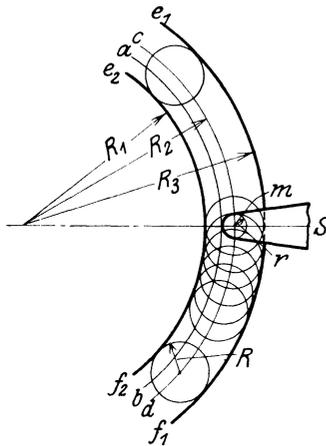


Abb. 75. Bestimmung des Kopierrollendurchmessers.

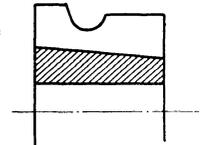


Abb. 76. Fräser mit steilem Profil.

Es läßt sich naturgemäß nicht jede Form in der vorbeschriebenen Weise kopieren. Fräser, deren Formen scharfkantige oder stark ansteigende Konturen aufweisen, wie Abb. 76, sind dafür nicht geeignet. Auch bei Fräsern wie Abb. 77,

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 Querschlitzen und Längsschlitzen von Hand und nimmt dabei vom Fräser so viel 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.

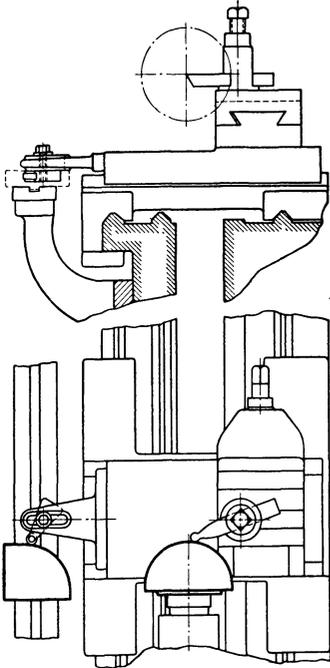


Abb. 77.
Herstellung eines Halbkugelfräasers.

c) Drehen mit Formstahl. Spitzzahnige Formfräser mit nicht zu breiten Abmessungen kann man auch mit einem Formstahl (Abb. 78) drehen, besonders wenn sie aus gewöhnlichem Werkzeugstahl bestehen. Hat man es einmal mit

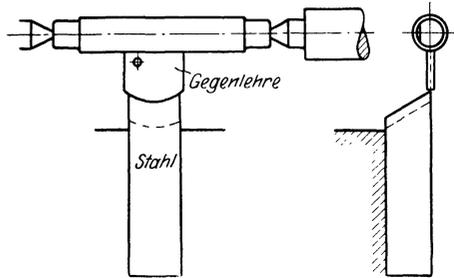


Abb. 78. Formdrehen mit Formstahl.

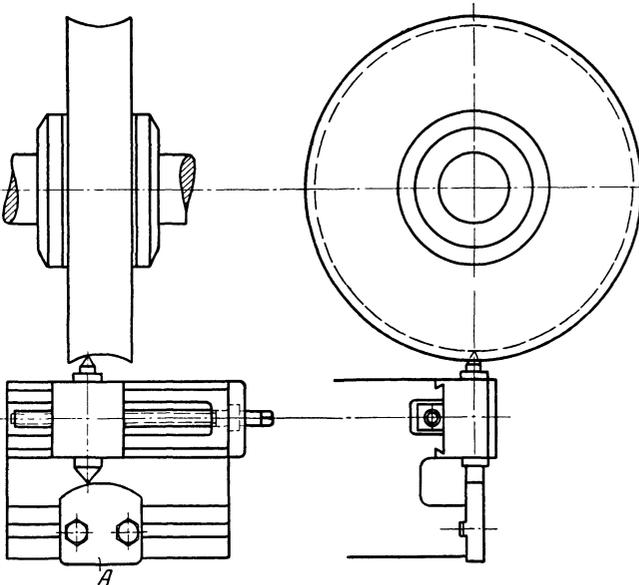


Abb. 79. Formschleifen mit Formscheibe.

einem besonders unangenehmen Werkstoff zu tun, dann kann man die vorgedrehte Form auch mit einer profilierten Schleifscheibe (Abb. 79) auf der Schleifmaschine fertig schleifen.

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. 79)

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 Formstahles, 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. 78).

Fräser wie Abb. 76 kann man auch mit profilierter Schleifscheibe nicht fertigmachen, 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.

39. Nuten. Wenn Fräserbohrungen genutet werden, so sollten die Nuten unbedingt nach DIN 138 bemessen werden. Die Vorteile derartiger genormter 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.

a) 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 auseinandersprennen. 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 Fräsersatzes hat, sehr groß sind. Das öftere Abnehmen der Fräser vom Fräsdorn erfordert dann viel Zeit.

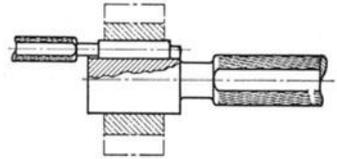


Abb. 80. Symmetriepfung von Nut und Bohrung.

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.

b) 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 Sonderkaliberdorn nachgeprüft werden, der nicht nur Breite und Tiefe, sondern auch die Symmetrie der Nute zur Bohrung mißt (ähnlich Abb. 80). 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.

c) Arten des Nutens. Die Nute wird mit Räumnadeln geräumt oder mit dem Stoßstahl auf einer senkrechten Stoßmaschine eingestoßen oder eingezogen. Es empfiehlt sich in jedem Fall, die Stoßstange im Tisch zu führen, wenn keine geeignete Nutenziehmaschine zur Verfügung steht. Um eine symmetrische Lage der Nute zur Bohrung zu erzielen, wird der Fräser durch einen prismatischen Anschlagwinkel gemittelt.

Als Notbehelf zum Nutenstoßen dienen Waagrechtstoßmaschinen und — für sehr lange Bohrungen — Tischhobelmaschinen. Die hierzu erforderliche Messerstange wird am hinteren Ende im Stahlhalter der Hobelmaschine gehalten.

d) Schleif- und Fräsnut. Satzfräser wie in Abb. 81 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. 81 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 so lange 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 einem Schleifdorn zusammen aufgespannt, werden beim Schärfen gleichmäßig angegriffen, sie ver-

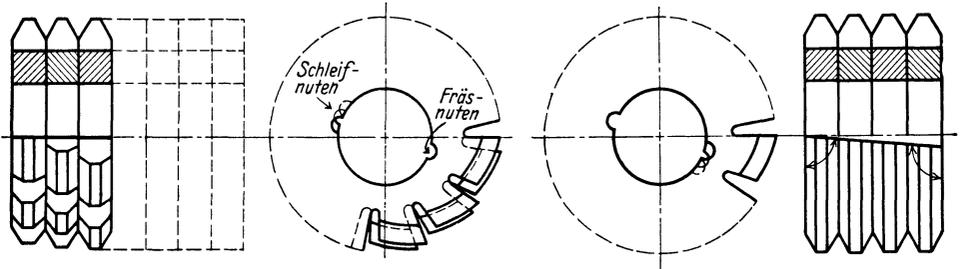


Abb. 81.

Schleif- und Fräsnuten bei Satzfräsern.

Abb. 82.

ändern also gleichmäßig ihre Durchmesser. Das zeitraubende Messen der Fräserdurchmesser, 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 Fräserzahn gegen die seines benachbarten Zahnes etwas zurückliegt, so daß die Spanflächen der Fräser im Satz eine Spiralfäche bilden (Abb. 82). 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 übereinander, verteilt die Zahnluken dabei so, wie sie auf dem Fräsdorn sitzen sollen und stößt dann die Nuten ein. Neben dem Stoßen der Nuten findet das Räumen der Nuten Verbreitung. Es bedarf dazu nicht immer Sondermaschinen, häufig genügen hydraulische Pressen, in die man das Räumwerkzeug einspannt.

So umständlich diese Verteilung der Zähne eines Satzfräses 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 spiralig ein, so erhielt jeder Zahn rechts und links verschiedene Schnittwinkel, einen spitzen und einen stumpfen (Abb. 82). Stumpfwinklige Schneidkanten können aber nicht schneiden, sie drücken nur, erzeugen

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

40. Fräsen der Zähne. a) Aufnahme. Zur Aufnahme der Fräserrohlinge beim Fräsen dienen einfache Drehdorne, Aufspanndorne mit Spanmutter (Abb. 83) und fliegende Dorne (Abb. 84). 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 dem 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.

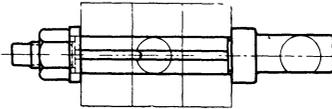


Abb. 83.
Aufspann- und fliegende Dorne.

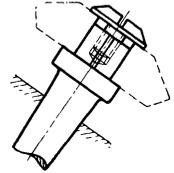


Abb. 84.

b) Fräsen vielzahniger Fräser¹ mit geraden oder wenig geneigten Zähnen. Wahl der Fräser. Für die Mantelfläche von Walzen- oder Scheibenfräsern soll man doppelseitige Winkelfräser (Abb. 85) benutzen, während für die Seitenzähne an Scheibenfräsern oder für die Zähne an winkligen Fräsern nur einseitig abgeschrägte Winkelfräser (Abb. 86) 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.

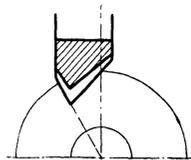


Abb. 85.
Fräser zur Herstellung der Spannuten bei Mantel- und Seitenschneiden.

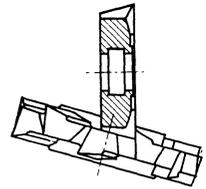


Abb. 86.

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.

c) 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 Zahnücken dienen hinterdrehte Formfräser, deren Kon-

¹ Vgl. Z. VDI 1934 S. 156, 1222.

struktions in Abb. 44 dargestellt ist¹. Die Verwendung eines doppelseitig schneidenden Fräasers ist hierbei Bedingung, da die Zahnbrust eines spiraligen Zahnes eine gewundene Fläche ist. Ein einseitig abgeschrägter Fräser würde die Zahnbrust überschneiden (Abb. 87 A), so daß ein Spanwinkel entstände, der zum Fräsen

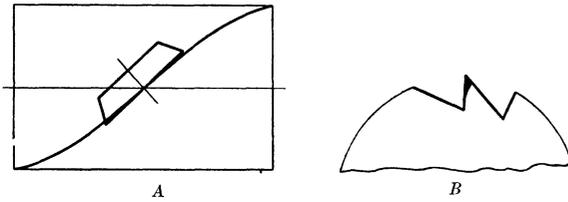


Abb. 87. Fehlerhaftes Fräsen von Mantelzähnen.

völlig ungeeignet wäre (Abb. 87 B). Durch eine Lehre (Abb. 88) 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.

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

d) 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. 89, bei denen die äußere Form und darum auch der Zahngrund Kreisbögen 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. 89 u. 90). Den senkrecht eingespannten Arbeitsfräser stellt man nach dem Zahngrundkreis ein. Bei nicht genügend großem Durchmesser der Aufspannfläche des Rundsupports befestigt man eine Platte auf ihm, auf die man den Teilkopf oder Teilapparat aufschraubt.

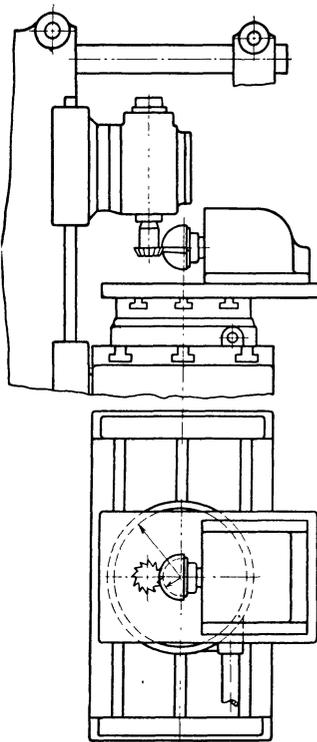


Abb. 89.

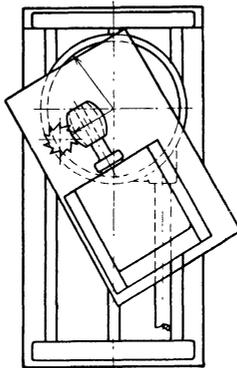


Abb. 90.

Herstellung von Fräsern, deren Zahngrund keine geraden Linien sind.

Die geeignetste Fräsmaschine für solche Arbeiten ist die Senkrechtfräsmaschine,

¹ Siehe auch IONEN: Herstellung und Schleifen spiralverzahnter Fräser. Anz. Masch.-Wes. 1942 Nr. 14.

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 Fräsapparat (Abb. 89) zu Hilfe nehmen, der auf die Prismenführung des Fräsmaschinenständers aufgespannt und von der Hauptarbeitsspindel der Fräsmaschine durch Kegel- und Stirnräder angetrieben wird.

e) Einstellung des Teilkopfes. Da sich die Zahnücke bei Scheiben- und Winkelfräsern nach der Mitte des Fräasers zu in ihrer Breite und Tiefe verzüngen muß, damit eine gleich breite Fase entsteht, wird der Fräser so geneigt, daß der Grund der Zahnücke parallel zum Frästisch liegt (Abb. 91). 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: für ebene Flächen (Abb. 91):

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

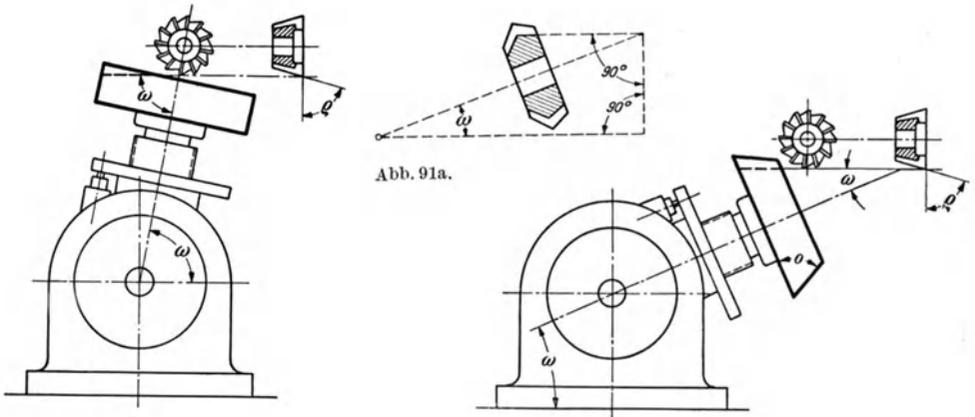


Abb. 91 u. 92. Einstellung des Teilkopfes.

für kegelige Flächen (Abb. 92): Einstellwinkel $\omega = \omega_1 - \omega_2$ (= Differenz zweier Hilfswinkel), wobei ω_1 und ω_2 zu errechnen sind aus:

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \cos \tau \operatorname{ctg} \varrho \quad \text{und} \quad \sin \omega_2 = \operatorname{tg} \tau \operatorname{ctg} \varrho \sin \omega_1$$

(Tabellen KLINGELNBERG, Technisches Hilfsbuch IX, S. 561)

Die Tiefe der Zahnücke richtet sich nach der Teilung und dem Winkel des Zahnes. Der Arbeitsfräser 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 $0,2 \cdots 0,3$ 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 mißt man den Fräser zwischen Spitzen mit einer Meßuhr, die nach einem Zylinder auf den richtigen Durchmesser eingestellt wurde. Die Einstellung des Teilkopfes wird ausführlich behandelt in Heft 6 der Werkstattbücher „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. 93) leicht errechnet werden aus der Formel

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

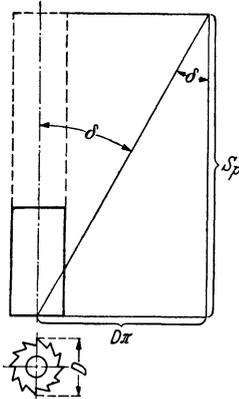


Abb. 93. Einstellung der Spiralsteigung.

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.

Man benutze darum, wenn irgend möglich, den Aufspanndorn mit Federnut (Abb. 83) und sichere den Fräser gegen Verdrehung durch Federkeil. Die Zahn-
lücken der hinterdrehten Fräser werden mit Fräsern nach Abb. 94 u. 95 ein-

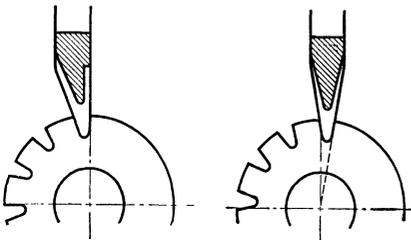


Abb. 94.

Abb. 95.

Fräser für die Spanntutenherstellung hinterdrehter Fräser.

gearbeitet, und zwar dient Abb. 94 nur für gerade Zähne, während man Abb. 95 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. 88).

Vor dem Hinterdrehen müssen sowohl Bohrung wie Seitenflächen des Fräsers leicht überschleifen werden, damit der durch etwaige vorhergegangene Stempelung her-

ausgetriebene und hervorstehende Werkstoff keine Ursache zu einem seitlichen Schlag des Fräsers 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 Fräsers nach jedem Arbeitsgang sollte darum eine Selbstverständlichkeit sein.

b) Arten des Hinterdrehens. Um dem Fräser auf der Hinterdrehbank die

gewünschte Form zu geben, hat man zwei Möglichkeiten. Man kann ihn mit einem Formstahl hinterdrehen, der genau das Profil des Fräasers hat, oder man kann die Form auch in mehreren Hinterdrehstufen mit verschiedenen Hinterdrehstählen einarbeiten.

Den Formstahl verwendet man, wenn sich seine Anfertigung 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. Hinterdrehbänke mit selbsttätiger Spanzustellung vergrößern dann noch den Vorteil.

Die stufenweise Herstellung wählt man nur dann, wenn kein zweiter Fräser hergestellt zu werden braucht und man darum den teuren Hinterdrehstahl 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. 96), der für eine Hebelform, wie Abb. 97, benötigt wird, die

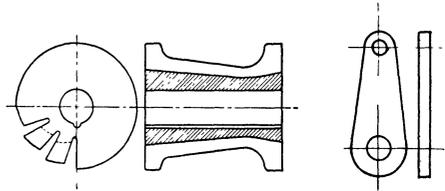


Abb. 96.

Abb. 97.

Fräser für einen Hebel nach Abb. 97.

Form in der in Abb. 98a, b, c dargestellten Weise einarbeiten, um den Hinterdrehstahl mit ganzer Form (Abb. 99) zu umgehen. Diese Herstellungsweise bedingt wohl etwas höhere Löhne, ist aber im ganzen doch billiger, wenn

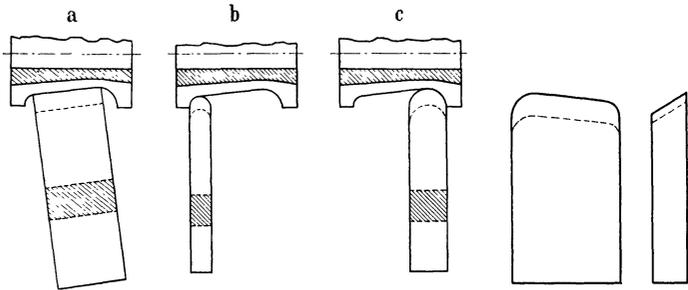


Abb. 98.

Abb. 99.

Formdrehen des Fräasers für den Hebel nach Abb. 97.

der Hinterdreher beim Fertighinterdrehen gut aufmerkt, so daß er zuletzt die Formen nicht mehr angreifen und die bereits fertiggestellten Stellen nicht nochmals nacharbeiten muß.

Ein etwas anderes Verfahren ist für breite Gewindefräser üblich. Während schmale, geradnutige Gewindefräser mit einem genügend breiten Hinterdrehstahl mit einem Mal hinterdreht werden, hinterdreht man Fräser breiter als etwa 35 mm in mehreren Arbeitsgängen (Abb. 100), da man den Hinterdrehstahl mit Rücksicht auf die Teilungsänderungen beim Härten nicht gern breiter als 40 mm macht.

Spiralgenutete Gewindefräser werden, da die Herstellung eines breiten Hinterdrehstahles zu teuer würde, nur mit einem einzahnigen Stahl hinterdreht. Man muß dabei den Werkzeugschlitten der Steigung entsprechend weiter bewegen und dem Gewindefräser der Steigung der Spirale von Gang zu Gang entsprechend Vor- oder Nacheilung geben. Damit der Fräser ein Profil erhält, das beim Fräsen ein richtiges Gewinde gibt — soweit das beim spiral-

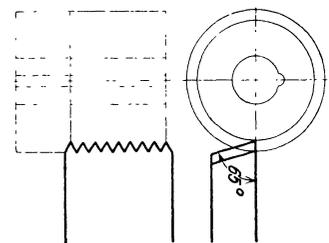


Abb. 100. Herstellung eines breiten Gewindefräasers.

genuteten 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 eindreht¹.

Kopieren. Ein weiteres Verfahren beim Hinterdrehen ist das Kopieren mit einem an der Hinterdrehbank angebrachten Kopierlineal (Abb. 101). Hierbei sind nur das Kopierlineal und eine Gegenlehre anzufertigen. Der Hinterdrehstahl ist ein einfacher halbrunder 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. 101) befestigt. Der Kopierstift wird gegen das Kopierlineal gepreßt und gleitet beim Verschieben des Bettschlittens in der Längsrichtung am Kopierlineal entlang. Der Werkzeugschlitten wird dabei vor- oder zurückgedrängt, so daß die Bewegung des Hinterdrehstahles genau der Kurve des Kopierlineals entspricht.

Der Bettschlitten kann von rechts nach links oder auch umgekehrt von links nach rechts verschoben werden. Bei schlanken Formen, wie z. B. in Abb. 99, folgt der durch Federdruck an das Kopierlineal herangedrückte Kopierstift den Formen des Kopierlineals in jeder Stellung. Bei Formen, wie in Abb. 102, bei denen einzelne Teile sich einem

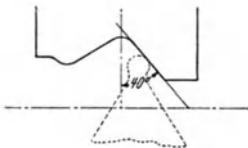


Abb. 102.

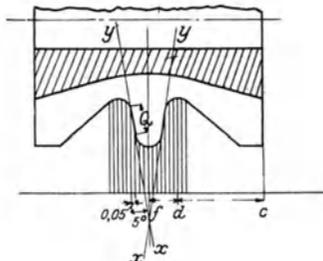


Abb. 103.

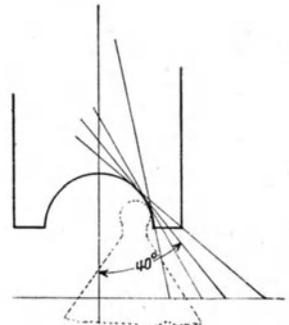


Abb. 104.

Abb. 102...104. Hinterdrehen steiler Profile.

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.

¹ Vgl. MÜLLER: Gewindefräsen. Werkstattbuch Heft 1.

Man kann wohl bei Beginn derartiger stark steigender Kurven den Span unterbrechen und, nachdem man, wie z. B. Abb. 103, die Form von c bis d bearbeitet hat, dann die Schräge fd , 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. 103 und nachstehender Rechnung leicht klarmachen kann. Der Bettschlitten, und damit der Hinterdrehstuhl und der Kopierstift, werden mit einem Vorschub von 0,05 mm bei jeder Umdrehung des Fräasers vorgeschoben. Bei parallel zur Fräserachse liegenden Profilkanten würde die bearbeitete Strecke bei diesem Vorschub ebenfalls 0,05 mm betragen, dagegen würde für die Kante xy , die unter einem Winkel von 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 $Q = 0,05/\sin 5^\circ$.

Bei Formen mit Halbkreisprofilen, wie Abb. 104, 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. 105, können nicht kopiert werden, denn der Kopierstift 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.

e) Hinterdrehen der Schaftfräser. Während das Hinterdrehen rechts-

schneidender Schaftfräser keine Schwierigkeiten macht, sind für linksschneidende besondere Maßnahmen nötig. Entweder muß man die Hinterdrehbank linksherum laufen lassen — dann muß der Hinterdrehstuhl mit seiner Spanfläche nach unten gekehrt sein (Abb. 106) und zwischen die Zahn-

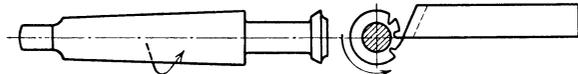


Abb. 106.

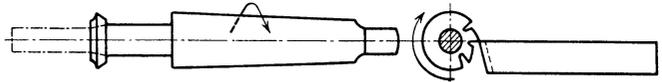


Abb. 107.

Abb. 106 u. 107. Drehen hinterdrehter Schaftfräser.

räder für den Antrieb der Kurven muß ein Zwischenrad geschaltet werden, damit die Drehrichtung der Kurven unverändert bleibt — oder aber man läßt am Stirnende des Schaftfräasers einen Spanzapfen stehen (Abb. 107, gestrichelt) und hinterdreht wie bei einem rechtsschneidenden Fräser. Der Spanzapfen wird, wenn nötig, nach Fertigstellung des Fräasers entfernt.

d) Hilfswerkzeuge. Zur Herstellung der Formfräser und zu ihrer Prüfung

sind in jedem Fall Lehre und Gegenlehre notwendig, wie z. B. für Fräser Abb. 96 die Lehren Abb. 108 und Abb. 109. Beim stufenweisen

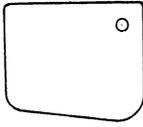


Abb. 108.



Abb. 109.

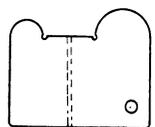


Abb. 110.

Abb. 108...110. Lehren für Fräser nach Abb. 96.

Ausarbeiten empfiehlt sich, um die richtige Lage der einzelnen Formen prüfen zu können, noch eine Hilfslehre (Abb. 110), die keine großen Kosten verursacht, da die Hauptlehre vorhanden ist, von der die Teilformen abgenommen werden können.

Bei geradlinigen Formfräsern, wie Abb. 111, 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 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.

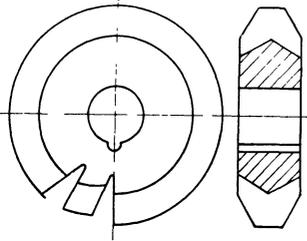


Abb. 111. Geradliniger Formfräser.

Soll z. B. der Fräser (Abb. 96) 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,

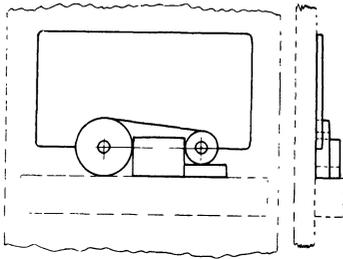


Abb. 112. Zusammensetzen einer Formlehre.

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.

Dazu kann man sich manchmal, wie z. B. bei dem Hebel, Meßscheiben und Endmaße zusammenbauen (Abb. 112), indem man sie auf eine Glasscheibe leicht festkittet, damit sie sich beim Prüfen der vorgearbeiteten Gegenlehre nicht hin und her schieben. Man berichtigt von den Lehren für den Fräser Abb. 96 zweckmäßig die Gegenlehre zuerst, da sich ihre hohle Form nach Abb. 112 leichter prüfen läßt als die erhobene Form der Lehre.

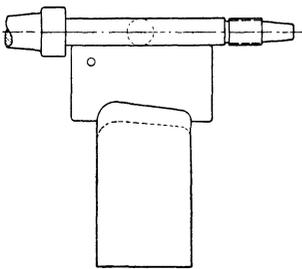


Abb. 113.
Einstellen des Hinterdrehstahls.

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. 113).

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 an-

gegebene 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. 114).

Um die Herstellung solcher Formen zu erleichtern, hat man optische Profilschleifmaschinen entwickelt (Abb. 115: Schema der Maschine von Loewe-Gesürel). Ein Storchschnabellenker, dessen Gleitstift auf einem vergrößerten Aufriß der Form von Hand entlang geführt wird, steuert den Schleifschlitten, dessen Tellerscheibe die Form *Lichtquelle* in das vorgearbeitete Werkstück überträgt. Die Arbeit der Scheibe wird durch ein Mikroskop betrachtet.

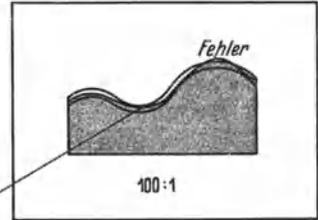


Abb. 114. Projektion einer Lehre. (Nach H. SCHMIDT.)

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

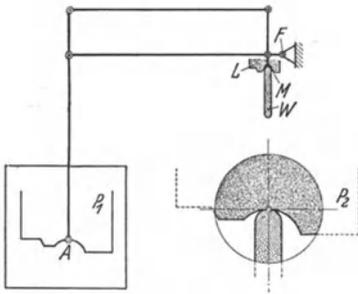


Abb. 115. Prinzip einer optischen Profilschleifmaschine.

e) Die Herstellung der Hinterdrehstähle kann man für geradnutige Fräser dadurch erleichtern, daß man die Gegenlehren als Schabestähle



Abb. 116. Gegenlehre als Schabestahl.

ausführt und damit den gut vorgearbeiteten Hinterdrehstahl fertig schabt.

Die Gegenlehre als Schabestahl (Abb. 116) wird je nach Breite der Form aus einem etwa 6·0·8 mm dicken Werkzeugstahl hergestellt und gehärtet. Dieser Schabestahl wird dann in einem besonderen Halter einer waagerechten Stoßmaschine (Shaping-Maschine) oder einer Sondermaschine derart schräg eingespannt (Abb. 117 u. 118), daß die Oberfläche *ab* des Schabestahles genau parallel zur Oberfläche *cd* des unter einem Winkel α (in Abb. 117 = 55°) auf eine Vorrichtung aufgespannten Hinterdrehstahles liegt.

Die Notwendigkeit einer solchen Aufspannung wird klar aus Abb. 118. 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

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. 118 gestrichelt) den Hinterdrehstahl nachschaben, dann würde sein Profil falsch werden.

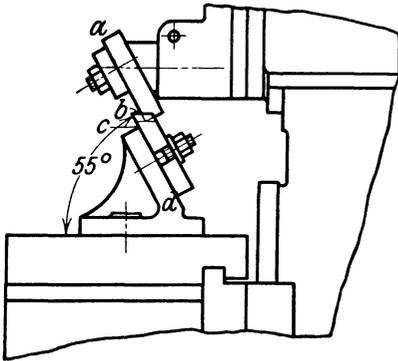


Abb. 117.

Schabestahleinstellung.

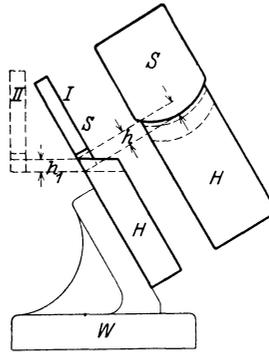


Abb. 118.

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

Den Winkel β_H des Hinterdrehstahles *H* (Abb. 119), der gleich $90^\circ - (\alpha + \alpha_H)$ ist, wählt man so groß, daß bei dem vorgeschriebenen Hinterdrehwinkel α

sich noch ein Frei-

winkel 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 Schaben der Hinterdrehstähe 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. 117

angenommen.

Um die Gleichmäßig-

keit nach dem Schärfen

prüfen zu können, be-

nutzt man die Gegen-

lehre, indem man sie

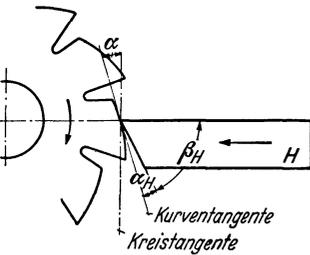


Abb. 119.

Kurventangente
Kreistangente

auf Endmaße auf eine Glasscheibe legt und mit der Form des abgeschliffenen Stahles vergleicht (Abb. 120).

Wie oben erwähnt, führt man bei nicht zu verwickelten Profilen, z. B. Radiusfräsern, Formfräser wegen der bedeutend besseren Schnittleistung mit

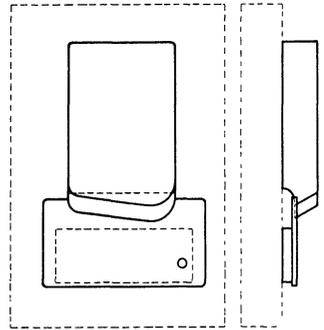


Abb. 120. Formvergleich des Drehstahles mit der Gegenlehre.

unterschnittenen Zähnen,

d. h. mit positivem Span-

winkel aus. Geht die Zahn-

brust nicht durch die Fräser-

mitte, so muß das Fräser-

profil allerdings geändert

werden, damit die richtige

Form am Werkstück ent-

steht. Die neue Profilform

kann konstruiert oder so

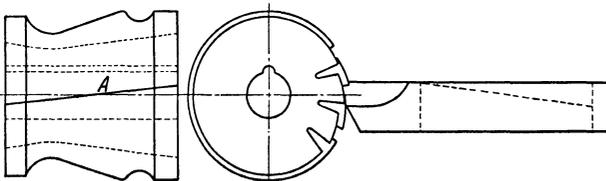


Abb. 121. Hinterdrehen eines Fräasers mit Spiralzähnen.

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 Hinterdrehstähen für Fräser mit Spiralzähnen (Abb. 121). Durch die Spiral-

nut 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. 122) und danach Lehre, Gegenlehre und Hinterdrehstahl anfertigen; aber genauer und zuverlässiger ist folgender Weg:

Man fertigt Lehre und Gegenlehre mit dem normalen Profil an, dreht dann die Form des Fräasers nach der Lehre fertig, fräst die Spiralnut 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 zum Fräser gebracht werden kann (Abb. 123).

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 $5 \cdots 10^\circ$. 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 Spiralnut ist ja erreicht: Der Fräser arbeitet durch seine spiraligen Zähne nicht ruckweise.

42. Bezeichnen. a) 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 Werkstoff.

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.

b) Stempeln von Hand (durch Hammerschlag) wendet man nur bei einzelnen Stücken an oder bei Fräsern, deren Form bei maschineller Bezeichnung besondere Unterlagen erfordert oder deren Bezeichnungsfäche eine andere Art des Bezeichnens nicht zuläßt.

c) Bezeichnungs- oder Graviermaschinen 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. 124) benutzt, die auf ihrer Mantelfläche die eingravierten Bezeichnungstypen, wie Firmen oder

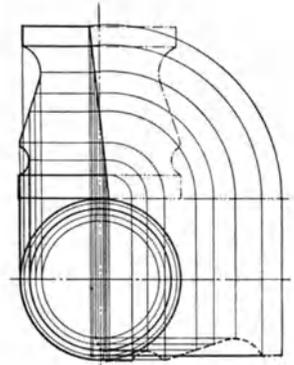


Abb. 122. Bestimmung der Profilverzerrung durch Projektion.

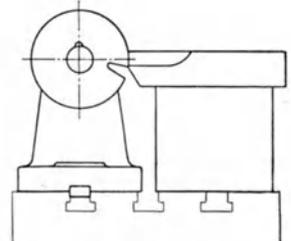


Abb. 123. Aufspannung des Drehstahls bei der Profilkorrektur.

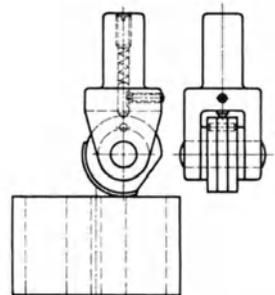


Abb. 124. Stempelrädchen.

Fabrikmarken, tragen. Runde Stücke können dagegen nur mit flach gravierten Stempeln bezeichnet werden (Abb. 125). 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.

Runde Werkstücke, wie Schäfte von Fingerfräsern, müssen auf alle Fälle in Prismen (Abb. 125) oder besser in Rollen (Abb. 126) liegen, damit sie sich leicht um ihre Achse drehen, aber nicht fortrollen können.

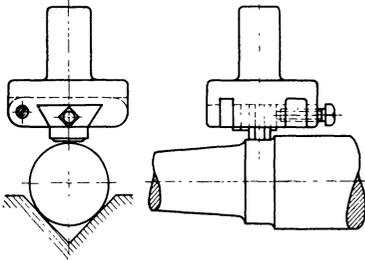


Abb. 125. Flachstempel.

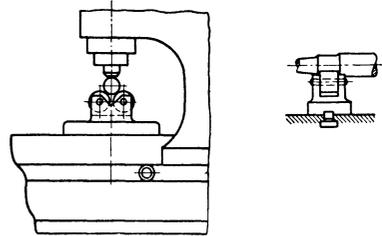


Abb. 126. Rollenaufnahme.

Da der Firmastempel immer gleichbleibt, 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 Gegenstände, 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.

d) Ätzung verwendet man hauptsächlich bei dünnwandigen Fräsern nach dem Härten, bei denen sich das Einschlagen oder Eindrücken der Bezeichnung im weichen Zustand verbietet¹.

e) Der Apparat zur elektrischen Bezeichnung 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.

43. Loch- und Nabenschleifen. a) Notwendigkeit des Schleifens. Die Fräser werden nach dem Härten nachgeschliffen: in der Bohrung, 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

¹ Über neuzeitliche Ätzverfahren siehe WENDE: Werkst.-Techn. 1931 S. 125. — RIEDER: Ebenda 1935 S. 347; ferner Heft 9: Rezepte für die Werkstatt.

Toleranz zu halten. Es kommt auf die zulässige Gesamttoleranz 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 hochdralligen Fräsern mit geringer Zähnezahl erleichtert allerdings das Rundschleifen das Scharfschleifen.

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

b) Lochschleifen. An neuzeitlichen Lochschleifmaschinen sind besonders bequeme Ausmitt- und Spannfüter 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 kegeligem Ansatz, der sich gegen den Rand der Fräserbohrung legt, ausmitten (Abb. 127).

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

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. 128), 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. 129 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 einer Profilform zu mitteln und also die Bohrung laufend zum Profil auszuschleifen.

c) Nabenschleifen. Wenn man die Nabenflächen der Fräser als Anlagefläche für das Schleifen der Bohrung benutzt, so müssen diese vor der Bohrung

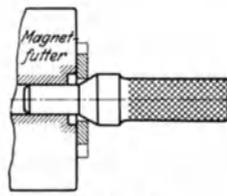


Abb. 127.

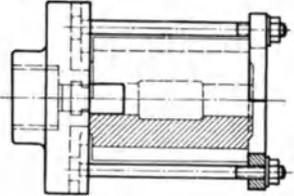


Abb. 128.

Abb. 127 u. 128. Ausmitten beim Lochschleifen.

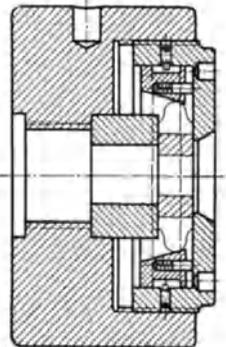


Abb. 129. Zentrierfutter.

geschliffen werden. Die Nabenflächen werden meist nach Abb. 130 geschliffen. Um ein Verspannen des Fräsdornes durch ballige Nabenflächen 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. 131) 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. Wenn der Fräser genutet ist, muß man härtere Scheiben als bei ungenuteten Bohrungen verwenden.

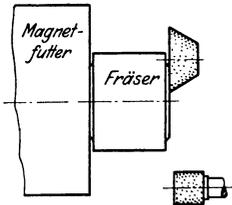


Abb. 130.

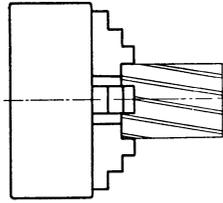


Abb. 131.

Abb. 130 u. 131. Nabenschleifen.

44. Scharfschleifen und Instandhalten der Fräser¹. a) 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 Abschn. 10). 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. Um einen genau rundlaufenden Fräser zum Schlichten einsetzen zu können, schleift man den Fräser auf dem Fräsdorn zu-

¹ Siehe Anz. Masch.-Wes. 1942 Nr. 14.

nächst rund und schleift dann die Rückenfläche nur so weit, daß eine schmale Rundschliffase von höchstens 0,1 mm Breite stehen bleibt. Für Feinstfräsarbeiten hat man schon die Fräser-schneiden maschinell geläpft.

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. 132). 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 Dornschlag) 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. 133).

Die Führungszunge soll so breit sein, daß der Zahn noch abgestützt wird, wenn ihn die Schleifscheibe schon verlassen hat. Die Führungszunge soll sich

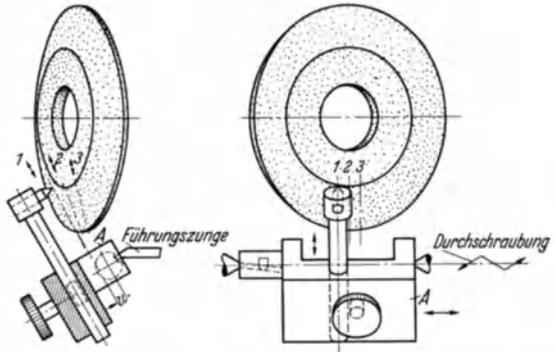


Abb. 132. Vorrichtung zum Abrichten von Schleifscheiben. (Nach Loewe-Notizen 1934.) A = Halter.

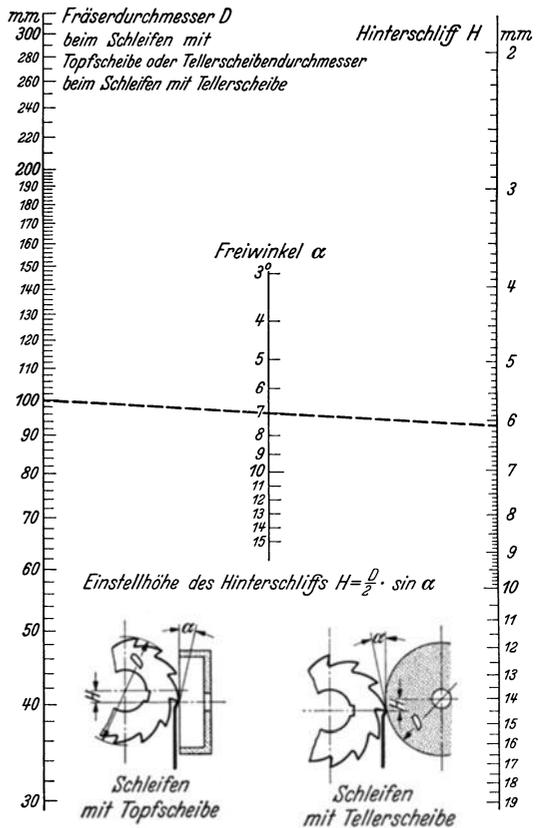


Abb. 133. Rechentafel für die Einstellung der Schleifscheibe beim Schleifen des Freiwinkels.

beim Schleifen nicht abbiegen und sich in der Zahnnut nicht klemmen. Auf die 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 Verziegens 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, schartenfreien Flächen erhalten werden. Die Drehrichtung der Schleifscheiben soll stets der Zahnbrust entgegengerichtet sein, um jede Gratbildung an der Schneide zu verhindern.

War man gezwungen, mit einer grobkörnigen Scheibe viel Stoff abzunehmen, so ist mit einer feineren Scheibe bei kleinem, gleichmäßigem Vorschub fertig zu schleifen, was eine gewisse Übung erfordert. Für besondere Ansprüche empfiehlt sich, nach dem Schliff die Schneide mit dem Ölstein abzuziehen. 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. Schlagfreie Fräsdorne sind hier besonders wichtig.

b) Hinterdrehte Fräser². 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. 134 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 $l = R \sin \gamma$ aus der Mitte gerückt werden (Abb. 135). Wird die Schleifscheibe unsorgfältig eingestellt, so tritt eine Profilverzerrung beim Fräsen ein, die sich besonders bei Gewindefräsern unangenehm bemerkbar macht (Abb. 136 u. 137).

Schleift man nämlich die Zahnbrust so, daß sie nach hinten geneigt ist (in Abb. 136 der Deutlichkeit halber bei s 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

¹ Näheres siehe Heft 62: Hartmetalle in der Werkstatt.

² WILHELM: Hinterschliffene Formfräser. Masch.-Bau 1937 S. 555 (Geräte zur Ermittlung der Profilverzerrung und zum Schleifen).

der Schneidkante b in r_2 mit der Schnittkante s verändert. Wird die Zahnbrust unter sich geschliffen, wie in Abb. 137 übertrieben gezeichnet, dann vergrößert sich das Gewindeprofil, wie aus der Figur zu erkennen ist.

Die Verwendung 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 so lange an der Brust nachschleift, bis die Schneidkanten aller Zähne wieder auf einem zur Bohrungsachse mittigen Kreise liegen. Dabei muß natürlich die Teilung 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

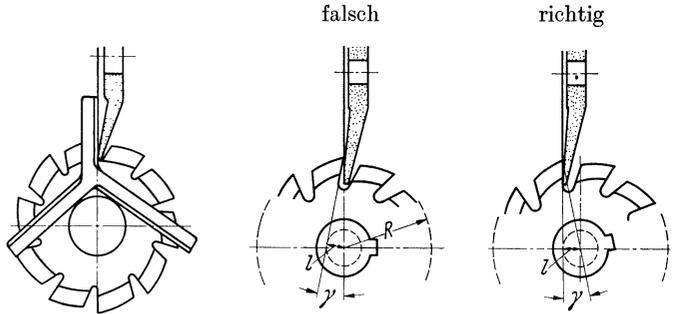


Abb. 134.

Abb. 135.

Abb. 134 u. 135. Scharfschleifen der Fräserbrust.

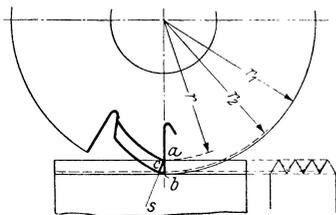
Spanwinkel = 0° 

Abb. 136.

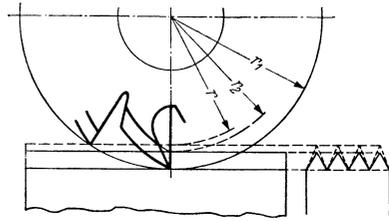
Spanwinkel $> 0^\circ$ 

Abb. 137.

Abb. 136 u. 137. Profilverzerrung bei falschem Anschliff der Zahnbrust von Gewindefräsern.

hinterdrehten Zähnen ohne Rücksicht auf die Zahnteilung so lange an der Zahnbrust nach, bis die Meßuhr an allen Zähnen des Fräfers 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 obengenannten 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 Kopfkanten des Fräasers auf einer Rundschleifmaschine leicht „anschlägt“ und so lange 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.

V. Fräser und Fräsmaschinen.

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 Fräs Werkzeug die Rede war, hier einige Hinweise auf den Zusammenhang zwischen Werkzeug und Maschine gegeben werden.



Abb. 138. Standard-Fräsmaschine von 1907.

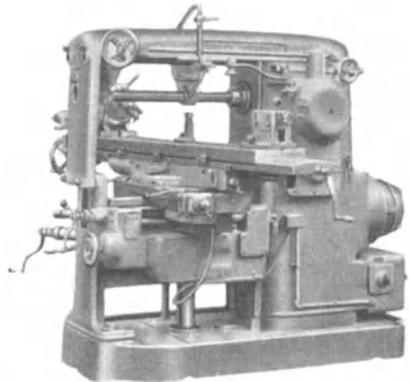


Abb. 139. Neuzeitliche Hochleistungs-Fräsmaschine.

Aus der „Standard-Fräsmaschine“ des Jahres 1907 (Abb. 138) entwickelte sich die neuzeitliche „Hochleistungsmaschine“ (Abb. 139) mit vielstufigem, gegebenenfalls bis zur Stufenlosigkeit schaltbarem Getriebe, etwa dem 5fach stärkeren

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: Wälzfräsen. — *Stock-Fräser-Handbuch*.

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. 140) 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 sich widersprechen: z. B. die Forderung nach gutem Späneabfluß und die Möglichkeit guter Sicht bei Gesenkarbeiten können Waagrecht- oder Senkrechtfräsmaschine als vorteilhaft erscheinen lassen. Man denke auch an die zahlreichen Sonderfräsmaschinen (Rundlauf-, Gewinde-, Kopierfräsmaschinen) und an Fräsvorgänge wie das Pendelfräsen.



Abb. 140. Neuzzeitliche Mehrzweck-Fräsmaschine.

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 siehe S. 8), 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?

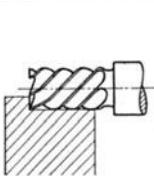


Abb. 141.

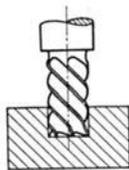


Abb. 142.

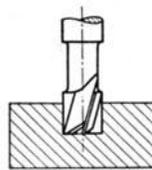


Abb. 143.

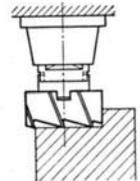


Abb. 144.

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. 141 zu verwenden, nicht dagegen zur Herstellung nutenartiger Ausfräsungen, Schlitze usw. nach Abb. 142. Hierfür sind Langlochfräser mit

wenigen, kräftigen, kurzen Schneiden besser geeignet (Abb. 143). Ebenso empfiehlt es sich, für größere Leistung bei Stirnarbeit statt des verhältnismäßig schwachen Schafffräasers den gedrunenen, widerstandsfähigeren Walzenstirnfräser (Abb. 144) bzw. den Messerkopf zu verwenden.] Hat das Werkzeug richtige Schnittwinkel? Sind die Schneiden nicht schartig, stumpf oder durch falsches Schleifen ausgeglüht? Schlägt der Fräser?

Werkzeugspannung 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? Beim Fräsen ist der Einfluß der Vorrichtungen besonders groß.

Zum Schluß sei auf die Schrifttumsübersicht über Fräsen und Fräser hingewiesen in

Masch.-Bau 1934 S. 655 und über Sägen in
Masch.-Bau 1934 S. 39.

III. Spanlose Formung (Fortsetzung)

Heft

Gesenkschmiede I (Gestaltung und Verwendung der Werkzeuge). 2. Aufl. Von H. Kaessberg	31
Gesenkschmiede II (Herstellung und Behandlung der Werkzeuge). Von H. Kaessberg	58
Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle). Von A. Peter	41
Die Herstellung roher Schrauben I (Anstauchen der Köpfe). Von J. Berger	39
Stanztechnik I (Schnittechnik). 2. Aufl. Von E. Krabbe	44
Stanztechnik II (Die Bauteile des Schnittes). 2. Aufl. Von E. Krabbe	57
Stanztechnik III (Grundsätze für den Aufbau von Schnittwerkzeugen). Von E. Krabbe	59
Stanztechnik IV (Formstanzen). Von W. Sellin	60
Die Ziehtchnik in der Blechbearbeitung. 3. Aufl. Von W. Sellin	25
Hydraulische Preßanlagen für die Kunstharzverarbeitung. Von H. Lindner	82

IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 5. Aufl. Von P. Schimpke	13
Das Lichtbogenschweißen. 3. Aufl. Von E. Klosse	43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. Von Rud. Hesse	74
Widerstandsschweißen. Von Wolfgang Fahrenbach	73
Das Schweißen der Leichtmetalle. Von Theodor Ricken	85
Das Löten. 3. Aufl. Von W. Burstyn. (Im Druck)	28
Das ABC für den Modellbau. Von E. Kadlec	72
Modelltischlerei I (Allgemeines, einfachere Modelle). 2. Aufl. Von R. Löwer	14
Modelltischlerei II (Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen). 2. Aufl. Von R. Löwer	17
Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei. Von Fr. und Fe. Brobeck	37
Der Gießerei-Schachtofen im Aufbau und Betrieb. 3. Aufl. von „Kupolofen-Betrieb“. Von Joh. Mehrrens	10
Handformerei. Von F. Naumann	70
Maschinenformerei. Von U. Lohse	66
Formsandaufbereitung und Gußputzerei. Von U. Lohse	68

V. Antriebe, Getriebe, Vorrichtungen

Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine. Von O. Weidling	54
Hohe Drehzahlen durch Schnellfrequenz-Antrieb. Von Fritz Beinert und Hans Birett Stufengetriebe an Werkzeugmaschinen mit kreisender Hauptbewegung. 2. Aufl. Von Hans Rößnitz. (Im Druck)	84
Maschinelle Handwerkzeuge. Von H. Graf	55
Die Zahnformen der Zahnräder. 2. Aufl. Von H. Trier	79
Die Kraftübertragung durch Zahnräder. Von H. Trier	47
Einbau und Wartung der Wälzlager. Von W. Jürgensmeyer	87
Teilkopfarbeiten. 3. Aufl. Von W. Pockrandt. (Im Druck)	29
Spannen im Maschinenbau. Von F. Klautke	6
Der Vorrichtungsbau I (Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze). 4. Aufl. Von F. Klautke †	51
Der Vorrichtungsbau II (Typische Einzelvorrichtungen, Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen). 4. Aufl. Von F. Klautke †	33
Der Vorrichtungsbau III (Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vor- richtungen). 2. Aufl. Von F. Grünhagen	35
	42

VI. Prüfen, Messen, Anreißen, Rechnen

Werkstoffprüfung (Metalle). 3. Aufl. Von P. Riebensahm. (Im Druck)	34
Metallographie. 2. Aufl. Von O. Mies	64
Technische Winkelmessungen. 2. Aufl. Von G. Berndt	18
Messen und Prüfen von Gewinden. Von K. Kress	65
Das Anreißen in Maschinenbau-Werkstätten. 3. Aufl. Von H. Mauri. (Im Druck)	3
Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau. Von A. Dorl	38
Technisches Rechnen I. 2. Aufl. Von V. Happach	52
Technisches Rechnen II. 2. Aufl. Von V. Happach. (Im Druck)	90
Der Dreher als Rechner. 3. Aufl. Von E. Busch	63
Feinstarbeit, Rechnen und Messen im Lehren-, Vorrichtungs- und Werkzeugbau. Von E. Busch und F. Kähler	86
Prüfen und Instandhalten von Werkzeugen und anderen Betriebsmitteln. 2. Aufl. Von P. Heinze. (Im Druck)	67