

DIE DIMENSIONIERUNG DER RÄUMNADELN

Von

K. BAKONDI

Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 26. Juli, 1971)

Die Zerspanungswerkzeuge sind heutzutage allgemein gesucht. An die Werkzeuge werden von Jahr zu Jahr größere Anforderungen gestellt, deren Befriedigung sowohl den Konstrukteuren wie auch den Herstellerwerken neue Aufgaben stellt. Die Mannigfaltigkeit der Zerspanungswerkzeuge bedeutet gleichzeitig eigenartige Konstruktions- und Herstellungsaufgaben.

Bei der Serienfertigung von präzisen, maß- und formgerechten Werkstücken ist das Räumen ein oft angewandtes Bearbeitungsverfahren. Ein großer Vorteil dieser Bearbeitungsart liegt darin, daß sie sich zum Herstellen sowohl von inneren als auch von äußeren Oberflächen mit gutem Ergebnis anwenden läßt. Das Haupteinsatzgebiet dieses Verfahrens ist die Bearbeitung von zylindrischen Bohrungen und Formlöchern.

Durch die Verbreitung des Räumens werden die hohen Herstellungskosten des Werkzeugs herabgesetzt. Es ist also verständlich, daß allen Bestrebungen Interesse entgegengebracht wird, die sich auf die Verminderung der Werkzeug-Herstellungskosten richten. Unter der Entwicklung dieses Bearbeitungsverfahrens soll hier natürlich die Entwicklung der gesamten Produktionsmittel, also Werkzeug, Maschine und Bearbeitungsbedingungen verstanden werden. Ich möchte mich ausschließlich mit einer speziellen Frage der geometrischen Dimensionierung des Werkzeugs beschäftigen, durch die die Herstellungskosten des Werkzeugs herabgesetzt und die Bearbeitungsbedingungen (Spanabhebung) bedeutend verbessert werden.

Die traditionellen Räumwerkzeuge werden mit paralleler, sogenannter ringförmiger Zähneanordnung hergestellt. Durch diese Anordnung rücken zahlreiche Zerspanungsfragen in den Vordergrund. Beim Einsatz eines Räumwerkzeugs mit ringförmiger Zähneanordnung verursachen die gleichzeitig arbeitenden Zähne beim Eintritt eine plötzliche Vergrößerung der Schnittkraft, wie beim Austritt eine Verminderung derselben (Abb. 1). Durch diese große Schnittkraftänderung werden longitudinale Schwingungen verursacht. Die Bemessung der Räumwerkzeuge auf Ermüdung stellt noch eine ungelöste Frage dar, da durch den komplizierten Querschnitt und die wechselnden Arbeitsbedingungen des Werkzeugs die Berechnungen erschwert werden. Versuche in großer Zahl sind sehr kostspielig; durch Modellversuche werden die betrieblichen Verhältnisse nicht treu wiedergegeben.

Beim Einsatz eines Werkzeugs mit ringförmiger Zähneanordnung ist das Einhalten einer optimalen Anzahl gleichzeitig eingreifender Zähne sehr wichtig. Durch die Eingriffszahl werden die Arbeitsbedingungen und die Ausführung des Werkzeugs (Schnittkraft, Schwingungen, Werkzeuglänge, Spanraum, Zerspanungsleistung usw.) beeinflusst.

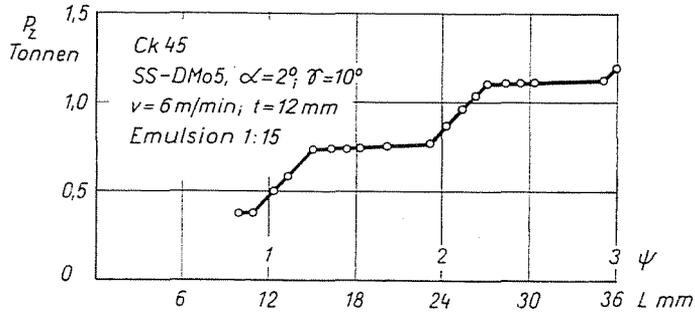


Abb. 1

Es ist bekannt, daß die Arbeitsbedingungen der Walzenfräser mit Spiralzähnen im Vergleich zu den Walzenfräsern mit geraden Zähnen günstiger sind. Der Einsatz der ersteren ist wegen des gleichmäßigeren Betriebs und der besseren Oberflächengüte des Werkstücks bedeutend günstiger.

Die Analogie der Walzenfräser mit Spiralzähnen läßt sich auf die Räumwerkzeuge übertragen, obwohl die Arbeitsbedingungen ziemlich verschieden sind. Es werden seit langem schrägverzahnte Räumwerkzeuge verwendet, wenn sich die Seitenkraft ausgleichen läßt. Auch bei der Bearbeitung von zylindrischen Bohrungen werden Räumnadeln mit schrägen Nuten angewandt. Bei der Arbeit mit solchen Werkzeugen entsteht ein Drehmoment, für dessen Ausgleich gesorgt werden muß. Die gleichmäßige Teilung ist auch bei schrägverzahnten zylindrischen Räumnadeln ungünstig. Die schwingungerregende Wirkung ist aber bei der letzteren Ausführung bedeutend niedriger als bei der ringförmigen Verzahnung.

Räumwerkzeuge werden bei der Bearbeitung genuteter Bohrungen allgemein verwendet. Es sollte geprüft werden, welche Möglichkeiten vorhanden sind, ein Räumwerkzeug für die Bearbeitung von genuteten Bohrungen zu entwickeln, das die Vorteile des schrägverzahnten Werkzeugs besitzt, bei dem sich die Schwingungsgefahr während der Bearbeitung vermindert, kein Drehmoment entsteht und die Bedingungen für die Spanbildung verbessert werden, und das in der Herstellung einfacher ist als die ringförmige Verzahnung.

Von den angeführten Forderungen ausgehend, gelangt man zu der Folgerung, daß die Zähne entlang einer Schraubenlinie angeordnet werden sollten, so daß der radiale und der axiale Spanwinkel neben einem entsprechenden Spanraum (Nute) gesichert werden.

Es ist zweckmäßig, die Untersuchungen mit Werkzeugen durchzuführen, die zur Bearbeitung von genormten genuteten Hülsen geeignet sind. Die Ausführung der genuteten Hülsen ist in der Norm MSZ 14 480 festgelegt, die die Grundlagen zu den Berechnungen liefert. Es werden bei gegebenen Durchmessern und Nutenzahlen der Steigungswinkel und die Gangzahlen sowie die Steigungsrichtung gesucht, bei denen der Schnittpunkt der Gänge mit entgegengesetzter Steigung in den Nuten gesichert wird, so daß die Schneidzähne noch ausgebildet werden können.

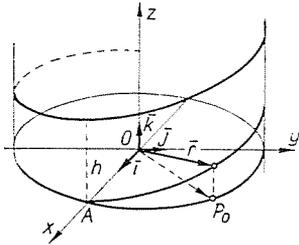


Abb. 2

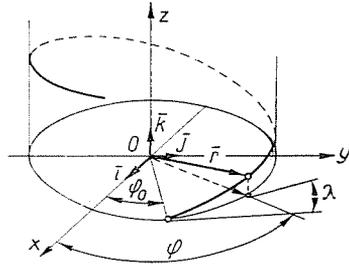


Abb. 3

Es gilt, eine allgemein verwendbare mathematische Berechnungsmethode zu entwickeln, bei der die an das Werkzeug gestellten technologischen Forderungen erfüllt werden. Sämtliche Teile des Räumwerkzeugs lassen sich mit Funktionen von Zylindern, Kegeln, Ebenen und Schraubenflächen beschreiben. Infolge der vielen Veränderlichen erhält man jedoch zahlreiche Gleichungen, deren Behandlung fast unmöglich ist. Die komplizierte Berechnung ist auch unnötig, da unter den genannten Voraussetzungen nur die geometrischen Linien der Werkzeugschneiden und die Anordnung der Zähne bekannt sein müssen.

Diese Vereinfachung gestattet, die Untersuchung einer Anzahl von Faktoren zu vernachlässigen:

- Anordnung der Zähne an einer Kegelfläche.
- Steigung der die Schneiden erzeugenden Schraubenlinien.
- Durch die Schneidwinkel des Werkzeugs (γ, α) wird die Ausbildung der Zähne nicht beeinflusst.

— Die Konturen der Zähne sind gleichzeitig Konturen der Zahnlücken.

Aus der Analyse der angeführten Faktoren geht hervor, daß es für die Befriedigung der Anforderungen genügt, die Schraubenlinien an einem Zylindermantel zu analysieren, da die Lage der Zähne und die Formen der Schneiden durch die Schnittpunkte der Schraubenlinien bestimmt werden.

Die Vektorgleichung der Schraubenlinie ergibt sich nach Abb. 2:

$$\vec{r} = \vec{i} \cdot a \cdot \cos t + \vec{j} \cdot a \cdot \sin t + \vec{k} \cdot l \cdot t. \tag{1}$$

Die Skalargleichungen der Schraubenlinie lauten:

$$\begin{aligned}x &= a \cdot \cos t \\y &= a \cdot \sin t \\z &= l \cdot t\end{aligned}\tag{2}$$

Der Punkt P_0 in Abb. 2 ist die Projektion des entlang der Schraubenlinie bewegten Punktes P auf die Ebene xy , der den Kreis $x = a \cdot \cos t$; $y = a \cdot \sin t$ beschreibt; t ist der Drehwinkel von AOP_0 . Ist $l > 0$, nimmt z proportional dem Drehwinkel zu, nimmt z ab, ist $l < 0$. Die Bahn des Punktes P liegt auf einem Rotationszylinder mit dem Radius a , dessen Achse mit der Koordinatenachse z zusammenfällt. Die durch Punkt P beschriebene Kurve wird Schraubenlinie genannt.

Unter Berücksichtigung der speziellen geometrischen Gegebenheiten des Räumwerkzeugs läßt sich Gl. (1) mit den Angaben in Abb. 3 wie folgt schreiben:

$$\bar{r} = \bar{i} \cdot R \cdot \cos(\varphi - \varphi_0) + \bar{j} \cdot R \cdot \sin(\varphi - \varphi_0) + \bar{k} \cdot R \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot (\varphi - \varphi_0).\tag{3}$$

Dieser Zusammenhang beschreibt die Schraubenlinie mit rechter Steigung.

Die Gleichung der Schraubenlinie mit linker Steigung lautet:

$$\begin{aligned}\bar{r} = \bar{i} \cdot R \cdot \cos[(2\pi - \varphi) + \varphi_0] + \bar{j} \cdot R \cdot \sin[(2\pi - \varphi) + \varphi_0] + \\+ \bar{k} \cdot R \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot [(2\pi - \varphi) + \varphi_0].\end{aligned}\tag{4}$$

Der die Lage des Vektors beschreibende Drehwinkel beträgt:

$$(2\pi - \varphi).$$

Die Darstellung der Gleichung in dieser Form wird dadurch begründet, daß dieser Wert — trotz der negativen Drehrichtung — positiv ist, was für die Bestimmung der Komponente in Richtung z der Schraubenlinie von großer Wichtigkeit ist. Zu den zunehmenden Winkelwerten gehören wachsende Werte von z . Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, daß der Schnittpunkt durch denselben Winkel charakterisiert werden kann, und durch diese Tatsache die weitere Analyse vereinfacht wird.

Die zum Bearbeiten von genuteten Hülsen geeigneten Werkzeuge müssen geometrisch so gestaltet sein, daß durch die Verschneidung der richtig bemessenen Spannuten die Ausbildung der Zähne nicht stark beeinflusst wird.

Die Zahnform muß auf Festigkeit und Spanabhebung geprüft werden. Die durch die Spannuten gebildeten axialen Spanwinkel sind von vornherein für die Anwendbarkeit des Werkzeugs entscheidend.

Daraus folgt, daß die Verschneidungskordinaten der Spiralnuten bekannt sein müssen. Diese lassen sich aus Abb. 4 bestimmen.

Oben wurden die Gleichungen für zwei Schraubenlinien allgemeiner Anordnung (3 und 4) abgeleitet. Jetzt werden die Koordinaten des Schnittpunktes der beiden gesucht.

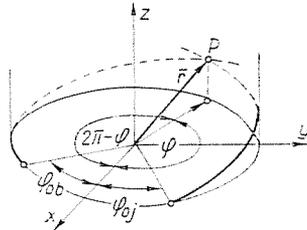


Abb. 4

Werden die beiden Lagevektoren gleich gesetzt, erhält man:

$$\vec{r}_b = \vec{r}_j$$

$$\begin{aligned} \vec{i}R \cos[(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] + \vec{j}R \sin[(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] + \vec{k}R \operatorname{tg} \lambda_o [(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] = \\ = \vec{i}R \cos(\varphi - \varphi_{oj}) + \vec{j}R \sin(\varphi - \varphi_{oj}) + \vec{k}R(\varphi - \varphi_{oj}) \tan \lambda_j \end{aligned} \quad (5)$$

Dabei sind:

- φ_{ob} = Anlaufswinkel der Schraubenlinie linker Steigung,
- λ_o = Steigungswinkel der Schraubenlinie linker Steigung,
- φ_{oj} = Anlaufswinkel der Schraubenlinie rechter Steigung,
- λ_j = Steigungswinkel der Schraubenlinie rechter Steigung.

Die vektorielle Gleichung in skalarer Form lautet:

die Komponente x : $R \cos[(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] = R \cos(\varphi - \varphi_{oj}), \quad (5a)$

die Komponenten y : $R \sin[(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] = R \sin(\varphi - \varphi_{oj}), \quad (5b)$

die Komponenten z : $R \tan \lambda_o [(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] = R \tan \lambda_j (\varphi - \varphi_{oj}). \quad (5c)$

Der Drehwinkel der Lagevektoren ist in allen drei Gleichungen enthalten, er kann also jeweils aus einer der Gleichungen berechnet werden. Als Lösung der ersten Gleichung ergibt sich:

$$R \cos[(2\pi - \varphi) + \varphi_{ob}] = R \cos(\varphi - \varphi_{oj}).$$

Mit R dividiert und unter Anwendung der bekannten Additionstheoreme

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta,$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta,$$

erhält man folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} & (\cos 2\pi \cdot \cos \varphi + \sin 2\pi \sin \varphi) \cos \varphi_{ob} - (\sin 2\pi \cos \varphi - \cos 2\pi \sin \varphi) \sin \varphi_{ob} = \\ & = \cos \varphi \cos \varphi_{oj} + \sin \varphi \sin \varphi_{oj}. \end{aligned}$$

Durch Substitution der Werte

$$\cos 2\pi = 1 \quad \text{und} \quad \sin 2\pi = 0$$

erhält man

$$\cos \varphi \cos \varphi_{ob} + \sin \varphi \sin \varphi_{ob} = \cos \varphi \cos \varphi_{oj} + \sin \varphi \sin \varphi_{oj}.$$

Nach φ aufgelöst, erhält man den Zusammenhang:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{\cos \varphi_{oj} - \cos \varphi_{ob}}{\sin \varphi_{ob} - \sin \varphi_{oj}} \right]. \quad (6)$$

Nach ähnlicher Ableitung der Gl. (5b) ergibt sich das folgende Resultat:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{\sin \varphi_{oj} + \sin \varphi_{ob}}{\cos \varphi_{ob} + \cos \varphi_{oj}} \right]. \quad (7)$$

Man kann sich von der Richtigkeit der Gleichungen und von deren Lösung für die Schraubenlinien überzeugen, indem man die beiden Gleichungen gleichsetzt:

$$\arctg \left[\frac{\cos \varphi_{oj} - \cos \varphi_{ob}}{\sin \varphi_{ob} - \sin \varphi_{oj}} \right] = \arctg \left[\frac{\sin \varphi_{oj} + \sin \varphi_{ob}}{\cos \varphi_{ob} + \cos \varphi_{oj}} \right].$$

Sind die »arc tg«-Funktionen gleich, so sind auch ihre Argumente gleich. Wird nun kreuzweise multipliziert und der pythagoreische Zusammenhang $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ angewendet, erhält man die Identität:

$$1 = 1.$$

Damit ist festgestellt, daß die abgeleiteten Zusammenhänge und Vektorgleichungen richtig sind und die benötigten Angaben liefern.

Für die Berechnung von φ wird durch die Lösung der Gl. (5c) der genaueste Zusammenhang geliefert, der auch am einfachsten zu handhaben ist.

Nach Division mit R und der entsprechenden Multiplikation ergibt sich der Zusammenhang:

$$2\pi \cdot \operatorname{tg} \lambda_b - \varphi \operatorname{tg} \lambda_b + \varphi_{ob} \operatorname{tg} \lambda_b = \varphi \operatorname{tg} \lambda_j - \varphi_{oj} \operatorname{tg} \lambda_j.$$

Nach einer sinnvollen Umordnung ergibt sich das Endergebnis:

$$\varphi = \frac{\operatorname{tg} \lambda_b (2\pi + \varphi_{ob}) + \varphi_{oj} \operatorname{tg} \lambda_j}{\operatorname{tg} \lambda_b + \operatorname{tg} \lambda_j}. \quad (8)$$

Der Drehwinkel des Lagevektors des Schnittpunktes wird durch diesen Zusammenhang in allgemeiner Form beschrieben, da er auch den Steigungswinkel der Schraubenlinien enthält.

Zur exakten Bestimmung der Lage der Schnittpunkte am Zylindermantel wird noch die Angabe der Koordinate z (Abb. 5) benötigt. Das läßt sich durch Einsetzen der obigen Gleichung in die Skalargleichung z einer beliebigen Schraubenlinie erreichen.

Für die Komponente z der Schraubenlinie mit rechter Steigung schreibt man:

$$z = R \cdot \operatorname{tg} \lambda_j (\varphi - \varphi_{0j}).$$

Nun wird der Wert von φ eingesetzt:

$$z = R \cdot \operatorname{tg} \lambda_j \left[\frac{\operatorname{tg} \lambda_b (2\pi + \varphi_{0b}) + \varphi_{0j} \cdot \operatorname{tg} \lambda_j}{\operatorname{tg} \lambda_b + \operatorname{tg} \lambda_j} - \varphi_{0j} \right]. \quad (9)$$

Im weiteren soll die Zweckmäßigkeit der Variationen analysiert werden, nach denen die Schraubenlinien auf dem Zylindermantel aufgetragen werden.

An einem Räumwerkzeug können die Schneiden in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung angeordnet werden. Abgesehen von den Werkzeugen gleicher Schneidenschräge kann folgendes festgestellt werden:

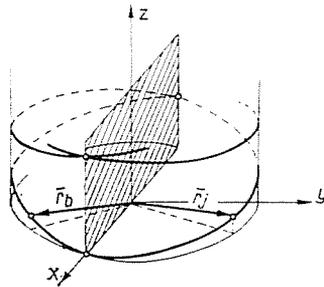


Abb. 5

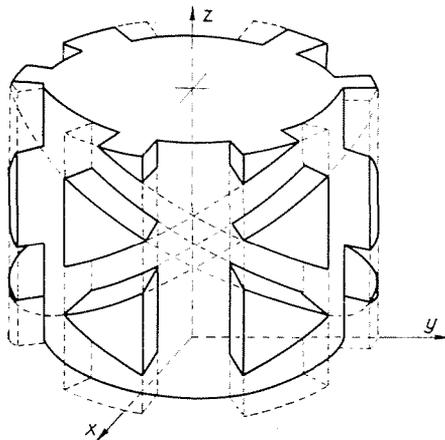


Abb. 6

Bei einem Werkzeug mit verschiedenen Schneidenschrägen ist mindestens eine Schraubenlinie mit linker und eine mit rechter Steigung erforderlich.

Wird hier nur die Gestaltung des Werkzeugs behandelt, bei der sich die Schraubenlinien innerhalb einer Nute schneiden (Abb. 6), lassen sich hinsichtlich der Zähne und Schneiden folgende Feststellungen machen:

— Es sollen nebeneinander Zähne mit gegenläufiger Schneidenschräge stehen;

— die Schräge der Schneiden zweier nacheinander folgender Zähne (in Richtung z) soll entgegengesetzt sein.

Werden sämtliche zum Zerspanen geeigneten Zahnformen, die unter Anwendung von Schraubenlinien herzustellen sind, berücksichtigt, können drei Unterscheidungen gemacht werden:

A) Es werden am Werkzeug Nuten mit kleiner, nur rechter, oder nur linker Steigung ausgebildet. So entstehen Schneidenschrägen gleicher Richtung.

B) Für die Schraubennuten sowohl mit rechter als auch mit linker Steigung werden gleiche Steigungswinkel am Werkzeug vorgesehen.

C) Die Steigungswinkel zweier gegenläufiger Nuten sind unterschiedlich.

Es sollen nun die nach den aufgeführten Gesichtspunkten ausgebildeten Werkzeuge näher überprüft werden.

A) Bei dieser Zahngestaltung entsteht am Werkzeug während der Zerspanung ein Drehmoment, für dessen Aufnahme von Fall zu Fall gesorgt werden muß. Diese Form ist darum nicht immer vorteilhaft.

B) Im Falle von Nuten mit gleichem Steigungswinkel, doch von entgegengesetzter Richtung, vereinfachen sich die abgeleiteten Zusammenhänge, weil

$$\lambda_b = \lambda_j = \lambda. \quad (10)$$

Damit ergibt sich dem Zusammenhang (8) zu

$$\varphi = \frac{2\pi + \varphi_{0b} + \varphi_{0j}}{2},$$

wo φ in Radianten angegeben ist und mit Hilfe des folgenden Zusammenhanges in Winkelgrade umzurechnen ist:

$$\varphi^\circ = \frac{360^\circ + \varphi_{0b} + \varphi_{0j}}{2}. \quad (11)$$

Unter Berücksichtigung der obigen Vorführungen nimmt Formel (9) nach Einsetzen in die Gleichung und Ordnen derselben folgende Form an:

$$z = R \cdot \operatorname{tg} \lambda \left[\frac{2\pi + \varphi_{0b} - \varphi_{0j}}{2} \right]. \quad (12)$$

Es soll nun untersucht werden, welche Zusammenhänge sich ergeben, wenn bei den Berechnungen die Anzahl der Gänge, die Keilnutenzahl und die Lage des Gewindeanlaufs in Betracht genommen werden. Durch jeden Gewindeanlauf am Werkzeug wird eine Ebene bestimmt, da die Schnittpunkte zweier sich schneidender Schraubenlinien-Paare in zwei Schnittlinien der durch die Achse des Zylinders durchgehenden Ebene mit dem Zylindermantel liegen (Abb. 5). Die Schnittpunkte ergeben sich nach je 180° entlang einer der Schraubenlinien.

Damit darf geschrieben werden:

$$\varphi = \frac{360^\circ + \varphi_{0b} + \varphi_{0j}}{2} = \varphi + n \cdot 180^\circ, \text{ wobei } n = 1, 2, \dots n.$$

Werden die einzelnen Schraubenlinien mit Indexen versehen, deren beliebige Werte i und k sind, lautet die Gleichung für die Schraubenlinien i und k wie folgt:

$$\varphi_{ik} = \frac{360^\circ + \varphi_{ib} + \varphi_{ij}}{2} = \varphi_{ik} + n \cdot 180^\circ.$$

Durch welche Anzahl solcher mit » $\varphi_{ik} + n \cdot 180^\circ$ « dargestellter Ebenen die Schnittpunkte definiert werden können, ist eine Funktion der Gangzahl und der Lage der Gewindeanläufe.

Dies soll an zwei einfachen Zahlenbeispielen gezeigt werden. Im ersten Falle sei angenommen, daß die beiden Gangzahlen gleich sind, nur die Lage des Anlaufs verschieden ist.

$$\varphi_{1b} = \varphi_{1j} = 0; \quad \varphi_{2b} = \varphi_{2j} = 90^\circ; \quad \varphi_{3b} = \varphi_{3j} = 180^\circ.$$

Für die Ebenen ergibt sich:

$$\varphi_{11} = \frac{360^\circ + \varphi_{1b} + \varphi_{1j}}{2} = \frac{360^\circ + 0^\circ + 0^\circ}{2} = 180^\circ + n \cdot 180^\circ = 0^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{22} = \frac{360^\circ + 90^\circ + 90^\circ}{2} = 270^\circ + n \cdot 180^\circ = 90^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{33} = \frac{360^\circ + 180^\circ + 180^\circ}{2} = 360^\circ + n \cdot 180^\circ = 0^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{12} = \frac{360^\circ + 0^\circ + 90^\circ}{2} = 225^\circ + n \cdot 180^\circ = 45^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{13} = \frac{360^\circ + 0^\circ + 180^\circ}{2} = 270^\circ + n \cdot 180^\circ = 90^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{23} = \frac{360^\circ + 90^\circ + 180^\circ}{2} = 315^\circ + n \cdot 180^\circ = 135^\circ + n \cdot 180^\circ.$$

Eine Umwandlung der für φ_{ik} erhaltenen Ergebnisse ist zulässig, da n eine beliebige Zahl ist. Von den sechs φ -Werten bedeuten nur vier verschiedene Ebenen, wie das in Abb. 7 veranschaulicht ist.

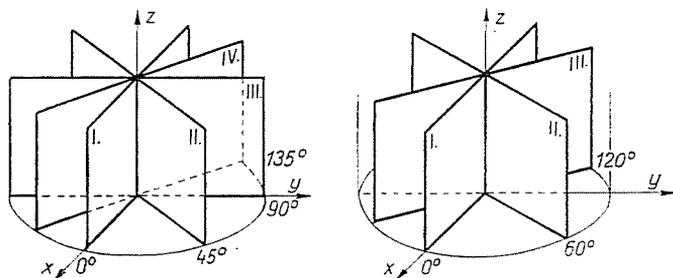


Abb. 7

Im zweiten Falle wird aus den Werten ausgegangen:

$$\varphi_{1b} = \varphi_{1j} = 0^\circ; \quad \varphi_{2b} = \varphi_{2j} = 120^\circ; \quad \varphi_{3b} = \varphi_{3j} = 240^\circ.$$

Wie vorher berechnet, erhält man:

$$\varphi_{11} = \varphi_{23} = 0^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{22} = \varphi_{13} = 120^\circ + n \cdot 180^\circ$$

$$\varphi_{33} = \varphi_{12} = 240^\circ + n \cdot 180^\circ = 60^\circ + n \cdot 180^\circ.$$

Hier erhielten wir nur drei verschiedene Ebenen (Abb. 8).

Unter Anwendung des Zusammenhangs $z = f(\lambda, \varphi, R, \varphi_{0j})$ kann bewiesen werden, daß im ersten Falle die Schnittpunkte in derselben Ebene nicht in

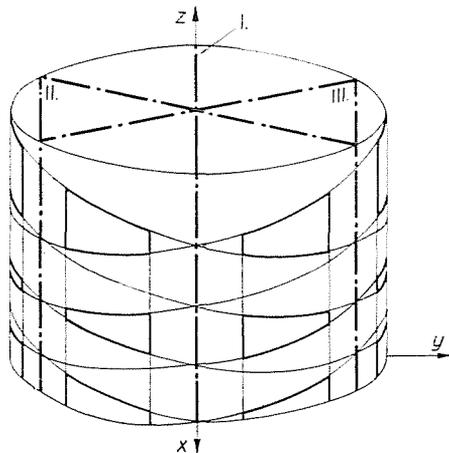


Abb. 8

gleichen Abständen aufeinander folgen. Dieser Umstand ist hinsichtlich der Zerspanung für die Zähneanordnung ungünstig.

Im zweiten Fall ist die Differenz der Koordinaten z von je zwei nacheinander folgenden, beliebigen Schnittpunkten einer Schraubelinie konstant. Dies ist für die Werkzeuggestaltung günstig. Im allgemeinen wird die Zahn-anordnung dann günstig sein, wenn der Winkel α zwischen zwei beliebigen, nacheinander folgenden Gewindeanläufen gleich

$$\alpha = \frac{360^\circ}{n} \text{ ist,}$$

wobei n die Gangzahl bedeutet.

Es sind noch die Rippenzahl m , die Gangzahl n und die Lage der Gewindeanläufe zu prüfen. Im allgemeinen werden Werkzeuge mit Rippenzahlen 4, 6, 8, 10, 16 und 20 verwendet. Die gesamte Auswahl der möglichen n - und m -Werte ist in Abb. 11 zu finden. Die große Anzahl der in der Tabelle angeführten Variationen kann durch eine kurze Überlegung wesentlich vermindert werden.

Die für Räumwerkzeuge geeigneten Zahnformen sind in Abb. 9 und 10 dargestellt. Die Zahnform in Abb. 10 kommt dadurch zustande, daß sich die Schraubelinien innerhalb der Nuten schneiden. Bei der Zahnform in Abb. 9 schneiden sich die Schraubelinien in der Rippenmitte. Für die Zahnform mit den Schnittpunkten innerhalb der Nuten läßt sich die allgemeingültige Formel

$$n = \frac{m}{2} \pm k$$

aufschreiben. Für die Zahnform mit Schnittpunkten auf der Rippe und in der Nute kann hingegen der allgemeine Zusammenhang:

$$n = m \pm k$$

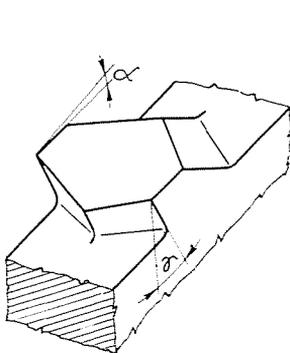


Abb. 9

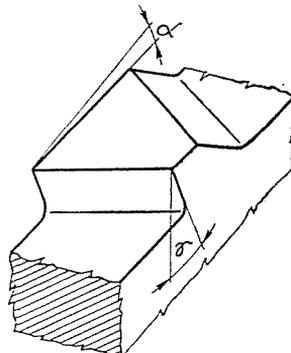


Abb. 10

aufgestellt werden. In den Formeln bedeutet k die Abweichung von der Achsensymmetrie.

C) Gilt die Ungleichung $\lambda_b \neq \lambda_j$, so kann eine ähnliche Untersuchung über die günstige Zahnform durchgeführt werden. Infolge der Ungleichung wird die Anzahl der Veränderlichen größer. Es ist zweckmäßig, die durch den Quotienten aus den Tangenten der beiden Winkel ausgedrückte Verhältniszahl als neue Veränderliche zu behandeln, und bei den konkreten Berechnungen die bereits abgeleiteten Formeln

$$\varphi = \frac{\operatorname{tg} \lambda_b(2\pi + \varphi_{0b}) + \varphi_{0j} \cdot \operatorname{tg} \lambda_j}{\operatorname{tg} \lambda_b + \operatorname{tg} \lambda_j} \quad \text{und} \quad z = R \cdot (\varphi - \varphi_{0j}) \operatorname{tg} \lambda_j$$

zu benutzen.

Die abgeleitete Berechnungsmethode bietet eine Möglichkeit zum Herstellen von Räumwerkzeugen, bei denen eine günstige Ausbildung der Schneidezähne und eine vereinfachte Fertigung gewährleistet sind. Ein weiterer Vorteil der Anwendung von schrägverzahnten Werkzeugen besteht darin, daß die Zugkraft beinahe konstant ist, was für die Rauigkeit der bearbeiteten Oberfläche günstiger ist.

Durch die Forschungen der letzteren Jahre wurde bewiesen, daß die Standzeit des Werkzeugs neben den technologischen Daten auch vom Radius der Schneidkantenabrundung abhängig ist. Die Standzeit-Kurve hat ihr Optimum nicht bei den kleinsten Vorschüben. Da beim Räumen der Zahnvorschub verhältnismäßig gering ist, kann oft durch die Steigerung des Vorschubs eine günstigere Standzeit erreicht werden. Das wird durch das Schneiden mit größeren Zähnenweiten leicht erzielt. Es ist noch zu bemerken, daß die Herstellung von Räumwerkzeugen mit schraubenförmigen Nuten gleichzeitig auch die einfache Fertigung von Werkzeugen mit größeren Zähnenweiten ermöglicht.

Weitere Vorteile sind von Räumwerkzeugen mit Nuten mit veränderlichen Steigungen zu erwarten.

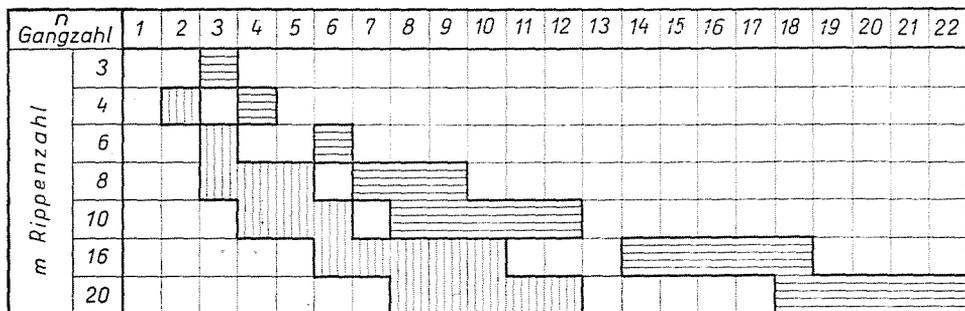


Abb. 11

Zusammenfassung

Die Herstellung der traditionellen Räumwerkzeuge ist kostspielig und die Zerspanungseigenschaften dieser Werkzeuge sind oft ungünstig. Die Vergrößerung des mit einer Schneide abnehmbaren Spanquerschnitts wird durch die für das Werkzeug zulässige Schnittkraft begrenzt. Die Abnahme von dünnen Spänen ist wegen der bedeutenden Schneidenabrundung ungünstig. Zufolge der ringförmigen Anordnung tritt immer je eine Schneidengruppe am Umfang des Werkzeugs in das Material ein, bzw. verläßt je eine das Werkstück. Infolgedessen ist die Schnittkraft bedeutenden Schwankungen unterworfen. Durch die veränderlichen Beanspruchungen treten Schwingungen am Werkzeug auf, Standzeit und Ermüdungsbruch werden durch die Schwingungen ungünstig beeinflusst.

Durch Anwendung eines entsprechend gewählten Werkzeugs mit schräger Verzahnung können die Schwingungen auf ein Minimum herabgesetzt werden, und die Zerspanungseigenschaften werden bedeutend verbessert. Die Herstellung von schrägverzahnten Werkzeugen ist bedeutend einfacher. Verfasser analysiert die Möglichkeiten zur geometrischen Bemessung eines schrägverzahnten Räumwerkzeugs.

Literatur

- THOMSEN, A. G., DOHMEN, H. G., SCHALLER, A.: Anwendung der Plastizitätsmechanik auf den Zerspanungsvorgang. *Industrie-Anzeiger* 1965, H. 46, S. 25.
- LEE, E. H., SCHAFFER, B. W.: The theory of plasticity applied to a problem of machining. *I. of Appl. Mechn.* 1951, Vol. 18, p. 405—413.
- BAKONDI, K.: Räumwerkzeuge.* *GÉP* 1969, Nr. 4, Budapest, ung. Untersuchung über Schnittkraft und Spanbildung bei mehrschneidigen Spanwerkzeugen, Wissenschaftliche Tagung, Technische Universität, Budapest, 1968, Band 18.
- DAS u. TOBIAS: *Machine Tool Design and Research*, Birmingham 1964.
- OPITZ, H., ROHDE, H.: Untersuchung des Räumvorgangs, Köln, 1961, Technische Schwingungslehre, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- HORNUNG, A.: Einfluß der Schneidenabstumpfung beim Fräsen.* *Gépgyártástechnológia* 1968, H. 3, S. 105.

* In ungarischer Sprache.

Prof. Dr. Károly BAKONDI, Budapest XI., Egry József u. 18—20, Ungarn.