

EINFLUSS DER REIBUNG AUF DIE SCHNITTKRAFT*

Von
L. KAZINCZY

Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 19 Januar, 1972)
Vorgelegt von Prof. Dr. I. KALÁSZI

Die Schnittkraft wird bei der Zerspannung vorwiegend durch die plastische Verformung vor der Schneide, das Abtrennen der Spänelemente und durch die Reibungswiderstände beeinflusst. Wenn durch die Steigerung der Schnittgeschwindigkeit in der Spanwurzel die Scherlinie als eine Gerade erscheint, ist die plastische Formänderung auf ein Minimum beschränkt. Dieser Aufsatz bezieht sich auf diesen Fall und nur der Einfluß der Reibung auf die Schnittkraft wird näher behandelt.

Wenn ein prismenförmiger Stab mit einer Zug- oder Druckkraft belastet ist, wird nach der Spannungstheorie von MOHR die Schubspannung τ in jenem Stabquerschnitt am größten sein, dessen Senkrechte n mit der Kraft F einen Winkel von 45° einschließt (Abb. 1).

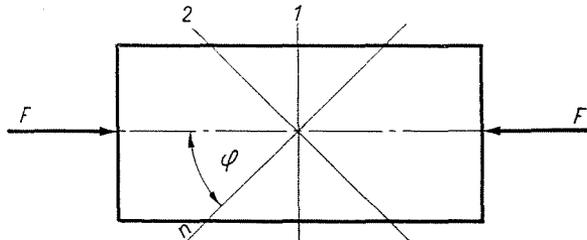


Abb. 1. Die Wirkung der Normalkraft F auf den prismenförmigen Stab

Die resultierende Schnittkraft F kann nach der auf die Spannungstheorie von Mohr aufgebauten Rechenmethode des Verfassers mit folgender Formel berechnet werden:

$$F = \frac{as \tau_B}{\sin \Phi \cos 45^\circ} \quad (1)$$

Diese Gleichung ist sowohl für den freien wie auch für den gebundenen Schnitt gültig. In der Formel sind:

* Vortrag, gehalten an der II. Konferenz Werkzeugstoffe und Werkzeuge, 5–10. Juli 1971.

- a — die Schnitttiefe in mm,
 s — der Vorschub in mm/U,
 τ_B — die Schubfestigkeit in der Scherebene in kp/mm²,
 Φ — der Scherwinkel in Graden, der mit der Formel

$$\Phi = \frac{s \sin \alpha \cos \gamma}{h_1 \pm s \sin \alpha \sin \gamma} \quad (2)$$

berechnet wird. Hier bedeuten:

- s — den Vorschub in mm/U,
 α — den Einstellwinkel in Graden,
 γ — den Spanwinkel in Graden,
 h_1 — die größte Spandicke in mm.

Im Nenner bezieht sich das positive Vorzeichen auf $-\gamma$ und das negative Vorzeichen auf $+\gamma$.

Für $\gamma > 0^\circ$ und $\alpha < 90^\circ$ sind in der Ebene, die in der halben Breite des Spanes auf die Schneide und gleichzeitig auch auf die Scherebene vertikal steht, die resultierende Schnittkraft und deren Komponenten in Abbildung 2 dargestellt. In der Abbildung bedeuten:

- F — die resultierende Schnittkraft in kp,
 F_H — die Hauptschnittkraft in kp,
 F_S — die Scherkraft in kp,
 F_N — die Normalkraft auf die Spanfläche in kp,
 F_T — die Tangentialkraft in der Spanfläche in kp,
 $h = s \sin \alpha$ — die Spanungsdicke in mm,
 h_1 — die größte Spandicke in mm,
 Φ — den Scherwinkel in Graden,
 ϱ — den Reibungswinkel auf der Spanfläche in Graden,
 n — die auf die Scherebene senkrechte Linie, die mit der resultierenden Schnittkraft einen Winkel von 45° einschließt.

Die Komponenten der resultierenden Schnittkraft F werden mit folgenden Formeln berechnet:

$$F_H = F \cos (45^\circ - \Phi) \quad (3)$$

$$F_S = F \cos 45^\circ \quad (4)$$

$$F_N = F \cos \varrho \quad (5)$$

$$F_T = F \sin \varrho. \quad (6)$$

Wenn der Spanwinkel γ bekannt und der Scherwinkel berechnet ist, so kann der Reibungswinkel ϱ mit der Gleichung

$$\varrho = 45^\circ - \Phi + \gamma \quad (7)$$

ausgedrückt werden (s. Abb. 2).

Wird durch die Spanfläche des Werkzeugs auf die Fläche $a \cdot s = q \text{ mm}^2$ eine spezifische Belastung $\sigma_B \text{ kp/mm}^2$ ausgeübt, dann ist gemäß der Spannungstheorie von Mohr die Schubspannung auf der Scherebene:

$$\tau = 0,50\sigma_B. \quad (8)$$

Dieser Wert ist aber nicht genügend um die Zerspanung in Gang zu setzen, da mit der Reibung auf der Span- und Freifläche und mit der inneren Reibung nicht gerechnet wurde.

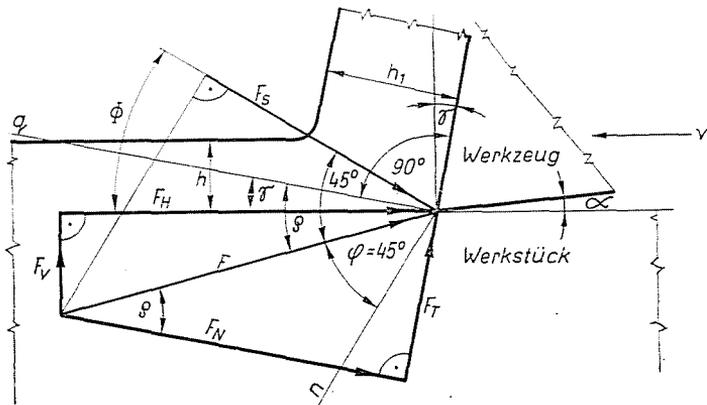


Abb. 2. Die Darstellung der resultierenden Schnittkraft und deren Komponenten

Bei den mit normalem Stahl C60 an der Technischen Universität Miskolc (Ungarn) durchgeführten Zerspanungsversuchen wurde die Hauptschnittkraft F_H gemessen. Der aus diesen Werten berechnete durchschnittliche Wert der Schubspannungen — eigentlich Schubfestigkeiten in der Scherebene — betrug:

$$\tau_B = 0,80\sigma_B \quad (9)$$

Es darf angenommen werden, daß in diesem Falle die Differenz

$$\tau_B - \tau = 0,80\sigma_B - 0,50\sigma_B = 0,30\sigma_B \quad (10)$$

zur Bewältigung der äußeren und inneren Reibungen nötig war.

In Tabelle I sind die bei der Zerspanung des normierten Stahles C60 festgestellten, gemessenen und berechneten Werte angegeben. Es ist wahrzunehmen, daß die berechneten Werte der Hauptschnittkraft den gemessenen Werten nahestehen.

Tabelle I
 Berechnete und gemessene Werte
 bei der Zerspanung des normalisierten Stahles C60

Nr.	ϕ	v	γ	h_1	$F_{H.ger.}$	$F_{H.gem.}$
1.	28°30'	80	+5°	0,40	94,00	96,70
2.	28°00'	65	+5°	0,42	96,00	98,97
3.	24°20'	50	+5°	0,49	108,00	100,98
4.	30°10'	80	-5°	0,35	91,00	102,20
5.	30°10'	65	-5°	0,35	91,00	100,40
6.	30°30'	50	-5°	0,34	89,50	100,20
7.	32°50'	80	0°	0,33	85,00	91,06
8.	29°10'	65	0°	0,38	92,00	93,93
9.	25°50'	50	0°	0,44	100,00	103,20

Bemerkungen zu Tabelle I

Zerspantes Material: Stahl C60, normalisiert, $\sigma_B = 62 \text{ kp/mm}^2$; Durchmesser des Werkstückes: 137–129 mm; ϕ = der errechnete Scherwinkel in Graden; v – die Schnittgeschwindigkeit in m/min; γ – der Spanwinkel in Graden; h_1 – die größte Spandicke in mm; $F_{H.ger.}$ – die berechnete Hauptschnittkraft in kp; $F_{H.gem.}$ – die gemessene Hauptschnittkraft in kp; konstante Werte: $a = 2,25 \text{ mm}$ = Spantiefe; $s = 0,3 \text{ mm/U}$ = Vorschub; Einstellwinkel $\alpha = 45^\circ$

Die praktische Bedeutung des Aufsatzes betreffend kann folgendes bemerkt werden:

1. Mit der theoretischen Berechnungsmethode des Verfassers, die auf Grund der Spannungstheorie von *Mohr* ausgearbeitet wurde, können die resultierende Schnittkraft und deren Komponenten bestimmt werden. Die errechneten Werte stimmen praktisch mit den gemessenen gut überein.

2. Die Differenz $\tau_B - \tau$ ist für die Spanbarkeit des zerspannten Materials und für die Zerspanungsfähigkeit des Werkzeuges kennzeichnend.

Der bei der Zerspanung des normalisierten Stahles C60 wahrgenommene Wert von $\tau_B - \tau = 0,30\sigma_B$ ist beträchtlich; in der Praxis versucht man ihn verschiedentlich zu senken, zum Beispiel, mit fein geschliffenen Werkzeugen, durch Verwendung von Kühl- und Schmierflüssigkeiten, bei unlegierten Bau- stählen durch nichtmetallische Einschlüsse usw.

3. Bei der Zerspanung eines Stahles kann die Schubfestigkeit σ_B durch das Messen einer beliebigen Komponente der Schnittkraft bestimmt werden. Wird, zum Beispiel, die Hauptschnittkraft gemessen, kann die Schubfestigkeit mit der Formel

$$\tau_B = \frac{\sin \Phi \cos 45^\circ}{a s \cos (45^\circ - \Phi)} F_H \text{ gemessen} \quad (11)$$

berechnet werden.

Zusammenfassung

Der Verfasser untersucht auf Grund des von ihm ausgearbeiteten theoretischen Berechnungsverfahrens der Zerspankraft die Wirkung der Reibung auf den Wert der Schubspannung in der Scherebene bzw. deren Einfluß auf die Schnittkraft. Durch Messung der Zerspankraft an normalisiertem Stahl C60 wurde festgestellt, daß die Schubspannung in der Scherebene durchschnittlich um $0,30\sigma_B$ größer ist als der von Mohr berechnete theoretische Wert.

Literatur

1. KAZINCZY, L.: Az acél forgácsolása közben a forgácstöbben létesülő alakváltozások vizsgálata (Die Untersuchung der in der Spanwurzel während der Zerspannung des Stabes zustande kommenden Formänderungen. Doktorarbeit, Technische Universität Budapest, 1939).
2. KAZINCZY, L.: A vaspárgyártás technikájának újabb fejlődése (Die neuere technologische Entwicklung der Fertigung). A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványa, Budapest, 1942. (Ausgabe des Ingenieur-Fortbildungskurses, Budapest, 1942.)
3. HÜTTE des Ingenieurs Taschenbuch I. — 22. Auflage, Berlin, 1915.
4. HUCKS, H.: Plastizitätsmechanische Theorie der Spanbildung. Werkstatt und Betrieb, 1952. H. 1.
5. THOMSEN, E. G.: Anwendung der Plastizitätsmechanik auf den Zerspannungsvorgang. — Industrie-Anzeiger, Essen, H. 46/1963.

Prof. Dr. László KAZINCZY, 1118 Budapest XI., Mányoki u. 24. Ungarn.