# AUSDEHNUNG DER SCHNEIDFÄHIGKEITS-PARAMETER NACH LURE AUF DIE PLANUNG DER SCHLEIFTECHNOLOGIE

I. KALÁSZI
Lehrstuhl für Fertigungstechnik,
Technische Universität, H-1521 Budapest

Eingegangen am 29. November 1982

**Summary**

The significance of indices $\lambda$ and $K_{f2}$ of Lure [1] is beyond that attributed to before. Both indices have already worked well in comparative tests. Lure himself tested the effect of the variation of several characteristics using these constants. The integral of the relationship has been demonstrated to be a practical value, and its introduction to permit a new service life criterion to be calculated, namely metal volume separable between two sharpenings, of outstanding significance in technology design. Further research is needed to clear some correlations to refine calculations, but the available relationships offer 3 to 50% accuracy in design.

## Einleitung. Die in Ungarn bereits publizierten Beziehungen

Die Vorschläge von Lure wurden im Jahre 1967 veröffentlicht [1]. Die ersten Prüfungen der Schneidfähigkeit nach diesen Vorschlägen wurden in Ungarn am Lehrstuhl für Fertigungstechnik der Technischen Universität Budapest untergenommen. Die erhaltenen guten Ergebnisse sind in der Fachzeitschrift „Gép" erschienen [2]. Bereits vor dieser Publikation lagen am Lehrstuhl für Fertigungstechnik Versuchsergebnisse in einer Anzahl vor, daß er in der Lage war, die Aufnahme der Parameter $\lambda$ und $K_{f2}$ in die „Technologischen Mitteilungen" zu empfehlen [3]. Während aber Lure seine Versuche bei Außenrundschleifen durchgeführt hatte, wurden die Meßergebnisse des Lehrstuhls bei Flachschleifen erzielt. Die Versuche in Ungarn wurden auch auf das Innenrundschleifen erstreckt, ebenfalls mit gutem Erfolg [4]. Die empfohlenen Parameter wurden auch einer Diskussion unterzogen [5]. Da die Parameter von Lure zueinander nach der Gleichung

$$K'_{f2}=K_{f2}e^{-\lambda t}\left[\frac{\mathrm{mm}^3}{\mathrm{min},\ N}\right] \tag{1}$$

in Beziehung stehen, wo $K_{f2}$ den für den Zeitpunkt $t=0$ ermittelbaren, komplexen Schneidfähigkeitsparameter darstellt, sind zur Bestimmung mindestens zwei Messungen erforderlich. Es ist aus der Dimension zu erkennen, daß das abgespante Spanvolumen, die Zeit und die Radialkraft zu messen sind. Vielleicht war diese scheinbare Schwierigkeit die Ursache dafür, daß in der ungarischen Literatur über keine weiteren Versuche berichtet wurde. Dieser Beitrag soll zu weiteren Forschungen als Anregung dienen. Es wird dabei auf die Möglichkeit der Ausdehnung der Parameter auf andere Anwendungsgebiete hingewiesen: das Integral der Beziehung (1) wird angegeben, mit den Erfahrungen verglichen die Berechnung der Scheibenstandzeit, als zwischen zwei Scheibendressen abspanbares Spanvolumen, wird vorgeschlagen. Schließlich wird zur Bestimmung der Parameter $\lambda$ und $K_{f2}$ ein neues Iterationsverfahren beschrieben, wobei vom in zwei Zeitpunkten gemessenen abgespanten Spanvolumen ausgegangen wird. In diesem Beitrag werden die in den „Technologischen Mitteilungen" angenommenen Symbole verwendet [3] und die früheren Werte $K_{f2}$ [m$^3$/min, kp] in Werten $K_{f2}$ [mm$^3$/min, $N$] angegeben. Die programmierbaren Tischrechner sind zur schnellen Verarbeitung der Meßwerte geeignet. Der Verfasser hat die mitgeteilten, berechneten Angaben mittels eines Rechners HP-97 mit vorbestimmten Programmen erhalten.

## Theoretische Überlegungen

### *Definition von $K_{f2}$*

Laut [3] wird $K_{f2}$ wie folgt definiert:

„Komplexer Spanfähigkeitsparameter nach Lure. Gibt das Spanvolumen in mm$^3$ an, das mit einer Radialspankraft von 1$N$, mit 1 mm Scheibenbreite pro Minute abspanbar ist, gemessen unmittelbar nach Scheibendressen. Sein Vorteil ist, daß die für den Schleifprozeß charakteristische, zeitabhängige Veränderung der Spanfähigkeit in Form einer logarithmischen Gleichung ausdrückbar ist, wobei der Exponent $\lambda$ als ein selektiver Maßstab der Veränderung gilt. Dieser Parameter hat in den letzten Jahren in die Praxis Eingang gefunden. Sein Wert liegt beim Stahlschleifen zwischen 10 und 45 [mm$^3$/min, $N$], vom Schleifgerät und Schleifverfahren abhängig."

Lure berichtet über umfangreiche Versuche in seiner bereits erwähnten Veröffentlichung [1]. Ihr Wesen liegt darin, daß sich der in gegebenem Fall ermittelbare Parameter $K_{f2}$, von der Zeit abhängig, nach der Funktion $\lambda$ verändert. Wird bei der gleichen Scheibe die Radialkraft verändert, ergeben sich verschiedene $K_{f2}$-Werte. Eine andere Scheibenhärte oder ein modifizierter Vorschub pro Umdrehung ziehen auch veränderte $K_{f2}$ Werte nach sich.

Auch die Größe des Wertes $\lambda$ wird von den Bedingungen beeinflußt. Gemäß den Messungen von Lure kann dieser Wert beim Innenrundschleifen $\lambda=0{,}08-0{,}16$, beim Außenrundschleifen $\lambda=0{,}05-0{,}15$ betragen. Darüber hinaus steht der Wert $\lambda$ auch unter dem Einfluß der Art der Scheibendressung, der Scheibenabmessungen und Scheibendaten sowie anderer Bedingungen. Die Veränderung ist zur $X$-Achse asymptotisch, und bei höheren Werten $\lambda$ schneller. Je niedriger dieser Wert ist, desto günstiger sind die Eigenschaften der Scheibe. Die Abhängigkeit des Wertes $\lambda$ vom Kühlschmiermittel wurde von uns studiert [2], [6].

Die Werte $\lambda$ und $K_{f2}$ lassen sich aus zwei gemessenen Punkten ermitteln. Aus Gleichung (1) ergibt sich nämlich:

$$t=\frac{1}{\lambda}\ln\frac{K_{f2}}{K'_{f2}} \tag{2}$$

Falls die Werte $K'_{f2}=K_1$ (gemessen bei $t_1$) und $K'_{f2}=K_2$ (gemessen bei $t_2$) hineinbezogen werden, bekommt man

$$\lambda=\frac{e^{-\ln\frac{K_1}{K_2}}}{t_2-t_1}; \qquad \text{bez.} \qquad K_{f2}=\left(\frac{K_1^{t_2}}{K_2^{t_1}}\right)^{\frac{1}{t_2-t_1}} \tag{3}$$

In Kenntnis der Werte $\lambda$ und $K_{f2}$ ist es möglich, mittels der Gleichung (1) die Punkte der für die Veränderung charakteristischen Kurve zu ermitteln, d. h. die Kurve aufzunehmen. Abb. 2 zeigt Beispiele dafür.

### *Das abgespante Spanvolumen als Integral des Bereiches unter der Kurve (Vorschlag des Verfassers)*

Die Neigung der Kurve der Gleichung (1) richtet sich in Abhängigkeit von der Zeit nach dem Exponenten $-\lambda.\,t$ des natürlichen Logarithmus $e$. Die Gleichung ist nach $t$ leicht integrierbar. Nämlich:

$$Q=\int K'_{f2}\,dt=\int K_{f2}e^{-\lambda t}dt \tag{4}$$

Das definite Integral der Gleichung (4) enthält im Intervall $0-t$ das Gesamtspanvolumen, das bei den gegebenen Bedingungen, mit 1 mm Scheibenbreite, mit der Radialkrafteinheit während der Zeit $t$ abspanbar ist: $Q_t$ [mm$^3/N$]. Das definite Integral läßt sich nämlich wie folgt aufschreiben:

$$Q_t=\int_0^t K_{f2}e^{-\lambda t}dt=\left[-\frac{1}{\lambda}K_{f2}e^{-\lambda t}\right]_0^t=\frac{K_{f2}}{\lambda}(1-e^{-\lambda t}) \tag{5}$$

Sind also die Konstanten in Gleichung (1) bekannt, ist es möglich, für jeden Zeitraum das Spanvolumen zu ermitteln, das von einer Breiteneinheit des Werkstückes mit der Radialkrafteinheit abspanbar ist. Da die Radialkraft $F_r$. von den Betriebsparametern abhängig ist, muß ihre Größe in dem gegebenen Fall bekannt sein. Der Wert von $F_{r\,\text{spez}}$ bezogen auf 1 mm Breite ist gewöhnlich unter 1. Vermindert sich dieser Wert, vermindert sich auch der Wert von $K_{f2}$.

Nach Lure beträgt $K_{f2}=(C_k \cdot F_{r\,\mathrm{spez}})^{0,16}$ auf Grund der graphischen Analyse der Kurven. Zum Beispiel, für eine Scheibe mittlerer Härte und mittlerer Körnung: $C_k=24$. Ist $F_{r\,\mathrm{spez}}=5\,[N/\mathrm{mm}]$, gilt $K_{f2}=24 \cdot 5^{0,16} =31\,[\mathrm{mm}^3/\mathrm{min}, N]$. Demnach werden in Gleichung (5) die der jeweiligen Scheibe und den einzustellenden Betriebsbedingungen entsprechenden Werte eingesetzt.

So wird erzielt, daß das Integral die tatsächlichen Spanabhebung ergibt. Das berechnete Gesamtspanvolumen ermöglicht die Bestimmung der Werkstückszahl zwischen zwei Dressierungen.

### $C_T$. $K_{f2}$ *und das zugehörende* $T$ *als Standzeitskriterium*

Die zeitabhängige Verminderung des komplexen Spanfähigkeitsparameters war zu sehen. Gegebenenfalls kann diese auch ein Drittel des Ausgangswertes erreichen, wie im Abschnitt 3 beschrieben wird. Es wäre unzweckmäßig, Scheiben mit so stark veminderter Spanfähigkeit zu benutzen. Dagegen empfiehlt es sich, da Standzeitkriteriums einzuführen, mit dessen Hilfe die Zerspanungszeit ermittelt wird, wo

$$[K_{f2}]_{\mathrm{meg}} \geqq C_T K_{f2} \tag{6}$$

Die Konstante $C_T=0{,}5-0{,}9$ ist eine charakteristische Kenngröße der Standzeit, so ergibt sich nach Gleichung (2) für die Standzeit:

$$T=\frac{1}{\lambda}\ln\frac{K_{f2}}{C_T K_{f2}}=\frac{1}{\lambda}\ln\frac{1}{C_T} \tag{7}$$

Die von Kortschak durchgeführten Messungen (7) sind z. B. in Tafel 1 und durch Kurve 1 in Bild 2 angegeben; bei einer der Messungen erhielt er $K_{f2}=28$ und $\lambda=0{,}07$. Wird $C_T=0{,}5$ gewählt (Spalte 5 in Tafel 1), gilt

$$T=\frac{1}{0{,}07}\ln\frac{1}{C_T}=9{,}91 \text{ (min)},$$

d. h. daß nach 9,91 Minuten der Spanfähigkeitsparameter $K_{f2} =14\,[\mathrm{mm}^3/\mathrm{min}/N]$ beträgt. Bei einer Radialkraft $F_r=1N$ wird während dieser Zeit das von der Längeneinheit abgespante, integrierte Gesamtspanvolumen $Q_t=200\,[\mathrm{mm}^3/N]$ betragen. Kortschak arbeitete mit dem Wert $F_{r\,\mathrm{spez}} =6N/\mathrm{mm}$, so ergibt sich — bei Beachtung der Berechnungstechnik der Meßwerte — das tatsächlich abgespante Spanvolumen zu:

$$Q_{\mathrm{real}}=F_{r\,\mathrm{spez}} \cdot Q_t=6 \cdot 200=1200\,[\mathrm{mm}^3]$$

Das Quotient des reellen Wertes von $Q_{\text{real}}$ und des Volumens $Q_{\text{mdb}}$ — das auf Grund der Werkstückzugabe abzuspanen ist — ist gleich der Zahl der in der Standzeit abspanbaren Werkstücke, d. h.

$$n_{\text{mdb}} = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{mdb}}} \tag{8}$$

*Iterationsverfahren zur Bestimmung der Werte $\lambda$ und $K_{f2}$ (Vorschlag des Verfassers)*

Ist das Gesamtspanvolumen bekannt, das bei einem Schleifvorgang in zwei verschiedenen Zeitpunkten von der Breiteneinheit des Werkstückes mit der Krafteinheit abgespant wurde, lassen sich die Werte $\lambda$ und $K_{f2}$ berechnen. Sei das abgespante Gesamtspanvolumen im Zeitpunkt $t_1$: $Q_{t1}$ und im Zeitpunkt $t_2$: $Q_{t2}$, dann wird nach Gleichung (5) geschrieben:

$$Q_{t1} = \frac{K_{f2}}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t_1}); \qquad \text{bzw.} \qquad Q_{t2} = \frac{K_{f2}}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t_2}) \tag{9}$$

Als Quotient beider Ausdrücke gilt:

$$\frac{Q_{t1}}{Q_{t2}} = \frac{(1 - e^{-\lambda t_1})}{(1 - e^{-\lambda t_2})} \tag{10}$$

In Gleichung (10) ist $\lambda$ der einzige unbekannte Wert. Wird der Wert $\lambda'$ von einem günstig gewählten niedrigen Wert ab fortlaufend gesteigert, tritt die Gleichheit beider Seiten bei einem bestimmten Wert $\lambda'$ auf. Dann ist $\lambda$ gleich dem gesuchten Wert. Nach Rücksetzung dieses Wertes in eine der Beziehungen (9), ist es möglich, $K_{f2}$ zu ermitteln. Bei Benützung eines Tischrechners brauchen die einzelnen Schritte der Iteration einige Sekunden, und das Resultat liegt nach 5 oder 6 Schritten bereits vor, vorausgesetzt, daß die Steigerung des Wertes $\lambda'$ nicht zu gering gewählt wurde. Die Steigerung um 0,005 oder 0,01 zeigt sich rationell. Zum Beweis dienen die Angaben, die vom Verfasser und Mitarbeitern mit den konventionellen Bestimmungen der Werte $\lambda$ und $K_{f2}$ erhalten wurden [2].

## Meßergebnisse

Es gibt mehrere Durchführungsarten der Messungen:

— Messung der Kraftkomponenten in jedem Zeitintervall und Messung des abgespanten Spanvolumens; nach dieser Methode hat unsere Forschungsgruppe gearbeitet [2].

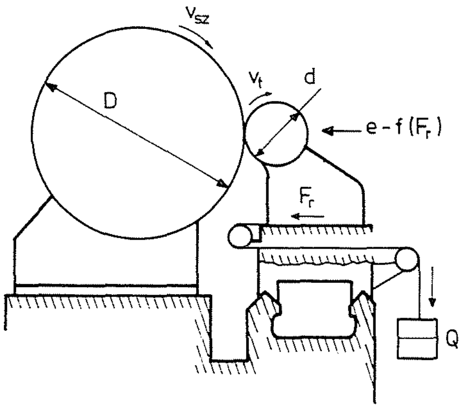


Abb. 1

— Die Messung erfolgt mit regulierter Radialkraft $F_r$, wobei der Schlitten, der die Werkstücke hält, mit auflegbaren Gewichten an die Werkstücke gedrückt wird; nur die Zeit und das abgespante Spanvolumen werden gemessen. Die Messungen von Kortschak (7) wurden auf diese Weise durchgeführt (Abb. 1).

— Nur die Werte $Q_1$ und $Q_2$ werden gemessen, während $F_{r\,\text{spez}}$ mit den bekannten Beziehungen errechnet wird (Vorschlag des Verfassers).

*Erörterung der Messungen der Forschungsgruppe [2]*

Für die Versuche wurden zum Flachschleifen aus unlegiertem Karbonstahl (HB$=200\pm10$) eine Scheibe (Zeichen KA 32 I 11 Ke) und eine Basisflüssigkeit nach ISO eingesetzt. Man bekam für $K_{f2}=44{,}1$ und $\lambda=0{,}007$ (vgl. Tafel 2 in [2]).

Das Integral des Bereiches unter der Lureschen Kurve, nach Gleichung (5), ergibt sich bei $t=10$ Minuten zu:

$$Q_t=\frac{K_{f2}}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})=\frac{44{,}1}{0{,}007}(1-e^{-0{,}007.10})=330\left[\frac{\text{mm}^3}{N}\right]$$

Auf Grund der Messungen wurde für den Mittelwert der Radialkraft, gemessen an 10 mm Werkstückbreite, 69,5 $N$ erhalten, d. h.: $F_{r\,\text{spez}}=6{,}95\ N/\text{mm}$. Daraus folgt, daß von 1 mm Werkstücksbreite tatsächlich ein Spanvolumen

$$Q_{\text{real}}=F_{r\,\text{spez}}\cdot Q_t=6{,}95\cdot 440=3060\,[\text{mm}^3]$$

abgespant wurde.

Der gemessene Wert beträgt 2980. Die Abweichung zwischen dem gemessenen und dem berechneten Wert ist 3%. Die gemessene Kraft $F_r$ soll mit einer bekannten Formel überprüft werden. Da Formeln nur für $F_t$ vorliegen, wird zuerst der Wert $F_t$ ermittelt; ihre Multiplikation mit dem Quotienten $F_r : F_t$ gibt den Wert der Radialkraft. Die Quotienten der Radialkräfte $F_r$ und der tangentiellen Kräfte $F_t$ sind in Tabelle 1 angegeben:

**Tabelle 1**

| $t$ [min] | $F_r/F_t$ | Mittelwert |
|---|---|---|
| 1 | 1,68 | |
| 2 | 1,74 | |
| 3 | 1,66 | |
| 4 | 1,65 | |
| 5 | 1,64 | |
| 6 | 1,68 | 1,69 |
| 7 | 1,69 | |
| 8 | 1,68 | |
| 9 | 1,72 | |
| 10 | 1,73 | |
| 11 | 1,75 | |
| | $\sum$ 18,62 | |

Wie aus der Tafel ersichtlich ist, beträgt der Mittelwert der Quotienten aufgerundet: $F_r : F_t = 1{,}7$. Von Lure wird für den Mittelwert $1{,}8 \div 2{,}5$ vorgeschlagen [10]. In Ungarn haben sich Tóth [11] und Tutsek [12] mit Kraftmessungen befaßt. Beim Normalschleifen liegen die Quotienten der von ihnen erhaltenen Kraftwerte im Bereich, wie durch Lure empfohlen. Wähle man den Wert 1,7.

Es ist zu überlegen, in wie weit die empirische Formel von Masslow [8] zur Bestimmung von $F_t$ geeignet ist. Bei $v_t = 10$ m/min, $s = 10$ mm und $a = 0{,}03$ mm/Vorschub, führt die Formel von Masslow zum nachstehenden Ergebnis:

$$F_t = 21 v_t^{0,7} s^{0,7} a^{0,6} = 67{,}4\ (N) \qquad \text{(gemessen: 41,1)}$$

Die Abweichung der berechneten Werte von den gemessenen Werten ist also 64%. Ist also der Wert $F_r$ bei irgendeinen $K_{f2}$ und $\lambda$ nicht bekannt, kann man $F_r$ als Produkt des Wertes $F_t$ und der Konstante 1,7 mit Hilfe der empirischen Formel, mit zufriedenstellender Annäherung zu erfassen. Dies wird im folgenden Abschnitt durch ein Beispiel erläutert.

*Erörterung der Messungen von Iliász*

Iliász (4) hat sich mit Vergleichsprüfungen der Einwirkungen von Bindemitteln bei Schleifscheiben befaßt. Die traditionelle Scheibe hatte die Bezeichnung „20“. Für das Innenrundschleifen wurde ein Stahl von $C = 0{,}6\%$ (HB 260–280) benützt. Die Bedingungen der Versuche waren wie folgt: $v_{sz} = 28$ m/s, $v_t = 39$ m/min, $s = 8$ mm/Kl, $a = 0{,}004$ mm/Kl, Kühlschmiermittel: 2,5% Emulsion. Bestimmen wir nun aus der von ihm mitgeteilten Lureschen Beziehung den reellen und den integrierten Wert von $Q_t$ nach vom Verfasser vorgeschlagenen Berechnungsmethode sowie die Standzeit der gewählten Standzeitkonstante $C_T = 0{,}5$. Für die Scheibe „20“ werden von Iliász $\lambda = 0{,}12$ und $K_{f2} = 24{,}2$ angegeben.

Laut Gleichung (7) gilt für die Standzeit (bei $C_T = 0{,}5$):

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{C_T} = \frac{1}{0{,}12} \ln \frac{1}{0{,}5} = 5{,}77 \text{ [min]},$$

d. h. aufgerundet 6 min. Demnach wird $Q_t$ wie folgt ermittelt:

$$Q_t = \frac{K_{f2}}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) = \frac{24{,}2}{0{,}12}(1 - e^{-0{,}12 \cdot 6}) = 102{,}8 \left[\frac{\text{mm}^3}{N}\right]$$

Zur Berechnung von $Q_{\text{real}}$ ist die Kenntnis des Kraftwertes $F_{r\,\text{spez}}$ notwendig. Dies wurde von Iliász nicht angegeben. Berechne man $F_t$ mit der bereits erwähnten Formel von Masslow:

$$F_t = C_w v_t^{0,7} s^{0,7} a^{0,6} = 44{,}6 \ (N)$$

Für die Radialkraft (bei $F_r : F_t = 1{,}7$):

$$F_r = 1{,}7 \cdot F_t = 1{,}7 \cdot 44{,}6 = 75{,}9 \ (N)$$

Da die Radialkraft an einer Länge von 8 mm wirkt,

$$F_{r\,\text{spez}} = \frac{75{,}9}{8} = 9{,}5 \left[\frac{N}{\text{mm}}\right]$$

und

$$Q_{\text{real}} = F_{r\,\text{spez}} Q_t = 9{,}5 \cdot 102{,}8 = 976{,}6 \, [\text{mm}^3]$$

Während einer Schleifzeit von $t = 6$ Min. hat Iliász $Q_{\text{real}} = 2190$ mm$^3$ gemessen, d. h. die Abweichung vom gerechneten Wert machte 55% aus. Der Scheibenverschleiß beginnt bei $t = 6-8$ Minuten intensiver zu werden (Abb 7 in [4]), so daß das Abrichten bei $t = 6$ Minuten wirklich zweckdienlich ist, wie es nach den Berechnungen auch zu erwarten war.

Wegen der Abweichung von 55% wurde angenommen, daß die Ausgangsdaten der Kurve $t - Q$ ([4]) und der Kurve $K'_{f2} = f(K_{f2})$ nicht gleich waren. Für die Überlegungen wurde das Iterationsverfahren eingesetzt (Tab 3).

Nach dem Iterationsverfahren: $\lambda=0{,}1$ und $K_{f2}=71{,}1$, so bei $t=4$

$$Q_t=\frac{K_{f2}}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})=\frac{71{,}14}{0{,}1}(1-e^{-0{,}1\cdot 4})=234{,}7\left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Kp}}\right]$$

und

$$Q_{\text{real}}=Q_t\cdot F_{r\,\text{spez}}=0{,}95\cdot 234{,}7=223{,}02\ [\text{mm}^3]$$

gemessen: 213 [$\text{mm}^3$]
Fehler: +010,02 $\Delta_H=4{,}5\%$

bei $t=8$

$$Q_t=\frac{K_{f2}}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})=\frac{71{,}14}{0{,}1}(1-e^{-0{,}1\cdot 8})=391{,}3\left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Kp}}\right]$$

und

$$Q_{\text{real}}=Q_t\cdot F_{r\,\text{spez}}=0{,}95\cdot 391{,}3=371{,}7\ [\text{mm}^3]$$

gemessen: 363 [$\text{mm}^3$]
Fehler: 8,7 $\Delta_H=2{,}4\%$

Es ist also klar, daß die Ausgangsdaten der zwei Kurven nicht gleich waren.

*Erörterung der Messungen von Kortschak*

Kortschak [7] hat 19 Stähle geprüft und in seiner Publikation Konstanten $K'_{f2}$ angegeben. Nur die Werte $K'_{f2}$ wurden angeführt, diese aber für jeden Stahl für die Schleifzeiten $t=5$ und $t=15$ Minuten. Die Messungen wurden an einer speziell umgebauten Rundschleifmaschine durch Einstechschleifen durchgeführt, mit einer Radialkraft von 8 $N$ je 1 cm Scheibenbreite. Die Prüfbedingungen waren: $v_{sz}=35$ m/s, $v_t=20$ m/min und die Werkstücksbreite: 36 mm. Die Spanabhebung trat zwischen 0,036 und 0,009 selbsttätig auf. Für die Berechnungen ist der Wert der Kraft $F_{r\,\text{spez}}$ nötig. Nach dem vorgeschlagenen Verfahren soll die Kraft $F_t$ für die durchschnittliche Umdrehungszahl, d. h. $a=0{,}02$ mm/U ermittelt werden.

$$F_t=C_W v_t^{0{,}7} s^{0{,}7} a^{0{,}6}=210{,}4\ (N)$$

Die Radialkraft:

$$F_r=1{,}7\cdot 210{,}5=357{,}8\ (N)$$

Diese Kraft wirkt auf 36 mm Breite, also:

$$F_{r\,\text{spez}}=\frac{357{,}8}{36}=9{,}9\left[\frac{N}{\text{mm}}\right]$$

Kortschak hat bei seinen Schleifarbeiten eine keramisch gebundene Scheibe von mittlerer Körnung und mittlerer Härte angewandt (PP350 × 40

$\times$ 127, 3925ClK, nach GOST). Ein Teil seiner Messungen wurde nach meinem Vorschlag bewertet. Aus zwei Punkten wurden die Werte $\lambda$ und $K_{f2}$ ermittelt, dann die für die einzelnen Metallgruppen charakteristischen Meßwerte in einem Diagramm aufgetragen (Tab 2 und Abb 2). Tab 2 enthält auch die integrierten Werte $Q_t$ für $t=5$, $t=10$ und $t=15$ Minuten. Auch die zum Standzeitkriterium $0{,}5 \cdot K_{f2}$ gehörenden Werte $T$ und $Q_T$ sind angegeben. Wie aus Tab. 2 eindeutig hervorgeht, wäre es nicht sinnvoll nach Erreichung des Wertes $0{,}5 \cdot K_{f2}$ das Schleifen fortzusetzen. Z. B. im Falle der Zeile 1 wird in den ersten fünf Minuten ein Spanvolumen von 120 [mm$^3$/$N$] abgespant, hingegen in den 5,1 Minuten nach der Standzeit nur 60 [mm$^3$/$N$]. Die außerordentlich schnelle Abnahme der Spanfähigkeit der Scheibe begründet ein Abrichten nach $t=9{,}9$ Minuten.

Gehen wir von der Meßreihe 1 aus, die über das Schleifen eines normalen Konstruktionstahles Informationen liefert. Sind die Schleifbedingungen gleich denen der Versuche von Kortschak und $T=9{,}9$ Min, so ergibt sich der

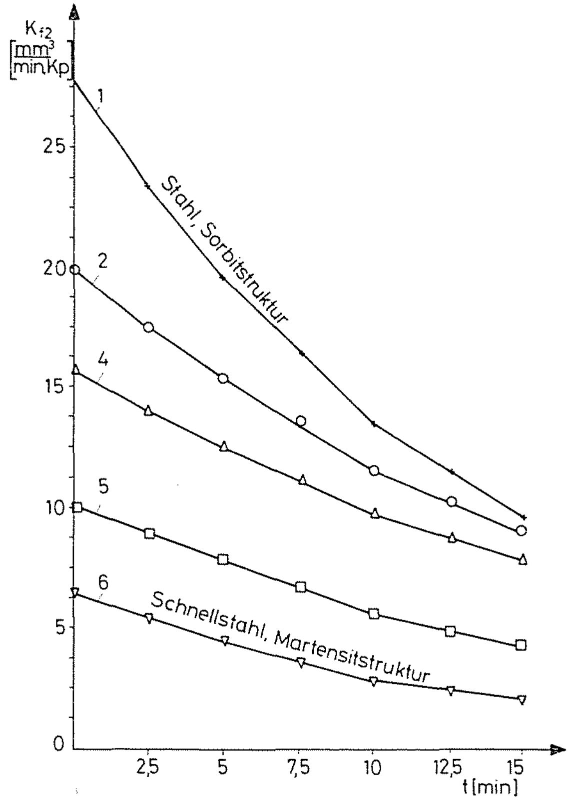


Abb. 2

**Tabelle 2**

Umrechnung der Ergebnisse von Kortschak (Vorschlag des Verfassers)

| Lauf. Nr. | $K_{f2}$ $t=5$ | $K_{f2}$ $t=15$ | $\lambda$ | $K_{f2}$ | $T$ $C_T=0{,}5$ [min] | $\frac{K_{f2}}{\lambda}$ | $Q_T$ [mm³/$N$] | $Q\left[\frac{\text{mm}^3}{N}\right]$ $t=5$ | $Q\left[\frac{\text{mm}^3}{N}\right]$ $t=10$ | $Q\left[\frac{\text{mm}^3}{N}\right]$ $t=15$ | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 19,6 | 9,6 | 0,070 | 28,0 | 9,9 | 400 | 200,0 | 120 | 200,0 | 260,0 | C=0,3% Stahl, Sorbitstruktur |
| 2 | 15,4 | 9,1 | 0,052 | 20,0 | 13,33 | 384 | 192,3 | 188 | 157,6 | 207,6 | C=0,22% Chromvanadiumstahl, Martensitstruktur |
| 3 | 12,5 | 7,8 | 0,047 | 15,8 | 14,75 | 336 | 168,0 | 70 | 124,3 | 171,6 | C=0,5% Chromnickelstahl, Sorbitstruktur |
| 4 | 10,8 | 6,0 | 0,050 | 14,4 | 13,86 | 288 | 144,0 | 63 | 112,3 | 152,7 | C=0,67% Karbonstahl, Troostitstruktur |
| 5 | 7,7 | 4,2 | 0,060 | 10,4 | 11,55 | 173 | 86,2 | 45 | 77,9 | 102,2 | C=0,12%, austenitischer Stahl, Austenit, Karbidstruktur |
| 6 | 4,3 | 2,0 | 0,77 | 6,3 | 9,12 | 82,8 | 41,4 | 26 | 43,9 | 51,3 | W=16% Schnellstahl, Martensitstruktur |

Bemerkungen: a) Spalte 2: die von Kortshak angegebenen Meßwerte;
Spalten 3—10: Werte, berechnet nach dem Vorschlag des Verfassers
Spalte 6: Konstante von $Q=\int K'_{f2}\,dt$
Spalte 7—10: integrierte $Q_t$ Werte in verschiedenen Zeitpunkten
Spalte 11: Kennwert des bearbeiteten Metalls nach Kortschak
b) Kennwerte des Schleifens: Scheibe PP350 × 40 × 127, 3925ClK (GOST)
$v_{sz}=35$ m/s, $v_t=20$ m/min, $a_{\text{mittel}}=0{,}02$ mm/U, $D_{\text{mdb}}=36$ mm
c) Vgl. Abb. 2.

**Tabelle 3**

Bestimmung von $\lambda$ und $K_{f2}$ mit einem Iterationsverfahren, mittels $Q_1$ und $Q_2$ gemessen in zwei verschiedenen Zeitpunkten

$\left(\text{Werte in} \left[\frac{\text{mm3}}{\text{min, kp}}\right] \text{wegen der Vergleichbarkeit}\right)$

| Zeichen | $Q_1$ $\left[\frac{\text{mm}^3}{\text{kp}}\right]$ | $Q_2$ $\left[\frac{\text{mm}^3}{\text{kp}}\right]$ | $t_1$ [*min*] | $t_2$ [min] | $K_{f2}$ | | | $\lambda$ | $K_{f2}$ | | Bemerkung (Forscher) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $Q_1$ | $Q_2$ | Mittelwert | | $t_1$ | $t_2$ | |
| 1 | 760 | 1260 | 5 | 20 | 208,6 | 187,6 | 198,1 | 0,14 | 98,3 | 12,5 | Kortschak |
| 2 | 664 | 1176 | 5 | 20 | 200,4 | 198,6 | 199,3 | 0,16 | 89,6 | 8,12 | Kortschak |
| 3 | 403 | 1050 | 5 | 20 | 107,4 | 112 | 109,7 | 0,08 | 73,5 | 22,15 | Kortschak |
| 4 | 294 | 672 | 5 | 20 | 81,6 | 80,96 | 81,3 | 0,10 | 49,3 | 11,0 | Kortschak |
| 5 | 213,3 | 363 | 4 | 8 | 71,1 | 71,18 | 71,14 | 0,10 | 47,7 | 32, | Iliász $v_t = 39$ m/min |
| 6 | 216,7 | 396,94 | 4 | 8 | 60,19 | 60,11 | 60,15 | 0,05 | 49,25 | 40,3 | Iliász $v_t = 56$ m/min |
| 7 | 213,5 | 371,7 | 4 | 8 | 62,27 | 60,51 | 61,00 | 0,07 | 46,10 | 34,0 | Iliász $v_t = 78$ m/min |

Bemerkungen: a) 1., 2., 3., 4., von Kortschak, S. N.: Obrabatywaemost stalei pri schlifowanii krugami rasnoi charakteristiki. West. Maschinostroenie 1962. No. 2. S.62 – 66. Schleifverhältnisse: Schleifscheibe: EB36 SZTIK, $V_{sz} = 50$ m/s, $v_t = 10$ m/min $e = f(F_r = 12$ kg); Werkstück; 1: Stahl 45; 2: Stahl 50Г; 3: 20XN3A; 4: 33XGA (Nach GOST).

b) 5, 6, 7 von Iliász [4] Schleifverhältnisse: siehe im Text.

c) Iterationsverfahren: siehe im Text.

tatsächliche Wert von $Q_{\text{real}}$ als das Produkt von
$Q_T = 200 \left[\frac{\text{mm}^3}{N}\right]$ und $F_{r\,\text{spez}} = 9{,}9$ [$N$/mm], d. h.

$$Q_{\text{real}} = F_{r\,\text{spez}} \cdot Q_T = 9{,}9 \cdot 200 = 1980\ [\text{mm}^3]$$

Nehmen wir an, daß aus der Mantelfläche eines Werkstückes aus diesem Stahl ein Zusatz von 0,5 mm auf ⌀ 100 mm abzuschleifen ist. So beträgt das von 1 mm Breite des Werkstückes abzutrennende Volumen

$$Q_{\text{mdb}} = D\pi \cdot 1 \cdot 0{,}5 = 157\ [\text{mm}^3]$$

Die Zahl der Werkstücke, die zwischen zwei Scheibendressen herstellbar sind:

$$n = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{mdb}}} = \frac{1980}{157} = 12$$

Die anderen Daten in Tab. 2, die für die einzelnen Werkstoffgruppen angegeben sind, werden auf die gleiche Weise benützt.

## Bearbeitung der Meßwerte nach einer neuen Konzeption

Die Verwendung der Werte $K_{f2}$ und $\lambda$ war bisher — obwohl mit gutem Erfolg — auf Vergleichungen beschränkt. Abschnitt 3 enthält Hinweise auf den möglichen Einsatz der Beziehung nach Lure zur Berechnung wichtiger technologischer Kennwerte ($T$, $Q_{\text{real}}$). Aus den in Abschnitt 3 angeführten Versuchen ist die physikalische Bedeutung der Beziehung ersichtlich. In Kenntnis der Konstanten läßt sich das Spanvolumen ermitteln, das von der Längeneinheit des Werkstückes während der Schleifzeit $t$ abspanbar ist. Ist dies bekannt, wird mit dem von der Zeichnung abgelesenen Wert des abzuspanenden Volumens die Werkstückszahl berechnet, die während der Standzeit der Scheibe schleifbar ist, gleich der Methode in [9].

Da der Wert $\lambda$ von den Bedingungen und $K_{f2}$ von der Scheibe und der Metallsorte abhängig ist, wäre es empfehlenswert, beide Werte für alle Schleifscheiben, Schleifarten und sämtliche zu schleifende Metallsorten zu bestimmen, wie auch von Kortschak durchgeführt, der mit einer Scheibe die $K_{f2}$-Werte 19 Werkstoffen, in je zwei Punkten gemessen hat.

Auch über das Verhältnis $F_r : F_t$ sind unsere Kenntnisse begrenzt, obwohl die Berechnungen reichliche Kenntnisse verlangen. Für $F_t$ sind mehrere empirische, und zwar — wie gesehen — erfolgreich benützbare Formeln bekannt. In Kenntnis dieses Verhältnisses könnte die Radialkraft $F_r$ und daraus $F_{r\,\text{spez}}$ mit höherer Genauigkeit berechnet werden; dies beeinflußt die Größe des abgespanten Volumens $Q_t$ [mm$^3$/$N$], die zum Wert $F_{r\,\text{spez}} = 1$ [$N$/mm] gehört (Berechnung aus der Beziehung nach Lure).

## Schlußfolgerungen

Die Parameter von Lure, $\lambda$ und $K_{f2}$, sind wichtiger als früher gedacht. Bei Vergleichsprüfungen haben sich beide Parameter gut bewährt. Auch Lure selbst hat diese Konstanten zur Prüfung der Wirkungen von mehreren veränderten Eigenschaften eingesetzt. Es wird dargelegt, daß das Integral der Beziehung als ein praktischer Wert zu betrachten ist, dessen Einführung die Berechnung eines neuen Standzeitskriteriums ermöglicht: des zwischen zwei Abrichten abspanbaren Volumens. Eine Berechnung dieser Art ist besonders in der technologischen Planung von Wichtigkeit. Einige, noch unklare Beziehungen bedürfen weiterer Forschungen im Interesse einer höheren Genauigkeit der Berechnungen; die bereits klargelegten Beziehungen bieten jedoch eine Genauigkeit von 3 bis 50% bei der Planung.

## Literatur

1. LURE, G. B.: Kriterii ozenki rabotosposobnosti schlifowalnych krugow, Westnik Maschinostroenia, *4*, 71 (1967)
2. KALÁSZI, I.—ILIÁSZ, D.—TÓTH, I.: Köszörűfolyadékok működése és kiválasztása (Wirkung und Auswahl von Schleifflüssigkeiten) Gép *25*, 165 (1973)
3. Köszörűsök Fóruma (Forum der Granitwerke) 70/1, 65 (1970)
4. ILIÁSZ, D.: A kerámiai kötőanyag minőségének hatása a köszörülés jellemzőire (Wirkung des keramischen Bindemittels auf die Kennwerte des Schleifens) Köszörűsök Fóruma, 70/1, 27 (1970)
5. Köszörűsök Fóruma (Forum der Granitwerke) 73/1, 57 (1973)
6. KALÁSZI, I.—ILIÁSZ, D.—TÓTH, I.: Performance and evaluation of grinding fluids. SME MR72—213. Techn. Paper 1972 USA
7. KORTSCHAK, S. N.: Proiswoditelnost prozessa schlifowania stalnych detalei, Moskau Maschinostroenie, 1974.
8. MASSLOW, E. N.: Grundlagen der Theorie des Metallschleifens. Vlg. Technik, 1952, Berlin
9. Fortuna Werke AG: Körköszörülés (Rundschleifen) Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1967. p. 75.
10. LURE, G. B.—KOMISARSHEWSKAJA, W. N.: Schlifowalnye stanki i naladki. Moskau, Wysschaja Schkola, 1976. p. 188.
11. TÓTH, I.: A köszörűkorong kopása (Verschleiß der Schleifscheibe) Gép, *25*. 15 (1973)
12. TUTSEK, J.: Einfluß der Bindungscharakteristik auf die Schnittkräfte bei Schleifscheiben verschiedener Fabrikate. Schleifen und Trennen, Kundenschrift der Tirolit Werke. *55*, 9 (1970)

István KALÁSZI H-1521 Budapest