DIE OPTIMIERUNG DER ZERSPANPARAMETERN AUF RECHNERISCH GESTEUERTEN WERKZEUGMASCHINEN

Gheorghe OPROESCU
Prof.dr.ing., Dunarea de Jos University of Galati, E-mail oproescu.gheorghe@ugal.ro

Keywords: Spanende Fertigung, Werkzeug, Verschleiß, Optimierung

Zusammenfassung. Die Optimierung der Zerspanparametern in der spanenden Fertigung kan korrekt und relativ einfach sachlich und praktisch auf rechnerisch gesteuerten Maschinen durchgeführt werden. Der Verfasser hat seine eigene Methode entwickelt, unter Berücksichtigung der optimalen Verschleißmarkenbreite der Schneide. Die Werkzeugmaschinen können die Verschleißkurven der Schneide messen und durch eine entsprechende Datenverarbeitung erfolgt die optimale Zerspangeschwindigkeit.

1. EINLEITUNG

Die spanende Fertigung ist auf wirtschaftlichen Gründe von dem Verschleiß der Werkzeugsschneide stark beeinflußt. Die moderne spanende Werkzeuge sind meißt nicht mehr nachschleifbar und nach ihrem Verschleiß wird der spanende Teil, b.z.w. die Schneide, durch einen anderen ersetzt. Falls die Schneide nachschleifbar ist, hat das Werkzeug eine so-genannte Verschleißreserve, welche eine bestimte Nachschleifenanzahl anbietet. Die Ausnutzung der Verschleißreserve hängt im hohen maß von der Größe der Verschleißmarkenbreite VB welche von der Stärke der Zerspanparametern, besonderes von der Spangeschwindigkeit *v*, beeinflußt wird. Die wirtschaftlich optimale Standzeit *T* ist mit der allbekanten Formel zu bestimmen:

$$T = \frac{1-m}{m} \cdot \frac{K_W}{L_A} \tag{1}$$

in dem *m*=das Taylorische Exponent, K_W die Unkosten des Werkzeuges auf seine Standzeit *T*, L_A der Lohn der Arbeiter (oder die Unkosten welche von der Bearbeitungsdauer bestimmt sind) in Einheiten per Minute. Die Unkosten K_W enthalten den Versorgungspreis des Werkzeuges P_W durch die Anzahl der Nachschleifen n_{ns} und den Preis eines Nachscleifens P_{ns}:

$$K_W = \frac{P_W}{n_{ns}} + P_{ns} \tag{2}$$

Die wirtschaftlich optimale Standzeit *T* dient zur Berechnung der optimalen Spangeschwindigkeit *v* mit der Taylorischen Beziehung:

$$v = \frac{C_v}{T^m} \tag{3}$$

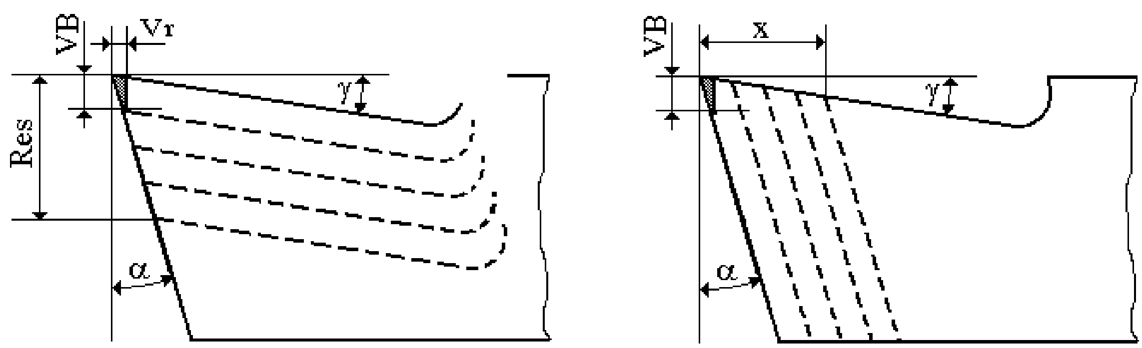
in dem C_v und *m* von sehr vielen Factoren bestimmt sind: der Stoff des Werkstückes und Werkzeuges, die Spanbedingungen (Zerspanen mit oder ohne Kühl-und Schmiermitteln, auf Roh-oder bearbeiteten Fläche) u.s.w. Dadurch ist die Taylorische Beziehung sehr mühsam anwendbar und ihre Ergebniße sind oft ungenau.

Die Fertigung auf numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen bietet den Vorteil an, die sehr alte Taylorische Beziehung wieder berücksichtigt zu werden, auf ganz neuen theoretischen Fundamente. Der Vorteil der neuesten Fertigungstechnologien bestehet darin, die Maschine in solcher Art zu programieren, um sie selbst die optimale Werte der Zerspangeschwindigkeit zu bestimmen.

2. DIE THEORETISCHE FUNDAMENTIERUNG

Als Zerspanmethode wird das Drehen gewählt und das nur als Beispiel um die Methode zu veranschaulichen. Es handelt um eine zylindrische Fläche deren Abmässungen die Länge *L*, der Durchmesser *D* sind. Die Verarbeitung wird mit der Vorschub *s* erfolgt. Die Schneide hat eine Verschleißreserve Res, Bild 1, und die Nachschleifenanzahl ergibt sich von:

$$n_{ns} = \frac{Res}{VB} \tag{4}$$



$$n_{ns} = \frac{Res}{VB}$$

$$n_{ns} = \frac{x}{VB\,tg\alpha} = \frac{Res}{VB}; \quad Res = \frac{x}{tg\alpha}$$

Bild 1. Die Nachschleifenreserve

Falls die Schneide nicht nachschleifbar ist, ergibt sich $n_{ns} = 1$ und dadurch $Res = VB$. Die Grundzeit der Verarbeitung T_b ist

$$T_b = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot v \cdot s} \tag{5}$$

und die Anzahl der damit verarbeiteten Werkstücke *N* wird:

$$N = \frac{Res}{VB} \cdot \frac{T}{T_b} \tag{6}$$

Die Unkosten der Verarbeitung eines Werkstückes ergibt sich durch die Grundformel:

$$U_{stk} = T_b \cdot L_A + \frac{P_W + n_{ns} \cdot P_{ns}}{N} \tag{7}$$

Die Formel (7) gilt für alle Zerspanmethoden. Wenn das Werkzeug unnachschleifbar ist, in (7) ergibt sich $P_{ns} = 0$.
Die Formel (7) wird für Drehen:

$$U_{stk} = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot v \cdot s} \cdot L_A + \left(P_W + \frac{Res}{VB} \cdot P_{ns} \right) \cdot \frac{VB}{Res} \cdot \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot v \cdot s} \cdot \frac{1}{T} \tag{8}$$

oder:

$$U_{stk} = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot s} \cdot \left(\frac{L_A}{v} + \frac{VB \cdot P_W}{v \cdot T \cdot Res} + \frac{P_{ns}}{v \cdot T} \right) \tag{9}$$

Wenn das Werkzeug nicht nachschleifbar ist, in (9) ergibt sich $P_{ns} = 0$ and $VB = Rez$.

Die Unkosten der Verarbeitung werden minimal für $\frac{\partial U_{stk}}{\partial v} = 0; \frac{\partial U_{stk}}{\partial T} = 0$, b.z.w.

$$\begin{cases} L_A \cdot T + \frac{P_W}{Res} \cdot VB - \frac{P_W}{Res} \cdot v \cdot \frac{\partial VB}{\partial v} + P_{ns} = 0 \\ \frac{P_W}{Res} \cdot VB - \frac{P_W}{Res} \cdot T \cdot \frac{\partial VB}{\partial T} + P_{ns} = 0 \end{cases} \tag{10}$$

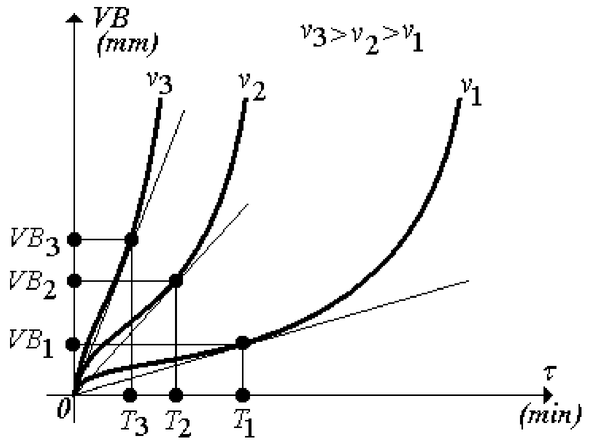


Bild 2. Optimale Werte der Standzeit T_i nach (11)

Setzen wir in der letzten Gleicghung aus (10) $P_{ns} = 0$ (P_{ns} kann sehr gering berücksichtigt werden) und diese Gleichung wird:

$$\frac{\partial VB}{\partial T} = \frac{VB}{T} \tag{11}$$

Die Beziehung (11) bezeichnet, wie im Bild 2 dargestellt ist, die Punkten in welchen die Geraden durch die Ursprung ***0*** der Axis die Verschleißkurven tangentieren. Die Gleichung (11) zeigt daß ein gewißer festgestellter Verschleiß (z.B. *VB*=0,7 mm) für das Ermitteln der Stanzeiten in Taylorischen Beziehung keinen opltimalen Wert für die minimalen Kosten gibt und gleichzeitig beweißt daß der Wert der Verschleißmarkenbreite selbst optimiert werden soll. Die optimale Verschleißmarkembreite befindet sich immer in den Punkte welche von der Gleichung (11) bezeichnet sind oder sehr nah von dieser Punkte. Auserdem, angewandte Versuche des Verfassers [3], [4] beweißen daß die aus den experimentalen Werte *v* und *T* ermittelte Taylorische Beziehung, ensprechend der Gleichung (11) und dem Bild 2, genauer und besser reproduzierbar ist, in Vergleich mit der Beziehung welche zwischen *v* und *T* für feste und konvenzionälle Werte der Verschleißmarkenbreite *VB* ermittelt wurde. Wenn die Werte v_i, VB_i und T_i aus dem Bild 2 für einen sehr konkreten Fäll gemessen worden sind, ergibt sich weiter eine andere sehr genaue Taylorische Beziehung wie (3). Dieselbe Gestalt kann eine Beziehung zwischen *VB* un *T* haben, b.z.w.

$$VB = \frac{C_{VB}}{T^q} \tag{12}$$

um genaue Unkosten mit (9) zu rechnen. Die Beziehung (9) wird, unter Anwendung der Formeln (3) und (12):

$$U_{stk} = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot s} \cdot \left(\frac{L_A \cdot T^m}{C_v} + \frac{C_{VB} \cdot P_w \cdot T^{m-1-q}}{C_v \cdot Res} + \frac{P_{ns} \cdot T^{m-1}}{C_v} \right) \tag{13}$$

Die minimale Unkosten ergeben sich durch $\partial U_{stk} / \partial T = 0$, b.z.w.

$$m \cdot L_A \cdot T + \frac{C_{VB} \cdot P_W}{Res} \cdot (m-1-q) \cdot T^{-q} + P_{ns} \cdot (m-1) = 0 \tag{14}$$

deren Lösung (nur rechnerisch zu finden) ist die optimale Standzeit *T*. Für nicht nachschleifbare Werkzeuge sind die Beziehungen einfacher und die optimale Standzeit kommt aus (1) mit $n_{ns} = 1$ und $P_{ns} = 0$.

3. WIE KANN DAS PRAKTISCH GEMACHT WERDEN

Die dargestellte Methode gilt nur für eine Grosreihe- oder Massenherstellung. Zuerst werden die Spantiefe *t* und Vorschub *s* auf technologischen Gründe bestimmt. Es ist auch nachgewießen daß diese Zerspanparametern einen niedrigen Einfluß auf den Verschleiß haban, in Vergleich mit der Zerspangeschwindigkeit. Weiter wird experimentäll ein Wertebereich für die Zerspangeschwindigkeit *v* festgestellt, in dem die Herstellung qualitätsmässig akzeptiert werden kann. Dann wird die rechnerisch gesteuerten Werkzeugmaschine in solcher Art programiert um eine Menge von Versuchwerkstücke (ein Paar hundert Stück z.B.) zu verarbeiten. Die Verarbaeitung erfolgt mit verschiedene Zerspangeschwindigkeiten v_i im schon obener bestimmten Bereich, üblich 4 ·· 6 Werte für v_i, jede Zerspangeschwindigkeit wird eingestellt auf die ganze zulässige Stanzeit der Schneide. Nach jedem Werkstück werden die Zerspanzeit τ und die Verschleißmarkenbreite *VB* gemessen (die Bewegung des Werkzeuges hat eine speziäle Strecke dafür) und die dadurch gefundene Werte werden gespeichert. Die Verschleißmarkenbreite kan sehr genau ermittelt werden wenn das Werkzeug auf seine Meßstrecke eine immer dieselbe vorprogramierte Stelle gegen einer rechnerischen Meßuhr besitzt und der gemessene radiale Verschleiß *Vr* in Verschleißmarkenbreite VB ungewandelt wird.

Die Funktion $VB(\tau)$ kann also für jede Zerspangeschwindihkeit v_i analytisch interpoliert werden (z.B. mit einem Polynom) und rein analytisch wird den Wert T_i aus Bild 2 bestimmt. Aus verschiedenen Zerspangeschwindigkeiten ergeben sich eine Reihe von

v_i, T_i, VB_i, um die Koefizienten und Exponenten aus (3) und (12) zu berechnen. Weiter werden die optimalen Werte für *T* und *v* bestimmt, in abhängigkeit von L_A, P_W, P_{ns}. Wenn diese finanzielle Parametern sich ändern, es ist sehr einfach die neue optimalen Werte der Standzeit *T* und Zerspangeschwindigkeit *v* zu finden, die Beziehungen (3) und (12) gelten so lange die Qualität des Werkstückes und Werkzeuges nicht geändert worden sind.

Die Versuchwerkstücke sind kein Ausschuß, sie können weiter verwendet werden, die Unterschied bestehet nur darin, sie sind in unoptimalen Bedingungen hergestellt und das nur einmal auf die ganze Dauer der Fertigung eines bestimten Werkstückes.

4. ERGEBNISSE

Der Verfasser hat praktische Versuche durch Drehen (leider auf eine klassische Maschine SN400X750) durchgeführt und hat dadurch die Verschleißdiagramen aus Bild 3 gefunden. Das Werkstück bestehet aus 33MoC11, HB=229daN/mm^2, die Werkzeugsschneide ist eine wechselbare Plattine aus P10 mit TiN besichted, K=45^0, K$_1$=15^0, λ=0^0, γ=3^0, α=8^0. Die Gleichungen (3) und (12) lauten $v = 1070/T^{0,83}$, $VB = 4{,}42/T^{1,15}$.

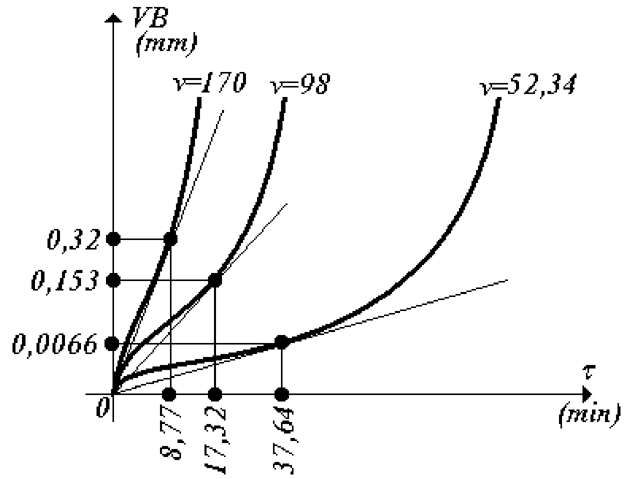


Bild 3. Praktisch ermittelte Werte beim Drehen

Für *L*=100mm, *D*=40mm, *s*=0,04 mm/Um., P_W=50 Einheiten, P_{ns}=0, $VB = Res$, L_A=2 Einheiten / minute ergeben sich T=4,2 min, v=325 m/min, *VB*=0,84 mm, U_{stk}=3,23 Einheiten. Wenn die Belohnung L_A kleiner wird, b.z.w. L_A=0,366 Einheiten/minute, haben wir *T*=9,26 min, *v*=169 m/min, *VB*=0,34mm, U_{stk}=1,14 Einheiten. Es ist sehr deutlich zu sehen daß die Verschleißmarkenbreite *VB* selbst optimiert werden soll und ihr Wert hängt von der technischen und wirtscaftlichen Bedingungen der Fertigung.

5. SCHRIFTUM

[1] Constantinescu Ion s.a. Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. Editura Tehnica, Bucuresti, 1980.

[2] Oproescu Gheorghe s.a. Cercetari privind capacitatea de aschiere a placutelor TNNG 22.04.12 din diferite grupe de utilizare, acoperite cu TiC respectiv TiN. Contract intre Inst. Politehnic Bucuresti si Intr. de Mec.Fina, Bucuresti, decembrie 1982.

[3] Oproescu Gheorghe. Optimizarea regimului de aschiere. Tipografia Univesritatii din Galati, 1991.

[4] Gh. Oproescu. Modelari in procesul de aschiere a metalelor, Editura ZEDAX, Focsani 1997, ISBN 973-97370-5-6.

[5] Popescu Iulian. Optimizarea procesului de aschiere. Editura Scrisul Romanesc, Craiova, 1987.