

AZ OPTIMÁLIS ÚJRAÉLEZÉSI SZÁM MEGHATÁROZÁSA KÍSÉRLETI-ANALITIKAI MÓDSZERREL KRÁTERES SZERSZÁMKOPÁS ESETÉBEN

TÓTH TIBOR és VADÁSZ DÉNES

CÉPIPARI TECHNOLÓGIAI INTÉZET

[Beérkezett 1968. április 10-én]

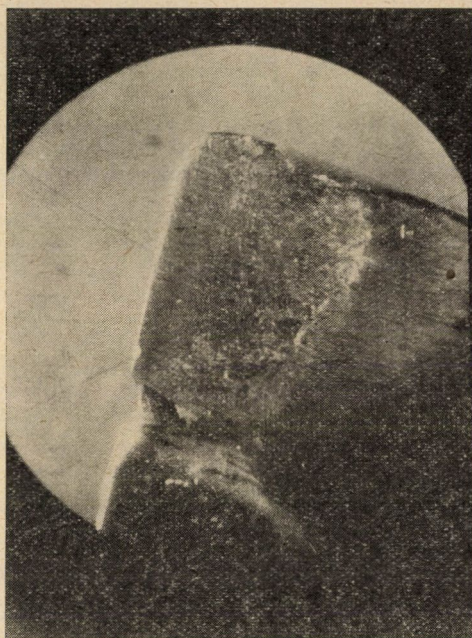
A szerzők kísérleti-analitikai eljárást javasolnak a szerszámfelhasználás szempontjából optimális újraélezési szám meghatározására kráteres szerszámkopás esetén. Kísérleti tapasztalataikra és a vonatkozó szakirodalom legújabb eredményeire támaszkodva bemutatják, hogyan számítható a megengedhető kráterszelvény-terület mértéke adott szerszámra és megmunkálási körülményekre úgy, hogy a szerszám teljes elhasználódásáig teljesíthető forgácsolási idő maximális legyen. Részletesen elemzik a megoldás technológiai-fizikai relációját, továbbá rámutatnak, hogy a javasolt számítási módszer algoritmusa igen jól kezelhető elektronikus számítógéppel.

I. Az optimális kráterszelvény-terület és a hozzárendelt újraélezési szám meghatározásának szükségessége

A forgácsolási folyamatok gazdaságosságának vizsgálatában fontos szerepe van az alkalmazott forgácsoló szerszámok élettartamának. Világszerte ismeretes az a tény, hogy a gépiparban — ahol a forgácsolásra fordított idő tapasztalati adatok szerint az alkatrészek megmunkálására fordított összidőnek kb. 70%-a — jelentős gazdasági tényezőként hat a gazdaságos szerszámfelhasználás kérdése. A forgácsolószerszámok élettartama — amely annál nagyobb, minél jobbak a szerszám forgácsolóképességét meghatározó tulajdonságok — elsősorban a szerszámél környezetének kopásviszonyaival van technológiai-fizikai kapcsolatban. A korszerű szerszámminősítő rendszerek középpontjában így érthetően a szerszám élettartama, forgácsolóképességének vizsgálata és a kopásviszonyok elemzése áll [5, 11].

A forgácsolószerszámok élettartamának vizsgálatában egészen a legutóbbi időig a szerszám hátfelületének kopását vették alapul — elsősorban az egyszerű mérhetőség elvéből kiindulva. A közelmúltban több kutató arra a következtetésre jutott, hogy a hátkopás alapján gyakran *nem célszerű*, bizonyos paraméter-tartományokban pedig egyáltalán nem is lehet a szerszámot forgácsolóképesség szempontjából *minősíteni* [5, 7]. A szerszám kopása komplex, bonyolult jelenség, egy szerszámon adott időpontban általában többféle kopásmód — hátkopás, kráteres kopás, csúcskopás, élkopás (lásd pl. az 1. ábrát) — egyidejűleg jelentkezik. Nyilvánvaló, hogy a szerszám minősítését az adott esetben *domináns* kopásforma vizsgálatán át célszerű

elvégezni. KALÁSZI ISTVÁN a hátkopásmérések kritikáján túlmenően új eljárást dolgozott ki a szerszámkopás vizsgálatára, kráteres kopás esetére [7]. Nevezett szerző a kráteres kopást egy — korábban nem használt — paraméterrel, a szerszám homloklfelületén keletkező kráter szelvényterületével (F_k) jellemzi, rámutat arra, hogy az új paraméter a forgácsolási idő függvényében inter- és extrapolálható összefüggésekhez vezet, így az egyéb kopásvizsgálati módoktól eltérően *rövidített éltartamvizsgálatokat* tesz lehetővé. E referátum



1. ábra. Kopott, keményfémlapkás esztergakés Zeiss univerzális nagy-szerszámmikroszkóp látómezejében; a domináns kopás kráter- és élkopás
 Minőség: A lapka, $HV = 1688$ kp/mm²; munkadarab: C 60 szabványosított acél, $HB = 215$ kp/mm²; $\sigma_B = 75$ kp/mm²; műszaki adatok: $v = 140$ m/min., $f = 2$ mm, $e = 0,4$ mm/fordulat; a forgácsolásban eltöltött idő: 21 min.

szerzői a [7] munkát alapvetőnek tekintik és több vonatkozó — saját kísérleteikkel is ellenőrzött — megállapítását a továbbiakban felhasználják.

A KGM Gépipari Technológiai Intézetének miskolci forgácsolástechnológiai kutatóhelyén a szerzők nagyvolumenű forgácsolási kísérleteket végeztek A minőségű keményfémlapkás esztergakések élettartamának és több más forgácsolástechnológiai paraméterének komplex vizsgálatára [13]. A kísérletek során C 60 minőségű, normalizált állapotú acélananyagot forgácsolva a $60 \leq v \leq 140$ m/min forgácsolósebesség-tartományban a szerszámok komplex kopásában hát-, kráteres-, csúcs és élkopás egyaránt megfigyelhető volt, de domináns kopásformaként a kráteres kopás emelhető ki. Több alkalommal előfordult, hogy a szerszámot a kráterkopás rohamos növekedése miatt újra kellett

élezni, amikor az észlelt hátkopás még messze nem haladta meg a szakirodalom irányértékeit [1, 2, 4, 8].

Ha a szerszámra jellemző domináns kopásmód a kráteres kopás, a szerszám élettartamának vizsgálatában ezt a kopásmódot kell figyelembe venni. A kráteres kopásra jellemző forgácsolósebesség-tartományok kísérleti kutatás alapján történő behatárolásával a kráteres kopás paramétereinek ismeretében megbízhatóan minősíthetünk a [7] munkában ajánlott F_k paraméter segítségével, és egyben lehetőség nyílik a szerszámfelhasználás optimalizálására is. E közlemény célja éppen ez utóbbi feladat megoldása.

II. A feladat megfogalmazása és megoldása kísérleti-analitikai módszerrel

A feladat a kráteres kopás tartományában történő forgácsolás esetére így fogalmazható meg:

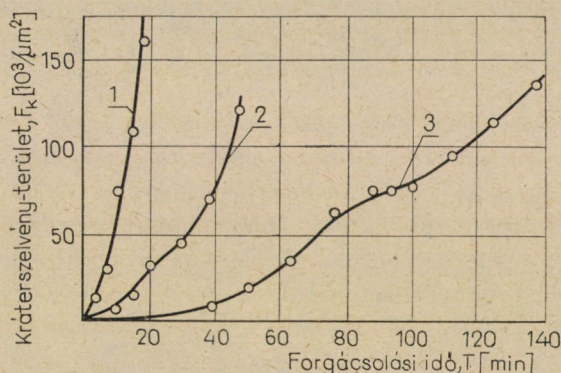
Határozzuk meg a megengedhető kráterszelvény-terület mértékét és az újraélezések számát adott szerszámra, munkadarabra és megmunkálási körülményekre úgy, hogy a szerszám teljes elhasználódásáig teljesíthető forgácsolási idő maximális legyen. A kopás alakulására — a kráterszelvény változásán, mint paraméteren keresztül — a 2. ábra jellemző.

Vizsgáljuk meg a lehetséges újraélezések számának kérdését a szerszám homlokfelületén észlelt kráteres kopás esetén. A homlokfelületről újraélezés-kor a homlokfelület normálvektorának irányában minden egyes esetben

$$m' = m + b \quad (1)$$

vastagságú réteget kell eltávolítani, ahol

m a kráter mélysége a vizsgálat számára kitüntetett, fő forgácsolóéltre merőleges metszetben [mm, ill. μm];



2. ábra. A kráterszelvény-terület változása a forgácsolási idő függvényében C 60 minőségű acél A keményfémplapkás esztergákéssel végzett forgácsolásakor

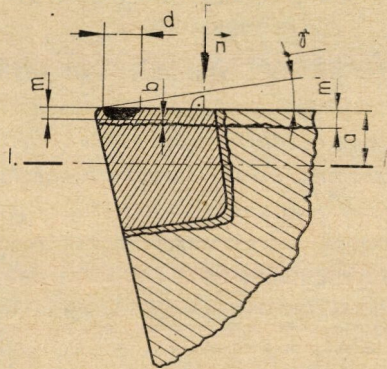
Műszaki adatok: szerszám-élgeometria $\alpha = 90^\circ$, MSZ 1257-61, III. élszögcsoport; állandó műszaki paraméterek: $e = 0,4$ mm/fordulat, $f = 2$ mm; első $v = 140$ m/min., második $v = 105$ m/min., harmadik $v = 80$ m/min.; szerszámgép: Progress Rumpf 500 EL.

b a kráteres kopás következtében roncsolást szenvedett, csökkent szilárdságú réteg vastagsága, amelyet élezéskor el kell távolítani [mm, ill. μm].

A lehetséges újraélezések száma a szerszám megengedhető szilárdságcsökkenésének figyelembevételével (3. ábra)

$$n = \frac{a}{m + b}, \quad (2)$$

ahol a a szerszám élezéssel eltávolítható rétegének vastagsága [mm, ill. μm].



3. ábra. Értelmező ábra a kráteres kopású szerszám optimális újraélezési számának meghatározásához

Legyen a szerszám két élezése között forgácsolásban eltelt idő T , ezzel a szerszám teljes elhasználódásáig ($I-I$ sík) teljesíthető forgácsolási idő:

$$\tau = nT = T \frac{a}{m + b}. \quad (3)$$

A (3) összefüggésben m és b értékeit kísérleti úton kell meghatározni. Az m krátermélység értékét a forgácsolás tetszés szerinti időpontjaiban a forgácsolási folyamat megszakításakor beiktatott mérésel állapítjuk meg. E célra alkalmas műszer pl. *Linnik—Schmaltz*-féle kettős mikroszkóp, vagy a zafírtús 0,001 mm mérési pontosságú mérőórával ellátott készülék. A kopás folyamán roncsolást és felkeményedést szenvedett réteg b vastagságára legalább

$$b \approx 2R_{\max} \quad (4)$$

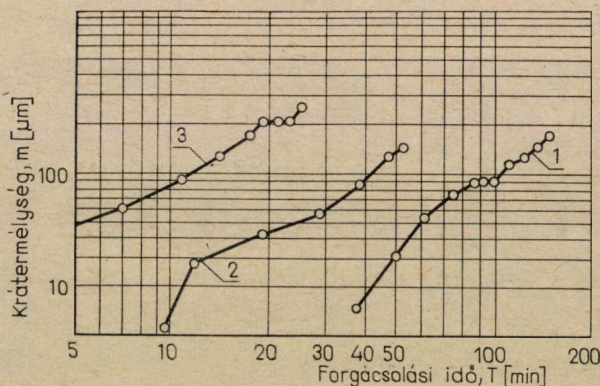
vehető figyelembe, ahol R_{\max} a kráterfal maximális érdessége [3].

A szerszám újraélezhetőségi számát alapvetően befolyásoló a méret nagyságát a szerszám anyagnak megfelelően szilárdságtani megfontolások

alapján állapítjuk meg. (Keménység, hajlítószilárdság, fajlagos életterhelés megengedhető értékei, amelyek a vonatkozó szakirodalomban megtalálhatók.)

Tételezzük fel, hogy a kráteres kopás tartományban forgácsolva bizonyos kráterszelvény észlelésénél megszakítottuk a forgácsolást és a szerszámot újra kívánjuk élezni. Kísérleteink során Linnik—Schmaltz kettős mikroszkóp segítségével mértük a kráter mélységét (m) és Zeiss univerzális szerszám-mikroszkóppal a kráter szélességi méretét (d). A szerszám teljes elhasználódásáig teljesíthető forgácsolási idő (τ) a (3) összefüggés szerint két változó, T és m függvénye, mivel azonban a konkrét kísérleti eredmények alapján az $m = m(T)$ függvénykapcsolat ismeretes, csak egy független változója van, T . Minthogy a

$$\tau = \tau[T; m(T)] \quad (5)$$



4. ábra. A krátermélység változásának szemléltetése a forgácsolási idő függvényében, log—log diagramban (a forgácsolási paraméterek azonosak az 1. ábra adataival)

függvény maximumát viszonylag egyszerűen számíthatjuk, a (3) összefüggés alapján kézenfekvő lenne az optimumkereséshez az

$$m = m(T) \quad (6)$$

kísérleti függvénykapcsolatot felhasználni. Meg kell azonban vizsgálnunk, hogy a (6) függvénykapcsolat interpolálható összefüggést eredményez-e vagy sem. Ha igen, a feladatot viszonylag egyszerűen megoldhatjuk. Ha azonban nem, úgy meg kell keresnünk az m krátermélység és az F_k kráterszelvény-terület kapcsolatát, mert az utóbbi a [7] munka meggyőző igazolása szerint inter- és extrapolálható összefüggést ad a forgácsolási idő függvényében.

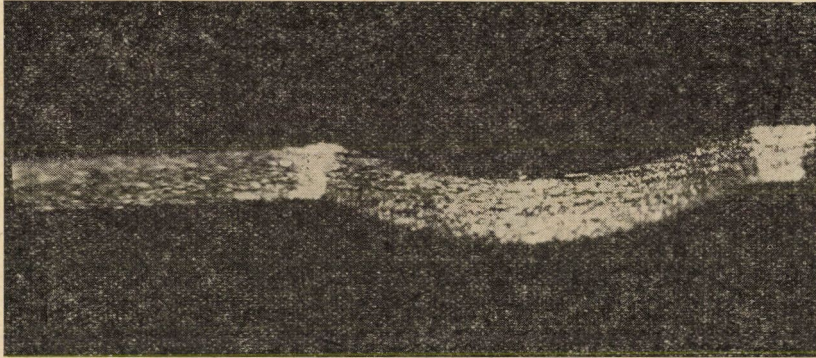
A szerzők a kísérleteik során felvett $m = m(T)$ függvénykapcsolatokat log—log diagramban ábrázolták. Erre mutat példát a 4. ábra. Az ábrából látható, hogy a krátermélység változása nem fejezhető ki olyan függvénykapcsolattal, amely interpolációt lehetővé tenne, vagyis az $m = m(T)$ függvény

analitikai kezelhetőségét elfogadható hibát eredményező approximációval nem tudjuk megoldani.*

KALÁSZI ISTVÁN szerint a krátterszelvény-terület igen jól közelíthető meg egy olyan körszelet területével, amely esetében a húr hossza, d megfelel a krátterszelvény szélességi méretének és a körszelet magassága, m pedig a kráter mélységének. Keményfémlapkás esztergakések kopásának vizsgálatakor készítették a szerzők a Linnik–Schmaltz kettős mikroszkóp látómezejéről az 5. ábrán látható felvételt. Az észlelt kráter szelvényterülete láthatóan majdnem ideális körszelet-terület.

A [7] munka jelölésrendszerét elfogadva, a krátterszelvény F_k területét célszerűen a következőképpen írhatjuk:

$$F_k = \left[\frac{F_k}{m^2} \right] m^2 = C' m^2, \quad (7)$$



5. ábra. A krátterszelvény alakulása C 60 minőségű acél A keményfémlapkás szerszámmal végzett forgácsolásakor
Technológiai adatok: $v = 140$ m/min, $f = 2$ mm, $e = 0,4$ mm/f; a forgácsolásban eltelt idő 21 perc.

ahonnan a kráter m mélysége kifejezhető:

$$m = C \sqrt{F_k}. \quad (8)$$

Ha C 60 minőségű, normalizált állapotú acélt A keményfémlapkás esztergakéssel forgácsolunk ($\alpha = 90^\circ$; élgeometria az MSZ 1257–61 szerint; III. élszögcsoport), úgy a C állandó átlagos értéke:

$$C \approx 0,52.$$

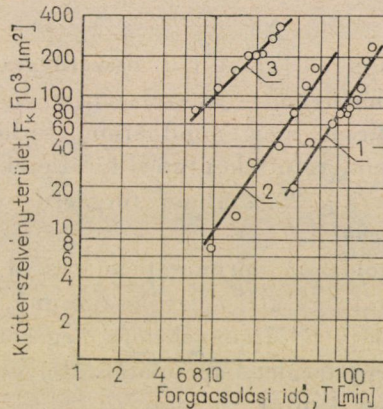
A 6. ábra a krátterszelvény-terület változását mutatja a forgácsolási idő függvényében, log—log diagramban, ahol a kísérleti úton felvett ($F_k - T$) érték-

* A [7] munka utalást ad erre, de nem bizonyít. A szerzők indokoltak látták, hogy saját kísérleteikkel ellenőrizték ezt a megállapítást, amely — amint az a 4. ábrán látható — helyesnek bizonyult.

párokhoz hozzárendelt pontok egyenessel jól kiegyenlíthetők, így interpolációt lehetővé tesznek. Egyben az is kitűnik a diagramból, hogy a vizsgált paramétertartományban a mérési pontokat kiegyenlítő egyenesek bizonyos extrapolációra is alkalmasak, így rövidített éltartamkísérletek is elegendők pl. a forgácsolási sebesség—éltartam ($v-T$) összefüggés meghatározásához egy viszonylag szűk forgácsolósebesség-tartományra.*

Ha az e, f, v paraméterek állandó értékűek, továbbá az egyéb megmunkálási körülmények (gép, szerszám, munkadarab stb.) sem változnak, úgy az $[F_k, T]$ kísérleti függvénykapcsolatot a 6. ábra szerint egy kísérletileg behatárolható tartományban viszonylag jól közelíthetjük meg az

$$F_k = C_{F_k} T^n, \tag{9}$$



6. ábra. A krátterszelvény-terület változása a forgácsolási idő függvényében, log—log diagramban (az adatok azonosak az 1. ábra adataival)

alakú függvénykapcsolattal, mely analitikailag már jól kezelhető.

Ha a konkrét kísérleti adatokat mindig log—log diagramban ábrázoljuk, az éppen érvényes C_{F_k} és n értékek könnyen meghatározhatók. Így pl. a 6. ábrán látható esetben az

$$\left. \begin{aligned} F_{k,1} &\approx 0,0564 \cdot T^{1,5} \\ F_{k,2} &\approx 0,316 \cdot T^{1,5} \\ F_{k,3} &\approx 5,16 \cdot T^{1,22} \end{aligned} \right\} \cdot 10^3 \text{ [}\mu\text{m}^2\text{]} \tag{10}$$

közelítő függvénykapcsolatokat írhatjuk fel. A 6. ábrából viszont az is kitűnik, hogy a három utolsó mérési pontot összekötve a berajzoltakhoz képest lényegesen meredekebb egyeneseket kapnánk, tehát a pontsor tendenciájában

* HORVÁTH MÁTYÁS az [5] tanulmányban analitikailag is igazolta azt a kísérleti úton már bizonyított tény, hogy az általánosan használatos kitévős $T-v$ összefüggések széles forgácsolósebesség-tartományban teljesen hibás eredményre vezetnek. Nevezett szerző javaslatot tesz egy új, a fajlagos kopásméréseken alapuló kísérleti-analitikai módszerre, amellyel igen jó közelítéssel írható le a keményfém-szerszámok viszonylag bonyolult $T-v$ görbéje tetszőlegesen széles forgácsolósebesség tartományban is.

emelkedés figyelhető meg, ami pedig a rohamos kopás szakaszának kezdetét jelenti. Ha a forgácsolást mindhárom görbe felvételekor tovább folytattuk volna (nem forgácsoltunk egyik esetben sem a *biztosan* felismerhető katasztrofális kopásig), log-log diagramban az F_k paraméter időbeni változását két eltérő meredekségű interpolációs egyenessel közelíthetnénk meg. A meredekebb szakasz sajátosságainak felderítéséhez a szerzők hosszú éltartamvizsgálatokat is végeztek, a katasztrofális kopás bekövetkeztéig. Bizonyítható, hogy az optimális szerszámfogyasztáshoz rendelhető éltartam éppen a két kopási tartomány találkozásának környezetébe esik.

A szerzők kísérletei azt igazolták, hogy a tárgyalt feltételek szerinti forgácsoláskor a térfogatos kopástörvény *nem érvényes*, ugyanis ehhez a (9) összefüggés kitevőjére

$$n \approx 1$$

értéket kellett volna kapnunk [7]. A (10) összefüggés azt mutatja, hogy ez már az első kopási tartományban — a szerszám kevésbé intenzív kopásának szakaszában — sem teljesül, mert mindhárom esetben $n > 1$. A *Szerszám és Gépelem Gyárakban* lefolytatott koptatási kísérletek teljesen hasonló eredményt hoztak a $140 \leq v \leq 220$ m/min forgácsolósebesség tartományban (KAZINCZY MIKLÓS kísérletei).

Visszatérve a megoldandó optimumfeladatra, a megengedhető kráter-szelvény-terület nagyságát úgy kell megválasztanunk, hogy a forgácsolásban eltöltött idő maximális legyen. Mindenekelőtt meg kell határozni a forgácsolási idő és a kráter-szelvény-terület kapcsolatát. Helyettesítsük be a (8) összefüggést (3)-ba, akkor azt kapjuk, hogy

$$\tau = T \frac{a}{C\sqrt{F_k} + b} = \tau [T; F_k(T)]. \quad (11)$$

A $\tau = \tau [T; F_k(T)]$ függvény lehetséges extrémumhelyeit a

$$\frac{d\tau}{dT} = \dot{\tau} = 0 \quad (12)$$

egyenlet adja. A kapott extrém érték akkor maximum, ha az egyenlet gyök-helyein a

$$\frac{d^2\tau}{dT^2} = \ddot{\tau} < 0 \quad (13)$$

feltétel teljesül. Az első deriváltat képezve T szerint:

$$\frac{d\tau}{dT} = \dot{\tau} = \frac{\partial\tau}{\partial T} \cdot \frac{dT}{dT} + \frac{\partial\tau}{\partial F_k} \cdot \frac{dF_k}{dT}. \quad (14)$$

A kijelölt differenciálási műveleteket elvégezve azt kapjuk, hogy

$$\dot{\tau} = \frac{a}{C\sqrt{F_k} + b} - \frac{T \cdot a}{(C\sqrt{F_k} + b)^2} \cdot \frac{C}{2\sqrt{F_k}} \cdot \frac{dF_k}{dT}. \quad (15)$$

A (15) differenciálhányadost zérussal egyenlővé téve, a kapott egyenletet rendezve, majd mindkét oldalát

$$\frac{a}{C\sqrt{F_k} + b} \neq 0$$

értékkel osztva, a következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{2\sqrt{F_k}(C\sqrt{F_k} + b)}{T \cdot C} = \frac{dF_k}{dT} = \dot{F}_k. \quad (16)$$

A (16) feltétel a kísérletileg felvett, konkrét $F_k = F_k(T)$ függvénynek csupán egyetlen

$$P_1(T_1; F_{k_1})$$

pontjában teljesül, az optimumpontban. Létezik azonban olyan görbesereg is, amelynek bármelyik tagját választva ki, annak minden pontjában igaz a (16) feltétel, vagyis utóbbi összefüggés a görbesereg *differenciálegyenlete*. Minthogy e görbesereg fogalmilag a kísérleti függvénytől független, célszerű megkülönböztetésül $F_k(T)$ helyett más betűt, pl. $\Phi = \Phi(T)$ -t használni. A $\Phi = \Phi(T)$ görbesereg differenciálegyenlete tehát:

$$\frac{2\sqrt{\Phi}(C\sqrt{\Phi} + b)}{T \cdot C} = \frac{d\Phi}{dT} = \dot{\Phi}. \quad (17)$$

A (17) differenciálegyenlet változói szétválaszthatók, így integrálással közvetlenül megoldhatjuk:

$$\int \frac{d\Phi}{\Phi + \frac{b}{C}\sqrt{\Phi}} = 2 \int \frac{dT}{T}. \quad (18)$$

A jobb oldal integrálja $2 \ln T + C_1$, a bal oldal integrálja pedig azonos átalakítással:

$$\int \frac{d\Phi}{\Phi + (b/C)\sqrt{\Phi}} = 2 \int \frac{1}{\sqrt{\Phi} + (b/C)} d\Phi = 2 \ln [\sqrt{\Phi} + (b/C)] + C_2. \quad (19)$$

Vonjuk össze a C_1 és C_2 konstansokat egy új, C_3 állandóba, akkor azt kapjuk, hogy

$$2 \ln T + C_3 = 2 \ln [\sqrt{\Phi} + b/C]. \quad (20)$$

Legyen $C_3 = 2 \ln C_4$, így a (20) egyenlőség helyett

$$\ln [C_4 T]^2 = \ln [\sqrt{\Phi} + b/C] \quad (21)$$

írható, ahonnan

$$(C_4 T)^2 = [\sqrt{\Phi} + b/C]^2 \quad (22)$$

Tehát a keresett $\Phi = \Phi(T)$ függvény-görbesereg egyenlete:

$$\Phi = [C_4 T - b/C]^2 \quad (23)$$

A (23) összefüggésben szereplő b/C hányados értéke kísérleti úton meghatározható, problémát okoz viszont a C_4 integrálási állandó, amelynek értékét egzakt úton nem tudjuk meghatározni. Találhatunk azonban olyan közelítő módszereket, amelyekkel a gyakorlat igényeit teljességgel kielégítő pontossággal megállapíthatjuk az optimumpont ($T_1; F_{k_1}$) koordinátáit. A következőkben ilyen módszereket mutatunk be.

1. Az empirikus $F_k = F_k(T)$ függvény megközelítése a várható optimumpont környezetében legalább másodfokú interpolációval

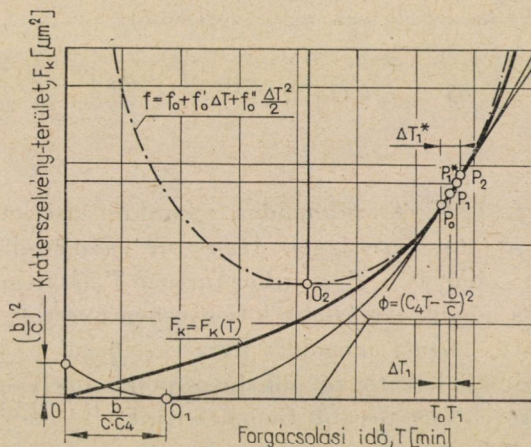
A módszer lényege: a kísérleti úton nyert $F_k = F_k(T)$ függvényt grafikus úton kiegyenlítjük valamilyen folytonos görbével, amely monoton jellegű. Elegendő számú mérési pont esetén ezt szemlélet útján is elvégezhetjük. A kapott görbe alulról domború szakaszának* meredekebbé váló részén, ugyancsak szemlélet alapján — első közelítésként — megbecsüljük az optimumpont helyét. A becsült feltétel szerint kijelölt P_1 pont környezetében célszerűen úgy veszünk fel a kísérleti görbén még két pontot, hogy azok P_1 -et közrefogják (P_0, P_2 ; lásd a 7. ábrát).

A P_0, P_1, P_2 pontokon átmenő, *interpoláló parabola* egyenletét a következő megfontolás alapján írhatjuk fel:

* Bizonyos paraméter-párosításoknál felvett $F_k = F_k(T)$ diagramoknak inflexiós pontjuk is lehet, tehát alulról homorú (konkáv) görbeszakasz is előfordul (lásd pl. a 8. ábrát).

Legyen az interpoláló függvénygörbe P_0 pontjában a függvényérték f_0 . A görbe tetszőleges P pontjához tartozó függvényérték:

$$f(T) = f(T_0) + f'(T_0) \cdot \frac{T - T_0}{1!} + f''(T_0) \frac{(T - T_0)^2}{2!} + \dots + f^{(n)}(T_0) \frac{(T - T_0)^n}{n!} \quad (24)$$



7. ábra. A szerszám újraélezhetősége szempontjából optimális éltartam meghatározása interpolációs parabola alkalmazásával a grafikusan kiegyenlített $F_k = F_k(T)$ függvény alapján (elvi ábra)

Ha megelégszünk másodrendű interpolációval, az interpolációs parabola egyenlete (24) alapján a következőképpen adódik:

$$f = f_0 + f'_0 \Delta T + f''_0 \frac{\Delta T^2}{2} \quad (25)$$

A (25) összefüggésben szereplő f_0, f'_0, f''_0 állandók értéke a három felvett $(F_k; T)$ összetartozó értékpár alapján meghatározható. Az $f = f(\Delta T)$ függvény ΔT szerinti első deriváltja:

$$f' = f'_0 + f''_0 \Delta T \quad (26)$$

Az optimális pont az interpolációs parabolának is pontja, tehát

$$f_1 = f_0 + f'_0 \Delta T_1 + f''_0 \frac{\Delta T_1^2}{2} \quad (27)$$

továbbá

$$f'_1 = f'_0 + f''_0 \Delta T_1 \quad (28)$$

A (16) összefüggésnek teljesülnie kell a P_1 pontban, ahol

$$f_1 = F_{k,1}; \quad f'_1 = F'_{k,1} \quad \text{és} \quad f''_1 = F''_{k,1}$$

igaz, tehát

$$\frac{2\sqrt{f_1}(C\sqrt{f_1} + b)}{T_1 \cdot C} = \left[\frac{df}{dT} \right]_{P_1} = f'_1. \quad (29)$$

A (27), (28) és (29) összefüggések egybevetéséből:

$$f'_0 + f''_0 \Delta T_1 = 2\sqrt{f_0} + f'_0 \Delta T_1 + f''_0 (\Delta T_1^2/2) \cdot \frac{[C\sqrt{f_0} + f'_0 \Delta T_1 + f''_0 (\Delta T_1^2/2) + b]}{C(T_0 + \Delta T_1)}. \quad (30)$$

Mínt hogy az f'_0, f''_0, C, T_0, b állandók a konkrét kísérleti eredményekből meghatározhatók, a (30) összefüggés ΔT_1 -re nézve másodfokú egyenlet és megoldható. ΔT_1 -et számítva, a P_0 ponthoz tartozó T_0 éltartamértékhez képest ΔT_1 értékkel eltolva adódik a második közelítésben nyert P_1^* ponthoz tartozó T_1^* éltartam. Látható, hogy a megoldás iteratív jellegű, az új $P_1 = P_1^*$ pont környezetében ismét kijelölhető két alkalmas pont, amelyekkel az optimális pont helyzetének közelítését tovább finomíthatjuk. Ha nagytömegű kísérleti ($F_k; T$) diagramot kell feldolgoznunk és lehetőség van elektronikus számítógép alkalmazására, a bemutatott módszer igen jól algoritmizálható a programozáshoz. A módszer hátránya a viszonylagos bonyolultság, de ugyanakkor nagy előnye, hogy általános approximatív megoldásnak tekinthető.

2. Közelítő módszer, amelynek használatára a kísérleti eredmények és megfigyelések adnak lehetőséget

Lényege a következő: Az egyenletes kopás szakaszának végén a szerszám kráteres kopása gyorsan növekedni kezd. A kopás technológiai-fizikai folyamatára ekkor már a szerszám forgácsolási tulajdonságainak romlása, a növekvő hőfejlődés, az alakításhoz szükséges deformációs munka megnövekedése a fokozódó diffúzió jellemző, amely a kráter intenzívebb növekedését és a kráterfenék érdességének romlását is eredményezi. Ezen a szakaszon a roncsolt réteg vastagságát nem célszerű többé állandónak tekinteni. Kísérleteink szerint nem túlságosan durva az a feltételezés, hogy a kráterfenék felületi érdessége e tartományban a mélység növekedésével közel arányosan romlik. Kísérleteink tapasztalatai szerint a kráterfenék maximális érdessége és a krátermélység között a következő empirikus kapcsolat áll fenn:

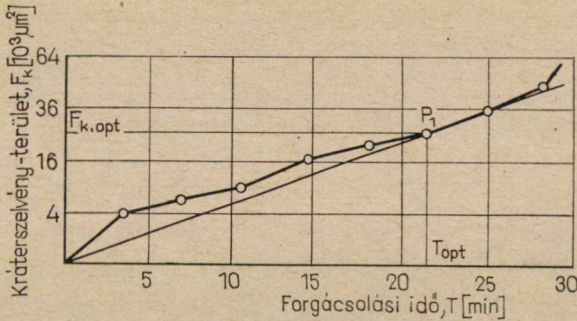
$$R_{\max} \approx 0,1 m. \quad (31)$$

A szerszám össz-élettartamára így a

$$\tau = T \frac{a}{k \cdot \sqrt{F_k}} \tag{32}$$

összefüggést nyerjük. A $\tau = \text{maximum}$ feltételből a következő egyenlőség adódik:

$$\frac{dF_k}{dT} = 2 \frac{F_k}{T}, \tag{33}$$



8. ábra. Az újraélezhetőség szempontjából optimális szerszámélettartam és krátterszelvény-terület meghatározása grafikus úton a kísérleti ($T; F_k$) görbe alapján, négyzetes skálabeosztású F_k tengely felhasználásával C 60 acél A keményfémlepkás szerszámmal végzett forgácsolásakor
 Technológiai adatok: $v = 140$ m/min, $f = 2$ mm, $e = 0,316$ mm/fordulat; szerszám-élgeometria: $\kappa = 90^\circ$; élszögek az MSZ 1257-61 III. élszögcsoport szerinti

ez pedig lényegesen egyszerűbb és szemléletesebb feltétel, mint a (16). Ugyanis a (33) összefüggés azt fejezi ki, hogy a kísérleti görbe optimális P_1 pontjában az érintő iránytangense kétszer akkora, mint a P_1 pontból az origón át húzott félegyenes és a T tengely által bezárt szög tangense. Ha a (33) feltételt differenciálegyenletként tekintjük, a megoldás a

$$\Phi = K \cdot T^2 \tag{34}$$

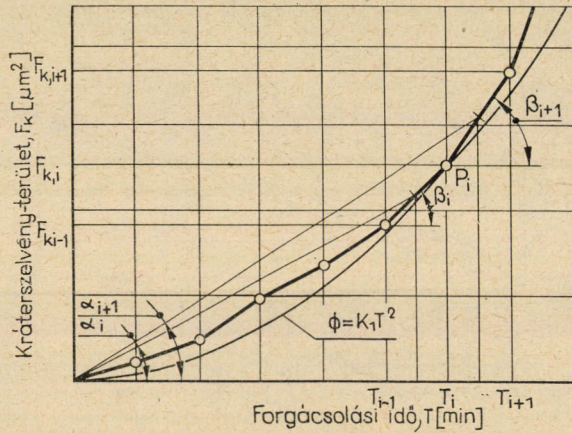
egyenletű parabolareg, amelyre értelemszerűen a (23) összefüggéssel kapcsolatos megjegyzések érvényesek.

Ha a $\{T; F_k\}$ koordinátarendszer F_k tengelyének léptékét célszerűen négyzetesre választjuk, a $\Phi = KT^2$ alakú parabola e rendszerben egyenessé fajul. Így az optimális P_1 pontot igen jó közelítéssel úgy kapjuk, hogy a négyzetes F_k léptékben ábrázolt kísérleti függvényhez a koordinátarendszer kezdő-pontjából érintőt húzunk (8. ábra).

Ha nagytömegű kísérleti $[T; F_k]$ diagramot kell feldolgoznunk (pl. az optimális élettartam-irányérték és a megengedett krátterszelvény-terület meghatározása a célunk különböző technológiai paraméter-csoportok esetére),

továbbá elektronikus számítógép használatára lehetőség van, előnyösen alkalmazható az optimumpont meghatározására a *sukcesszív approximáció* módszere. Ilyenkor az egyenletes kopási tartomány tetszés szerinti pontjából (a görbe kevésbé meredek szakasza) kiindulva bármely két szomszédos pontot összekötő szakasz felezőpontjához az origóból húzott félegyenes és a T tengely által bezárt szög tangense a következőképpen számítható (9. ábra):

$$\tan \alpha_i = \frac{F_{k,i} + F_{k,i-1}}{T_i + T_{i-1}} \quad (35)$$



9. ábra. Az újraélezhetőség szempontjából optimális szerszáméltartam és kráterszelvény-terület meghatározása fokozatos megközelítéssel a kísérleti (T ; F_k) görbe alapján (értelmező ábra)

A megfelelő szakaszok meghosszabbítása és a T tengely által bezárt szögek tangense:

$$\tan \beta_i = \frac{F_{k,i} - F_{k,i-1}}{T_i - T_{i-1}} \quad (36)$$

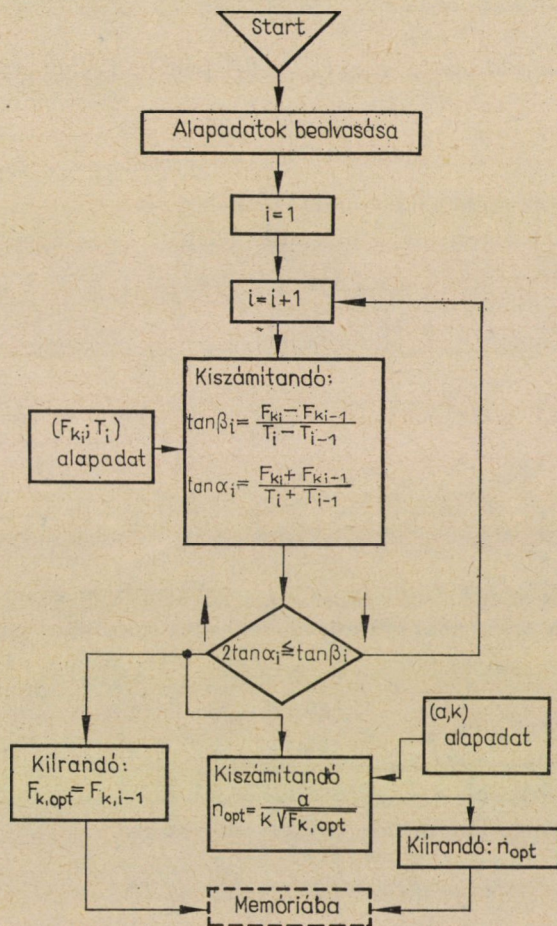
A tetszőleges, de választás után rögzített pontból kiindulva (ez az origó is lehet) rendre meghatározzuk a $\tan \alpha_i$ és a $\tan \beta_i$ értékeket. Jó közelítéssel az a pont tekinthető optimumnak, amely után a következő pontra már

$$2 \tan \alpha_i < \tan \beta_i \quad (37)$$

feltétel érvényes. A megoldás annál pontosabb, minél több diszkrét pontból áll a kopásgörbe.

A 10. ábrán az algoritmus elektronikus számítógépre készített változata (blokk-sémája) látható. Az optimális pont közelítése *ciklikus algoritmus* segítségével történik: a vizsgált pont léptetési indexe i , amely mindaddig növekszik 1-gyel, amíg a (37) logikai feltétel nem teljesül.

Az előzőkben hallgatólagosan feltételeztük, hogy a kapott extrémumok valóban maximumok mind a $b =$ állandó, mind pedig a $b \approx 0,2 m$ esetben. Feltételezésünk helyességét itt az utóbbi esetre igazoljuk:



10. ábra. Az optimális újraélezési szám meghatározásának elektronikus számítógépre készített egyszerűsített blokkdiagramja

Ha a roncsolt réteg vastagsága a krátermélységgel arányos, a forgácsolásban töltött összidő:

$$\tau = k \cdot T \cdot F_k^{-1/2}. \tag{38}$$

Képezzük az első és a második deriváltat T szerint:

$$\dot{\tau} = k \cdot F_k^{-1/2} - \frac{1}{2} T \cdot F_k^{-3/2} \cdot F_k; \tag{39}$$

és

$$\ddot{\tau} = -\frac{1}{2} k \cdot F_k^{-3/2} \left[2\dot{F}_k - \frac{3}{2} \dot{T} F_k^{-1} \cdot \dot{F}_k^2 + T \cdot \ddot{F}_k \right]. \quad (40)$$

Az extrémum abban a $P_1 [F_{k,1}; T_1]$ pontban van, amelyre teljesül a

$$T_1 = 2F_{k,1} \cdot \dot{F}_{k,1}^{-1} \quad (41)$$

feltétel, amely lényegében (33)-mal azonos.

Ha ezt behelyettesítjük a második derivált összefüggésbe, (40)-be, úgy a következőt kapjuk:

$$\ddot{\tau}_{(P_1)} = -k \cdot F_{k,1}^{-3/2} \cdot \dot{F}_{k,1} \left[\frac{F_{k,1} \cdot \ddot{F}_{k,1}}{\dot{F}_{k,1}^2} - \frac{1}{2} \right]. \quad (42)$$

A második derivált a P_1 pontban tehát akkor lehet negatív, ha

$$2 \frac{F_{k,1} \cdot \ddot{F}_{k,1}}{\dot{F}_{k,1}^2} > 1 \quad (43)$$

teljesül. Azonnal belátható, hogy (43) pl. bármilyen 2-nél magasabb fokszámú, az origón átmenő parabolára teljesül. Igazolható, hogy másodfokú interpolációs parabola esetén is igaz, ha az interpolációs parabola

$$f = f_0 + f_0' \Delta T + f_0'' (\Delta T^2/2)$$

alakú, amelyet a kísérleti $F_k = F_k(T)$ görbe közelítésére felhasználtunk. A kritériumra közvetlenül számszerű értéket kapunk, ha az interpolációs parabola T_1 helyen vett deriváltjait helyettesítjük:

$$2 \frac{[f_0 + f_0' \Delta T_1 + f_0'' (\Delta T_1^2/2)] \cdot f_0''}{(f_0' + f_0'' \Delta T_1)^2} > 1. \quad (44)$$

Ezzel a τ függvény maximumának létezéséhez szükséges és elégséges feltételeket egyaránt kielégítettnek tekintjük. Végül az optimális újraélezési számot határozzuk meg. Ha a roncsolt felületi réteget a szerszámon F_k -val arányosnak vesszük:

$$n_{\text{opt.}} = \frac{a}{k \cdot \sqrt{F_{k,\text{opt.}}}}; \quad (45)$$

illetve ha állandó b nagyságúnak:

$$n_{\text{opt.}} = \frac{a}{C \sqrt{F_{k,\text{opt.}} + b}}. \quad (46)$$

III. A módszer gyakorlati alkalmazása, értékelés

A II. fejezetben megfogalmazott optimumfeladat itt tárgyalt megoldása a gyakorlat számára kielégítő pontosságú és viszonylag egyszerűen kezelhető módszert ad a technológus kezébe a szerszámfelhasználás optimalizálására. A módszernek minden olyan forgácsolási esetben van létjogosultsága, amely a kráteres kopás tartományába esik és a KALÁSZI ISTVÁN által bevezetett F_k paraméter segítségével kézbentartható. A kráterszelvény F_k területének, mint a szerszámkopás új vizsgálati paraméterének használata már önmagában jelent előnyt az egyéb kopásvizsgálati módszerekhez képest, mert rövidített éltartamvizsgálatokat tesz lehetővé, amely csekély anyagfelhasználást igényel, továbbá a mérést nem befolyásolja az átmérő méretének változása [7].

A bemutatott optimalizálási módszer nem használható olyan esetekben, amikor az F_k kráterszelvény-terület a kopás vizsgálatára alkalmatlan paraméter, tehát kis sebességeknél, vagy olyan anyagoknál, ahol a kráterképződés kicsiny és bizonytalan, esetleg egyáltalán nem is észlelhető. Tapasztalataink szerint a keményfém szerszámok kopására C 60 minőségű acél esztergálósakor a

$$60 \leq v \leq 140 \text{ [m/min]}$$

forgácsolósebesség-tartományban a kráteres kopás igen jellemző kopásforma, így gyakorlatilag a keményfém szerszámok általánosan használt üzemi sebességtartományában a bemutatott optimalizálási módszernek van létjogosultsága. Megfelelő számú szerszámokoptatási kísérlet elvégzésével a szerszám éltartam-irányértékét ugyanis úgy határozhatjuk meg, hogy a szerszám teljes elhasználódásáig teljesíthető forgácsolási idő maximális legyen, ez pedig számottevő szerszámköltség-megtakarítást jelenthet.

IRODALOM

1. BAKONDI—KARDOS: A gépgyártás technológiája; I. Forgácsolás. Tankönyvkiadó, Budapest 1963.
2. BALI JÁNOS: Keményfémlapkás esztergakések kopásának néhány kérdése. *Gép* (1966). 1.
3. BÁLINT LAJOS: A forgácsoló megmunkálás tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967.
4. FAZAKAS—HORNYIK: A forgácsolás elmélete. Tankönyvkiadó, Budapest 1965.
5. HORVÁTH MÁTYÁS: Módszer egyélű forgácsolószerszámok éltartamának számítására. *Gépgyártástechnológia* (1967), 12.
6. KALÁSZI ISTVÁN: Hűtő-kenő folyadékok alkalmazása a forgácsolásnál különös tekintettel az újabb hazai és külföldi tapasztalatokra. Mérnöki Továbbképző Intézet 4110, Budapest 1962; 22—26.
7. KALÁSZI ISTVÁN: Szerszámkopások vizsgálatának rövidített módszere. *Gép* (1966), 1.
8. KGM-Forgácsolási Országos Normaalapok, esztergapadi munkák. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Budapest 1952.
9. Костецкий, Б. И.: Сопротивление и изнашивание деталей машин. Машгиз, Москва 1959.
10. ROTHE, R.: Matematika gépészmérnökök számára. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1960.
11. SZABÓ ANDRÁS: A forgácsoló szerszámok minősége. *Gépgyártástechnológia* (1967), 12.

12. SZELEZSAN JÁNOS: Elektronikus számológépek programozása. MTA Számítástechnikai Központja, Budapest 1963.
13. TÓTH—VADÁSZ: Komplex forgácsolási kísérlet forgácsolástechnológiai programok adatainak kiegészítésére I. GTI tanulmány, Budapest 1967.
14. VIEREGGE: Zerspanung der Eisenwerkstoffe. Stahleisen Verlag, Düsseldorf 1959.

Bestimmung der optimalen Anzahl des Neuschleifens mittels einer experimentell-analytischen Methode unter Voraussetzung eines kraterartigen Werkzeugverschleißes. Verfasser schlagen ein experimentell-analytisches Verfahren auf Grund eines richtigen Werkzeug-Verbrauches zur Bestimmung der optimalen Anzahl des Neuschleifens unter Voraussetzung eines kraterartigen Verschleißes vor. Auf Grund der Versuchsergebnisse und der neuesten literarischen Daten wird gezeigt, auf welche Weise der zulässige Kraterquerschnitt für ein gegebenes Werkzeug bei bestimmten technologischen Parametern unter Voraussetzung eines vollständigen Werkzeugverbrauches und bei Annahme einer maximalen Zerspanungszeit berechnet werden kann. Der technologisch-physikalische Zusammenhang der Lösung wird ausführlich untersucht, und es wird darauf hingewiesen daß die vorgeschlagene Rechenmethode einen Algorithmus ergibt, der mittels elektronischer Rechenmaschinen richtig behandelt werden kann.

Determination of the Optimum Re-Sharpener Number by an Experimental Analysis method at the condition of a crater type tool wear. An experimental analysis method is suggested by the authors in order to find the optimum re-sharpening number as regards tool consumption, under the condition of a crater type tool-wear. Based on their own experiences and on the newest data to be found in literary sources, the method shows how the allowable crater area can be calculated for a given toll and predetermined technological data under the condition of a maximum machining time when the total tool wear is assumed. The technological physical relationship is investigated thoroughly; it is demonstrated that the found algorithm is quite suitable for computer purposes.