

De economie van de slijpbewerking

Dr. ir. A. Decneut

Lemmens-Elektronika, Leuven (Haasrode)

In een vroegere bijdrage (Maatregelen ter verbetering van de oppervlakte-integriteit bij het slijpen; Jrg. 42 no. 25, blz. 552-564) werd er terloops op gewezen dat bij een oordeelkundige keus van de slijpvoorwaarden de slijpkosten gemakkelijk met 30%, in extreme gevallen zelfs met niet minder dan 80% kunnen worden verminderd.

In deze bijdrage wordt aangetoond waarop deze conclusies gesteund zijn. Een methode wordt voorgesteld die toelaat op praktische wijze het meest economisch verspaningsdebiet te bepalen evenals de overeenkomstige minimum slijpkosten. De methode werd ontwikkeld in nauwe samenwerking tussen universiteit (Werktuigkundig Instituut van de Katholieke Universiteit te Leuven, onder leiding van prof. Peters en prof. Snoeys), het onderzoekscentrum C.R.I.F. (afdeling slijpen van het opzoekingscentrum voor de metaalverwerkende industrie) en diverse slijpateliers in Europa. De voorgestelde methode is zowel geldig voor het vlaklijpen als voor de cilindrisch insteek- of langsslijpen. Ze kan worden toegepast voor klassieke slijpmiddelen evenals voor diamant en borazon.

Basisuitdrukking voor de slijpkosten

De slijpkosten per eenheid verspaand materiaal $\frac{K}{V}$ wordt gegeven door de volgende uitdrukking die geldig is voor elk willekeurig coherent eenhedenstelsel [1]:

$$\frac{K}{V} = \frac{A}{Z} + \frac{B}{G} + \frac{C}{\Delta V}$$

De noemers in het tweede lid zijn veranderlijke grootheden die rechtstreeks afhangen van de gekozen slijpvoorwaarden; het zijn:

Z : het verspaningsdebiet of het volume geslepen materiaal per tijdseenheid

G : de slijpverhouding of het volume geslepen materiaal per volume-eenheid slijtage van de slijpschijf

ΔV : het standvolume of het volume geslepen materiaal tussen twee afritsbewerkingen van de slijpschijf

In tegenstelling tot de noemers zijn de tellers in het tweede lid van de kostprijsvergelijking constanten, respectievelijk bepaald door de gekozen machine en bedieningsman (A), de gekozen slijpschijf (B) en de gekozen afritsbewerking (C).

Worden Z en ΔV respectievelijk in mm^3/s en mm^3 uitgedrukt, en $\frac{K}{V}$ in F^* (of f^{**}), dan zijn A, B en C respectievelijk gelijk aan:

$$A = \frac{L}{3600} + \frac{C_M}{3600} + \frac{K_e}{3600} F \text{ (of } f) \quad (2)$$

*F = Belgische franc

**f = Nederlandse gulden.

L: uurloon

C_M : machineuurkosten-index, hetzij de som van de jaaronkosten en de afschrijvingen gedeeld door het aantal werkuren per jaar

K_e : gemiddelde energiekosten per uur, eventueel te vermeerderen met de kosten per uur voor de koelvloeistof

$$B = \frac{K_a - K_v}{V_n} + \frac{A \cdot t_v}{V_n} F / \text{mm}^3 \text{ (of } f / \text{mm}^3) \quad (3)$$

$K_a - K_v$: het verschil in aan- en verkoopprijs tussen een nieuwe en een gebruikte slijpschijf (K_v kan belangrijk zijn in het geval van diamant- of borazonschijven)

t_v : tijd nodig om een slijpschijf te vervangen op de machine (demontage, montage, uitbalanceren)

V_n : nuttig volume van de slijpschijf (mm^3)

De eerste term in vgl. (3) is in veel gevallen veel belangrijker dan de tweede term zodat B dan hoofdzakelijk afhangt van de prijs van het abrasief materiaal. Deze varieert van $0,3 \times 10^{-3} F / \text{mm}^3$ (of $0,02 \times 10^{-3} f / \text{mm}^3$) voor keramisch gebonden schijven tot $1,2 \times 10^{-3} F / \text{mm}^3$ (of $0,08 \times 10^{-3} f / \text{mm}^3$) voor polyurethaan gebonden schijven en ongeveer $1,5 F / \text{mm}^3$ (of $0,1 f / \text{mm}^3$) voor borazon of diamant (afhankelijk van de concentratie).

$$C = \frac{D_a - D_v}{n_d} + A \cdot t_d + B \cdot V_d F \text{ (of } f) \quad (4)$$

$D_a - D_v$: het verschil in aan- en verkoopprijs van het afrits gereedschap

n_d : het aantal afritsbewerkingen dat kan worden uitgevoerd met het gereedschap

t_d : totale afritstijd (met inbegrip van de dode tijden)

V_d : het volume afgeritst slijpschijfmateriaal (dit is in veel gevallen groter dan het nuttig gebruikt volume tijdens de eigenlijke slijpbewerking).

In de praktijk is C van de orde grootte van 5 tot 50F (0,3 tot 3f). Zoals we verder zullen zien wordt zijn juiste waarde in een concreet geval samen met die voor de term A op het slijpdiagram vermeld.

Het slijpdiagram

Om de meest economische slijpvoorwaarden te bepalen moet de invloed van een verandering van het verspaningsdebiet (Z) op de slijpverhouding (G) en het standvolume (ΔV) gekend zijn. Hiertoe doen we beroep op het *slijpdiagram*.

Het slijpdiagram geeft op een overzichtelijke manier het verloop van alle belangrijke procesafhankelijke grootheden zoals ruwheid (R_a), normaaf- en tangentiaalslijpkracht (F_n

en F_t), evenals de slijpverhouding (G) en het standvolume (ΔV) in functie van de equivalente *verspaningsdikte* (h_{eq}). Er werd vroeger reeds op het belang van deze laatstgenoemde parameter gewezen bij het grafisch voorstellen van slijpresultaten. Door de traditionele veranderlijken, zoals de snijdiepte (a), de insteeksnelheid (v_f) of het verspaningsdebiet (Z) als onafhankelijk veranderlijke te vervangen door h_{eq} worden de diagrammen veel eenvoudiger en tevens meer algemeen bruikbaar [2, 3]. Uit figuur 1 blijkt dat h_{eq} kan worden voorgesteld als *de dikte van de continue materiaallaag, die uit de contactzone wordt afgevoerd met een snelheid gelijk aan de omtreksnelheid van de slijpschijf (v_s)*. Zowel voor het vlak- als voor het cilindrisch insteekslijpen geldt:

$$h_{eq} = \frac{Z'}{v_s} \quad (5)$$

Vgl. (5) is geldig voor elk willekeurig coherent eenhedenstelsel, evenals voor de navolgende gebruikelijke eenheden:

- h_{eq} in μm
- Z' in mm^3/mms (verspaningsdebiet per millimeter slijpbreedte)
- v_s in m/s

Het concept van het slijpdiagram wordt verduidelijkt aan de hand van figuur 2.

Bovenaan het slijpdiagram wordt vermeld:

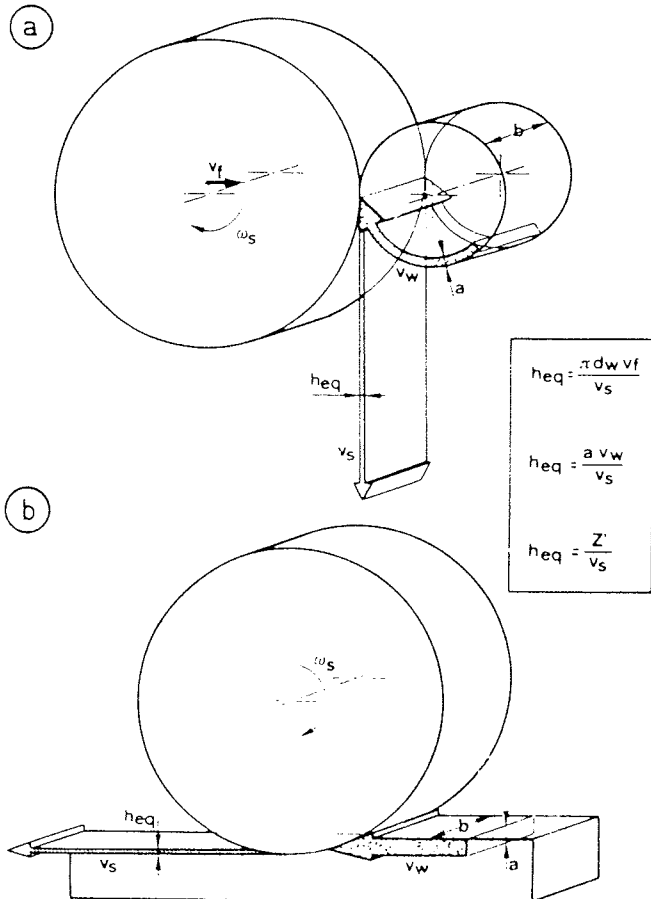


Fig. 1. Aanschouwelijke voorstelling van de equivalente verspaningsdikte (h_{eq}) in het geval van: a. het cilindrisch insteekslijpen; b. het vlaklijpen.

| MATERIAAL | | HRC: | SLIJPSCHIJF | E: kN/mm^2 |
|-------------|------------------------------------|------|------------------|---------------------|
| d_s (mm): | v_s (m/s): | | koelvloeistof | afritsgereedsch. |
| d_w (mm): | q (v_s/v_w): | | Q_f (l/min.mm) | s_d |
| d_e (mm): | V_w (mm^3/mm): | | p_f (atm): | a_d |
| b (mm): | k_m ($\text{N}/\mu\text{m}$): | | A (BF/s): | C (BF): |

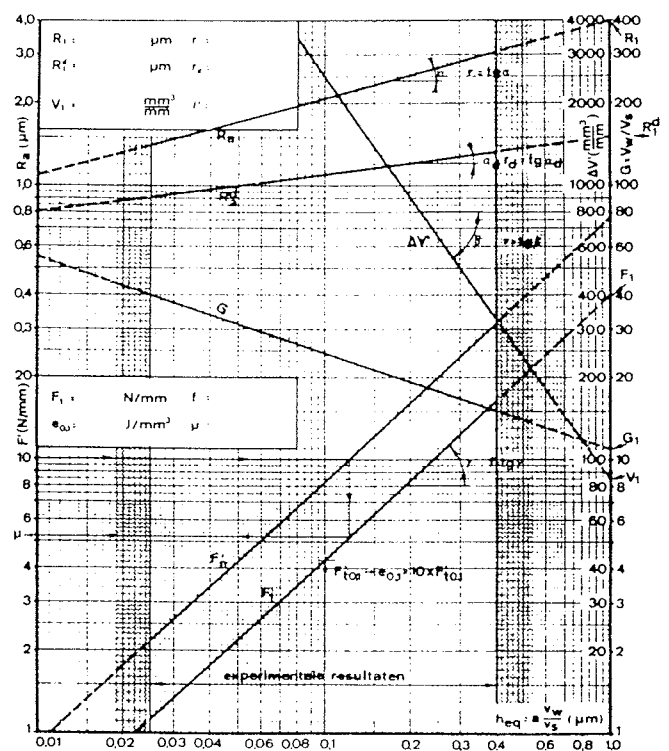


Fig. 2. Het slijpdiagram geeft een systematisch overzicht van de belangrijkste procesafhankelijke grootheden in functie van de equivalente verspaningsdikte.

- a. het werkstukmateriaal met de benaderde scheikundige samenstelling en de hardheid.
- b. de karakteristieken van de slijpschijf, zoals deze door de fabrikant worden opgegeven, evenals de elasticiteitsmodulus van de slijpschijf (E).

Verder worden vermeld:

- c. de geometrische gegevens: slijpschijf, werkstuk en equivalente diameter (d_s , d_w en d_e) (1e kolom); de equivalente diameter is een maat voor de contactlengte tussen slijpschijf en werkstuk en wordt gegeven door:

$$d_e = \frac{d_w \cdot d_s}{d_w \pm d_s}, \text{ waarbij het + teken geldt voor uitwendig}$$

slijpen en het - teken voor inwendig slijpen.

- d. de geteste slijpschijfsnelheden (v_s) en snelheidsverhoudingen ($q = \frac{v_s}{v_w}$), evenals het geslepen volume materiaal per millimeter slijpbreedte (V_w) waarop de meetresultaten betrekking hebben (2e kolom)
- e. de koelvoorwaarden: soort vloeistof en concentratie, specifiek debiet (Q_f) en koelvloeistofdruk (p_f) (3e kolom)

- f. de afritsvoorwaarden: gereedschap en werkvoorwaarden, zoals b.v. de aanzet per omwenteling van de schijf (s_d), de afritsdiepte (a_d) en het aantal passages (4e kolom)
- g. de onderste lijn geeft: de slijpbreedte (b) en de relatieve statische stijfheid tussen werkstuk en slijpschijf. A en C zijn twee termen uit de kosprijsvergelijking die eerder ter sprake kwam.

| | | | |
|-----------------------------|---|------------------------------|----------------------------|
| 4615 (0.15C-18Ni-0.25Mo) | | 6A541L5VA2 | E: 63.9 kN/mm ² |
| d _s (mm): 760 | v _s (m/s): 30 - 60 | SBC 3% | |
| d _w (mm): 83-100 | q (v _s /v _w): 60 | Q _f (l/min.mm): 2 | s _d (mm/t): 0.2 |
| d _e (mm): 80 | V _w (mm ³ /mm): 300 | p _f (atm): 2 | a _d (μm): 50 3x |
| b (mm): 30 | k _m (N/μm): 49 | A (BF/s): 0.093 | C (BF): 365 |

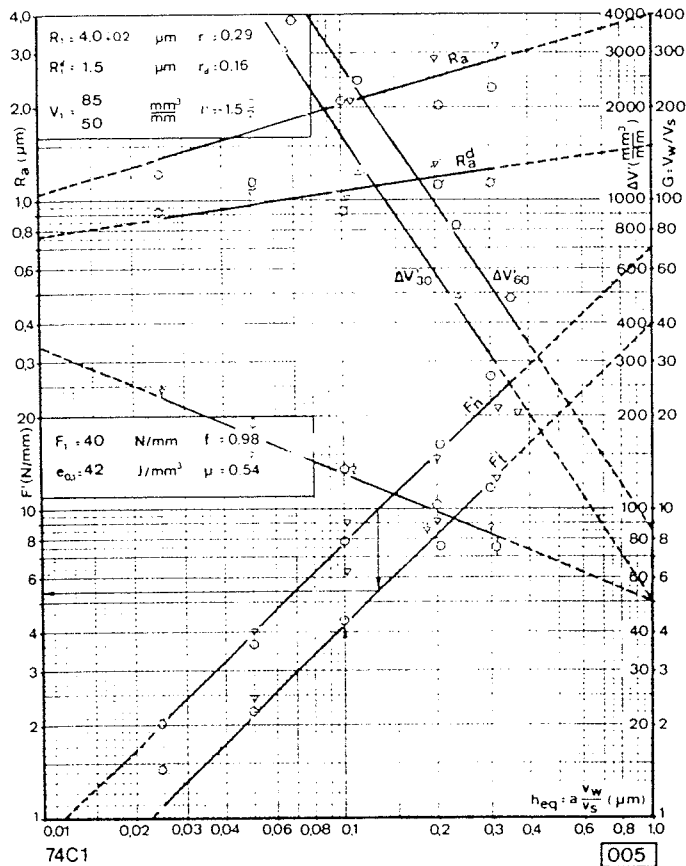


Fig. 3. Slijpdiagram voor het slijpen van gietstaal (4615) met een keramische slijpschijf.

De grafiek geeft horizontaal de equivalente verspaningsdikte, terwijl verticaal links op de figuur de schalen staan voor de ruwheid (bovenaan) en de slijpkracht (onderaan). De resultaten van het internationaal CIRP-slijponderzoek hebben aangetoond, dat de ruwheid en slijpkracht praktisch onafhankelijk zijn van de gebruikte slijpmachine. Omgekeerd is gebleken, dat de slijpverhouding (G) wel sterk kan worden beïnvloed door de gebruikte slijpmachine [4]. De overeenkomstige schaal wordt aan de rechterkant van de grafiek gegeven, samen met die voor het standvolume per millimeter slijpbreedte (ΔV'). De lijnen, die het verloop van de verschillende procesafhankelijke grootheden weergeven, worden dik getekend in het gebied, waar ze experimenteel werden bepaald. Niet alleen vallen ze hierdoor beter op t.o.v. de vele lijnen op de achtergrond, doch hiermede wordt tevens de aandacht gevestigd op het feit, dat de reproduceernauwkeurigheid bij het slijpen geen nauwkeuriger weergave toelaat. Door het onderzoekscentrum CRIF te Leuven werden zo een veertigtal slijpdiagrammen opgesteld voor uiteenlopende combinaties van werkstukmaterialen en slijpschijven en voor diverse koel- en afritsvoorwaarden. Figuur 3 geeft zo een voorbeeld van een slijpdiagram, opgesteld voor het slijpen van gietstaal (4615).

Relatief belang van de drie termen in de slijpkostenvergelijking

Met behulp van de gegevens van figuur 3 berekenen we het verloop van de drie termen van de slijpkosten (vgl. 1) in functie van het verspaningsdebiet. Elk der termen, evenals de som der drie termen (K/V) is grafisch voorgesteld in figuur 4. Hieruit blijkt dat het aandeel van de term $\frac{B}{G}$ in de totale kosten verwaarloosbaar klein is, namelijk minder dan 3%.

Dit percentage kan veel groter zijn in volgende twee gevallen:

- Bij zeer dure slijpschijven, zoals diamant of borazon, waarvoor de term B ongeveer 4000 maal groter is dan in het eerder beschouwde geval. Daar de overeenkomstige toename van G (noemer van de 2e term) in het gunstigste geval ongeveer een factor 100 bedraagt, neemt de verhouding $\frac{B}{G}$ dan nog met een factor 40 toe. Het relatief aandeel van de 2e term neemt in het geval van diamant- of borazonschijven nog om een tweede reden toe: dergelijke schijven kunnen alleen met succes worden gebruikt als het standvolume ΔV zeer groot is (meer dan 100 maal dat van keramisch of bakelietgebonden schijven). Dit betekent, dat in die gevallen de 3e term in de kostprijsvergelijking ($\frac{C}{\Delta V}$) mag worden verwaarloosd; mocht dit niet het geval zijn, dan zou ook het voordeel van dergelijke dure schijven in het gedrang komen.
- Bij zelfscherpemde schijven, die zoals in het geval van sommige centerloze slijpbewerkingen en bij het afbramen van gietijzer of bij het zogenaamd doorslijpen, volledig opgebruikt worden zonder afritsen. Hierbij is de 3e term in de kostenvergelijking ($\frac{C}{\Delta V}$) verwaarloosbaar klein, zodat die kan worden weggelaten.

Naargelang het geval kan dus de algemene kostenvergelijking (1) vereenvoudigd worden tot:

$$\frac{K}{V} = \frac{A}{Z} + \frac{C}{\Delta V} \quad \text{goedkope abrasieven en niet-zelfscherpemde schijven} \quad (6)$$

$$\frac{K}{V} = \frac{A}{Z} + \frac{B}{G} \quad \text{diamant- of borazonschijven of zelfscherpemde schijven} \quad (7)$$

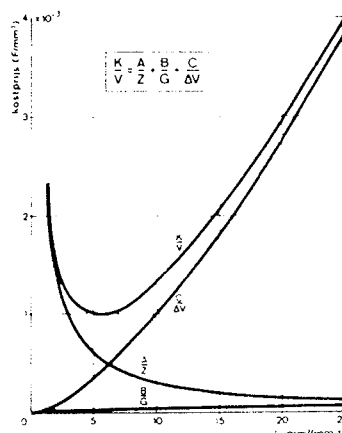


Fig. 4. Verloop van de slijpkosten in functie van het verspaningsdebiet Z' met

- $\frac{A}{Z}$ = loon- en machinekosten
- $\frac{B}{G}$ = slijpschijfkosten
- $\frac{C}{\Delta V}$ = afritskosten
- $\frac{K}{V}$ = totale slijpkosten

Deze laatstgenoemde uitdrukking wordt onder meer door onderzoekers in de diamantindustrie veelvuldig toegepast zoals blijkt uit ref. [5].

Het economisch verspaningsdebiet (Z_e)

Met het oog op het bepalen van het economisch verspaningsdebiet maken we onderscheid tussen een standvolume, dat stijgt of daalt in functie van het verspaningsdebiet:

a. Het standvolume (of de slijpverhouding) neemt toe met groter wordend debiet of blijft eventueel constant.

In beide gevallen nemen de totale slijpkosten af naarmate het verspaningsdebiet groter wordt. Het meest economisch debiet is in die gevallen het grootst mogelijk realiseerbaar debiet (vermogen, kwaliteit). Is Z' voldoende groot, dan wordt in de praktijk vastgesteld, dat het standvolume bij nog verder toenemend verspaningsdebiet gaat dalen. Dit is het tweede geval:

b. Het standvolume (of de slijpverhouding) daalt naarmate het debiet groter wordt. In dit geval daalt de 1e term in de kostprijvergelijking ($\frac{A}{Z}$) naarmate Z groter wordt, terwijl de 2e term ($\frac{C}{\Delta V}$ of $\frac{B}{G}$) toeneemt. Dit betekent, dat er een optimum debiet bestaat, waarvoor de slijpkosten minimaal worden.

Om het optimum verspaningsdebiet te bepalen, drukken we eerst $\Delta V'$ en G uit in functie van Z' . Hierbij gaan we uit van de volgende twee vergelijkingen:

$$\Delta V' = V_1 (h_{eq})^\nu \quad (8)$$

$$G = G_1 (h_{eq})^g \quad (9)$$

waarbij V_1 en G_1 de referentiewaarden zijn ($h_{eq} = 1 \mu\text{m}$) resp. voor het standvolume en de slijpverhouding en ν en g de overeenkomstige gevoeligheids exponenten (zie figuur 2).

Substitutie van $h_{eq} = \frac{Z' \text{ (mm}^3/\text{mms)}}{v_s \text{ (m/s)}}$ in vgl. (8) en (9) geeft:

$$\Delta V' = V_1 \left(\frac{Z'}{v_s}\right)^\nu \quad (10)$$

en

$$G = G_1 \left(\frac{Z'}{v_s}\right)^g \quad (11)$$

Voor de slijpkosten uitgedrukt in F (of f) per kubieke millimeter en per millimeter slijpbreedte volgt tenslotte:

$$\frac{K}{V'} = \frac{A}{Z'} + \frac{C}{V_1} \left(\frac{v_s}{Z'}\right)^\nu \quad (12)$$

$$\frac{K}{V'} = \frac{A}{Z'} + \frac{B}{G_1 \cdot b} \left(\frac{v_s}{Z'}\right)^g \quad (13)$$

Voor het bepalen van Z_e^1 stellen we de afgeleide van $\frac{K}{V'}$ naar Z' gelijk aan nul; voor de afgeleide vinden we:

$$\frac{d(K/V')}{dZ'} = -\frac{A}{Z'^2} - \frac{C}{V_1} \frac{v_s^\nu}{(Z')^{1+\nu}} \quad (14)$$

Gelijkstellen aan nul geeft tenslotte:

$$Z'_e = \left[-\frac{V_1}{v} \frac{A}{C} v_s^{-\nu} \right]^{1/(1-\nu)} \quad \begin{matrix} \text{(goedkope, niet} \\ \text{zelfscherpende} \\ \text{schijven)} \end{matrix} \quad (15)$$

en analoog voor vgl. (13):

$$Z'_e = \left[-\frac{G_1}{g} \frac{A}{B \cdot b} v_s^{-g} \right]^{1/(1-g)} \quad \begin{matrix} \text{(zeer dure of zelf-} \\ \text{scherpende schijven)} \end{matrix} \quad (16)$$

Vgl. (16) is van dezelfde vorm als vgl. (15) en kan hier rechtstreeks uit afgeleid worden door de parameters V_1 en v te vervangen door de overeenkomstige waarden G_1 en g voor de slijpverhouding, terwijl C vervangen wordt door $B \cdot b$.

Voor het overige verloopt de optimalisatie in beide gevallen op dezelfde wijze. We beschouwen daarom verder alleen het eerste geval.

Met behulp van vgl. (10) en (11) vinden we voor $Z' = Z'_e$ het overeenkomstig standvolume:

$$\Delta V' = V_1^{1/(1-\nu)} \left(\frac{A}{vC}\right)^{\nu/(1-\nu)} v_s^{-\nu/(1-\nu)} \quad (17)$$

De tijdverhouding $\Delta V'_e/Z'_e$ geeft de economische slijptijd (t_e) en is een eenvoudige functie van de termen A en C en de richtwaarde ν :

$$t_e = \frac{\Delta V'_e}{Z'_e} = -\nu \frac{C}{A} \quad (18)$$

Hierbij geeft t_e aan in hoeveel tijd het volume $\Delta V'_e$ het meest economisch kan worden verspaand. Deze tijd neemt dus lineair toe met C en ν (afname van het standvolume in functie van h_{eq}); omgekeerd neemt t_e af, en moet er sneller verspaand worden, naarmate A toeneemt.

Grafische bepaling van de economische werkvoorwaarden

Er bestaat een eenvoudig middel om de economische werkvoorwaarden grafisch te bepalen. Figuur 5 geeft een detail van het eerder besproken slijpdiagram, waarbij horizontaal zowel de equivalente verspaningsdikte als het verspaningsdebiet zijn aangegeven. Steunend op vgl. (18) geldt:

$$\Delta V' = t_e \cdot v_s \cdot h_{eq} \quad (19)$$

In een dubbellogaritmische schaal zoals op de verspaningskaart, stelt vgl. (19) een rechte voor onder 45° :

$$\log \Delta V' = \log(t_e v_s) + \log h_{eq} \quad (20)$$

De vergelijkingen (19) en (20) gelden voor willekeurige coherente eenheden, evenals voor de volgende gebruikelijke eenheden:

- $\Delta V'$ in mm^3/mm
- t_e in s
- v_s in m/s
- en
- h_{eq} in μm

Om die rechte te kunnen tekenen, bepalen we haar snijpunt met de ordinaat ($\Delta V'$) door het punt $h_{eq} = 1 \mu\text{m}$. Substitutie van deze waarde van h_{eq} in vgl. (20) geeft de overeenkomstige waarde van $\Delta V'$, namelijk het produkt $t_e \cdot v_s$.

Het wordt dus zeer eenvoudig om de economische werkvoorwaarden te bepalen op de verspaningskaart, indien t_e berekend werd met behulp van de constanten A, C en v .

Voorbeeld:

Met $A = 0.1 \text{ F/s}$, of 0.67 c/s $C = 20 \text{ F}$ (of $1,33 \text{ f}$) en $v = -0.50$ vinden we $t_e = \frac{20 \times 0.50}{0.1} = 100 \text{ s}$

Vermenigvuldigen met de slijpschijfsnelheid, b.v. 30 m/s geeft de gezochte waarde van $\Delta V'$. Voor $h_{eq} = 1 \mu\text{m}$: $\Delta V' = t_e \cdot v_s \cdot 1 = 100 \cdot 30 = 3000 \text{ mm}^3/\text{mm}$. Trekken we door het punt ($h_{eq} = 1 \mu\text{m}$, $\Delta V' = 3000 \text{ mm}^3/\text{mm}$) een rechte onder een hoek van 45° , dan geeft het snijpunt met de $\Delta V'$ -lijn:

$(\Delta V')_e = 310 \text{ mm}^3/\text{mm}$ en $(h_{eq})_e = 0.103 \mu\text{m}$ of $Z'_e = 30 \times 0.103 = 3.1 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$.

Er zij op gewezen dat hetzelfde resultaat verkregen wordt, indien de waarde van t_e uitgezet wordt op een $\Delta V'$ -as door het punt $Z' = 1 \text{ mm}^3/\text{mms}$ (figuur 5). De constructie is verder analoog als voor $(h_{eq})_e$.

Met het oog op het berekenen van de minimum slijpkosten vervangen we Z door Z_e en ΔV door ΔV_e waarna we de volgende uitdrukking vinden:

$$\left(\frac{K}{V}\right)_{\min} = \frac{A}{Z_e} \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \quad (21)$$

Enkele praktische voorbeelden

De uiteengezette methode wordt met enkele concrete voorbeelden verduidelijkt.

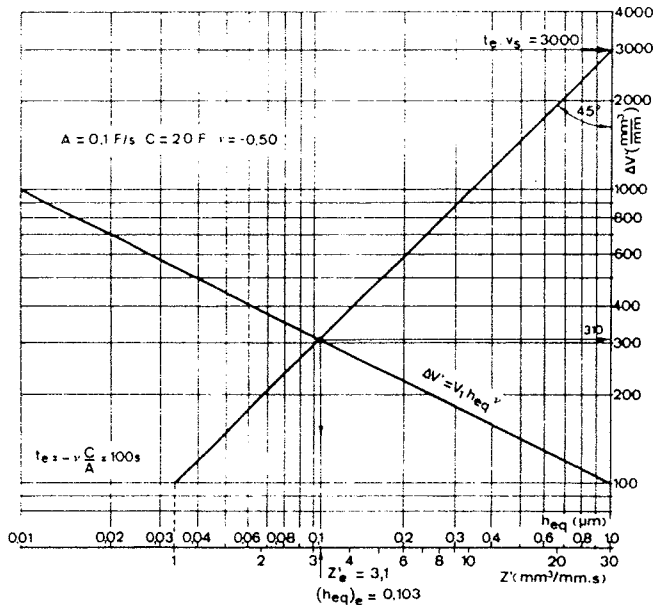


Fig. 5. Bepaling van de economische werkvoorwaarden op de verspaningskaart.

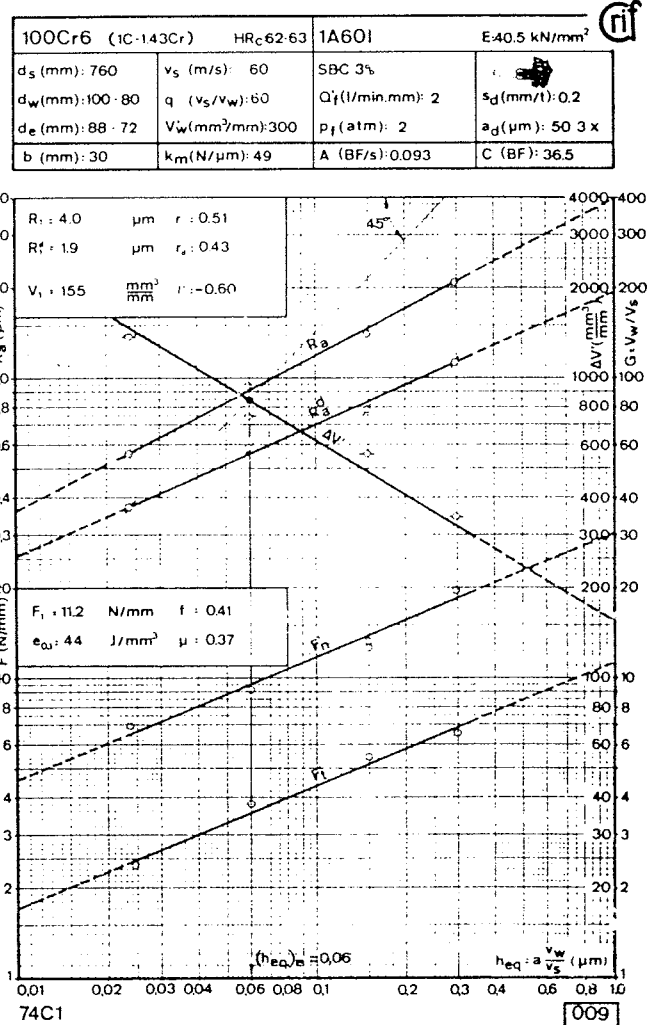


Fig. 6. Slijpdiagram voor het slijpen van kogellagerstaal 100 Cr 6 met keramische schijf (E-modulus 40,5 kN/mm²).

Invloed van de slijpschijfhardheid

Voor twee slijpschijven die één hardheidsgraad verschillen (respectievelijke E-modulus 40,5 en 45 kN/mm²) werden slijpdiagrammen opgesteld voor het slijpen van kogellagerstaal 100 Cr 6 (figuur 6 en 7).

Voor de zachtste schijf geldt:

$$t_e = 0,60 \times \frac{36.5}{0.093} = 235 \text{ s}$$

$$\text{of } t_e \times v_s = 14100$$

grafisch vinden we op figuur 6: $(h_{eq}) = 0,06 \mu\text{m}$ hetzij voor het economisch verspaningsdebiet $Z'_e = 3,6 \text{ mm}^3/\text{mms}$.

Als minimum slijpkosten vinden we (vgl. 21) $\left(\frac{K}{V}\right)_{\min} = 2.30 \text{ F/cm}^3$ (of 15 cent/cm^3)

Voor één hardheidsgraad hardere schijf geldt:

$$t_e = 0.49 \times \frac{36.5}{0.093} = 192 \text{ s}$$

$$\text{of } t_e \times v_s = 11540$$

Op dezelfde wijze als voorheen vinden we tenslotte $Z'_e = 5.9 \text{ mm}^3/\text{mms}$ en $\left(\frac{K}{V}\right)_{\min} = 1.60 \text{ F/cm}^3$ (of 11 cent/cm^3)

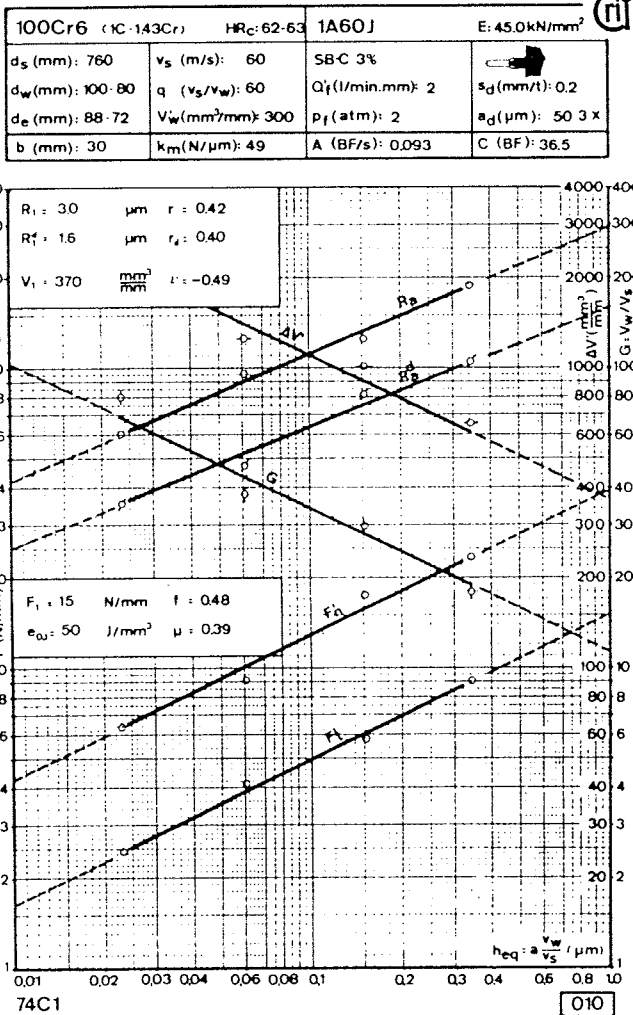


Fig. 7. Slijpdiagram voor het slijpen van kogellagerstaal 100 Cr 6 met keramische schijf (E-modulus 45 kN/mm²).

We stellen dus vast dat de slijpkosten in belangrijke mate (ongeveer 30%) kunnen worden verminderd door een oordeelkundige keuze van de hardheid van de slijpschijf.

Invloed van het bindmiddel

Niet alleen de hardheid, ook de keuze van het bindmiddel, kan belangrijk zijn zoals blijkt uit figuur 8. Deze geeft voor twee verschillende werkstukmaterialen een overzicht van de ruwheden en specifieke energieën, evenals de minimum slijpkosten voor keramisch-(EK60L7VX) en polyurethaangebonden schijven (P60 en P100). Deze laatstgenoemde werden enkele jaren geleden voor het eerst op de markt gebracht. Ze zijn zeer zacht in vergelijking met keramisch gebonden schijven en kunnen in dat opzicht vergeleken worden met bakelietgebonden schijven (P60 : E = 16.9 kN/mm² en P100 : E = 15.7 kN/mm²). Hieruit blijkt, dat het gemakkelijk te slijpen materiaal 100Cr6 beter met een keramisch gebonden schijf geslepen wordt. Beide polyurethaanschijven geven een minder goede ruwheid en vergen een veel grotere (20 tot 40%) specifieke energie. Bovendien verdubbelen de slijpkosten ongeveer, als gevolg van de minder goede standtijd en de hogere slijpschijfkosten (B), die ongeveer vier maal groter zijn dan in het geval van de keramisch gebonden schijf (B = 1.35 F/cm³ i.p.v. 0.35 F/cm³).

Omgekeerd blijkt, dat in het geval van het moeilijk te slijpen materiaal (X210CrW12) de polyurethaanschijf (P60) veel minder slijpkosten meebrengt dan de keramische schijf (slechts 38% van die voor de keramisch gebonden schijf). Daar zowel de ruwheid als de specifieke energie slechts in zeer geringe mate toenemen, verdient de polyurethaanschijf hier de voorkeur.

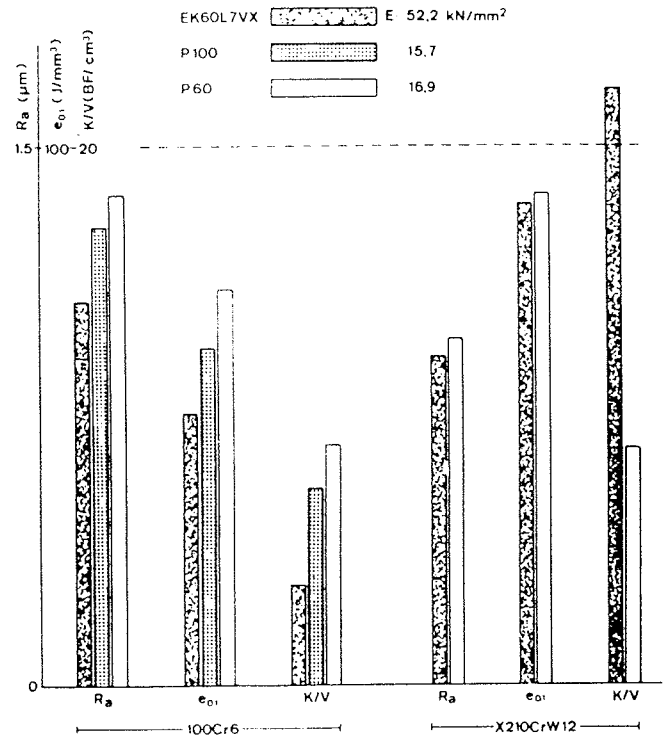


Fig. 8. Vergelijking tussen de slijpresultaten voor keramisch en polyurethaangebonden slijpschijven voor twee verschillende werkstukmaterialen.

Besluit

Aan de hand van concrete voorbeelden werd aangetoond hoe op eenvoudige wijze het *economisch verspaningsdebiet* kan worden bepaald. Het volstaat met behulp van enkele proeven het verloop van het standvolume te bepalen in functie van het verspaningsdebiet (bepalen van de gevoeligheidsindex ν). Samen met de kostenfactoren A en C (constant respectievelijk voor een gegeven machinebedieningsman en voor een gegeven afritscyclus) kan aldus de meest economische slijptijd t_e worden bepaald. Met behulp van het slijpdiagram vinden we tenslotte het economisch verspaningsdebiet Z_e waarvoor de slijpkosten minimaal zijn. Aangetoond werd onder meer dat een hardheidsafwijking van één graad in het geval van het slijpen van het kogellagerstaal 100 Cr 6 de slijpkosten met ongeveer 30% doet toenemen.

Literatuur

- [1] Decneut, A., „Optimalisatie van het slijpproces met het oog op de vermindering van de slijpkosten”, CRIF-Leuven, 68 C5, 1968
- [2] Peters, J., „Les recherches actuelles dans le domaine de la rectification”, Annals of the CIRP, Vol. 15, 1967
- [3] Decneut, A., „Verantwoorde keuze van de slijpvoorwaarden”, Doct. thesis Leuven, 74 C 1, 1974
- [4] Decneut, A., Snoeys, R., „Doublément de la productivité de la rectification en plongée par augmentation de la vitesse de meule”, CRIF-Leuven, MC 34, 1970
- [5] Busch, D.H., Lindenbeck, D.A., „Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim Schleifen mit Diamantscheiben”, De Beers Diamond Research Laboratory, Johannesburg 1972.