

**Szent István Egyetem**

**A FORGÁCSOLÁSNÁL ALKALMAZOTT MINIMÁLKENÉS (MMS)**

**HATÁSMECHANIZMUSA- ÉS**

**HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE**

Doktori értekezés

**Kári-Horváth Attila**

**Gödöllő**

**2009**

A doktori iskola

megnevezése: **Műszaki Tudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Agrárműszaki tudomány**

vezetője: Dr. Farkas István DSc  
egyetemi tanár,  
SZIE Gépészmérnöki Kar

Témavezető: Dr. Valasek István PhD  
címzetes egyetemi tanár,  
SZIE GÉK Gödöllő, Gépipari Technológiai Intézet

Társ-témavezető: Dr. habil Zsoldos Ibolya PhD  
egyetemi docens,  
SZIE GÉK Gödöllő, Gépipari Technológiai Intézet

.....  
A programvezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

# TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK.....	3
ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK.....	5
BEVEZETÉS .....	9
1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	11
<b>1.1. Szabályos élgeometriájú forgácsleválasztás folyamata és energiaszükséglete.....</b>	<b>11</b>
<i>1.1.1. A forgácsleválasztás elemzése tribológiai szempontból .....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.2. A forgácsolás energiaszükséglete .....</i>	<i>15</i>
<b>1.2. Szerszámanyagok fejlődése .....</b>	<b>25</b>
<b>1.3. Szerszámgépek fejlődése.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4. A hűtő-kenő folyadékok fejlesztése és üzemi kezelése .....</b>	<b>31</b>
<i>1.4.1. A hűtő-kenő folyadékok fejlesztése kémiai és géplaboratóriumi vizsgálata .....</i>	<i>32</i>
<i>1.4.2. Az emulziók üzemi károsodása, különös tekintettel a biológiai elfertőződésre .....</i>	<i>41</i>
<b>1.5. Az MMS-kenés újkori kutatásainak áttekintése .....</b>	<b>50</b>
<i>1.5.1. Az MMS-kenés szükségessége és szerepe a forgácsolás fejlesztésében .....</i>	<i>53</i>
2. ANYAG ÉS MÓDSZER .....	57
<b>2.1. Kutatási célkitűzés .....</b>	<b>59</b>
<i>2.1.1. A kutatási cél megvalósításának elméleti programja .....</i>	<i>59</i>
<i>2.1.2. A végrehajtható erősen szűkített kísérleti program .....</i>	<i>62</i>
<b>2.2. Kísérleti feltételek, eszközök, mérések és a vizsgálógép hitelesítése.....</b>	<b>63</b>
<i>2.2.1. Kísérleti feltételek, eszközök .....</i>	<i>63</i>
<i>2.2.2. A vizsgálóberendezés működési megbízhatóságának ellenőrzése .....</i>	<i>68</i>
3. A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA, ÉRTÉKELÉSE.....	77
<b>3.1. Energiaszükséglet és – megoszlás a forgácsolási hőmérséklet nagysága és eloszlása alapján.....</b>	<b>78</b>
<b>3.2. Kenőanyagok szerepe az MMS-kenésben.....</b>	<b>89</b>
<b>3.3. Szerszámkopás mechanizmusa .....</b>	<b>95</b>
<b>3.4. Felületi érdesség és mérettartás .....</b>	<b>99</b>
<b>3.5. Krisztallit-módosulás értékelése .....</b>	<b>101</b>
4. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	107
5. A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	111
ÖSSZEFOGLALÁS.....	113
SUMMARY.....	115
MELLÉKLETEK.....	117
<b>M1. Hivatkozott irodalmak jegyzéke .....</b>	<b>117</b>
<b>M2. Alapanyag minőségi bizonyítványa .....</b>	<b>127</b>
<b>M3. Alapanyag keménységmérési jegyzőkönyve .....</b>	<b>128</b>

<b>M4. Az infra-hőmérő minőségi tanúsítványa .....</b>	<b>129</b>
<b>M5. A forgácsolóerő-mérő kalibrációs jegyzőkönyve.....</b>	<b>130</b>
<b>M6. Az induktív útdó befogójának műhelyrajza .....</b>	<b>131</b>
<b>M7. A kísérletek körébe bevont kenőanyagok kódjai, műszaki és biztonsági jellemzői .....</b>	<b>132</b>
<b>M8. Száraz - kenés mérési jegyzőkönyvei.....</b>	<b>144</b>
<b>M9. 5 tf%-os emulzió mérési jegyzőkönyve.....</b>	<b>153</b>
<b>M10. Az MMS-kenés mérési jegyzőkönyve .....</b>	<b>156</b>
<b>M11. Az MMS-kenés (M1-32) mérési jegyzőkönyvei .....</b>	<b>159</b>
<b>M12. Az MMS-kenés (M2-2) mérési jegyzőkönyvei .....</b>	<b>171</b>
<b>M13. Az MMS-kenés (M3-2) mérési jegyzőkönyvei .....</b>	<b>183</b>
<b>M14. Az MMS-kenés (M8-32) mérési jegyzőkönyve .....</b>	<b>189</b>
<b>M15. Csiszolatok (100 μm) .....</b>	<b>192</b>
<b>M16. Csiszolatok (20 μm) .....</b>	<b>193</b>
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>	<b>194</b>

## ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

Jel	Megnevezés	Mértékegység
a	fogásmélység	[mm]
a <sub>1</sub>	a Hertz-átmérő sugara	[-]
a <sub>c</sub>	véletlenszerűen megjelenő törési pont	[m]
b	forgács vastagság	[mm]
c, v	fénysebesség	[m/s]
c <sub>1</sub>	kenőanyagra jellemző állandó	[-]
f, s'	előtolás	[mm]
h	forgács szélesség	[mm]
h <sub>1</sub>	meredekség	[-]
ħ	Planck-féle hatáskvantum	[Js]
k <sub>c</sub>	fajlagos forgácsolóerő	[N/mm <sup>2</sup> ]
k <sub>c1,1</sub>	fajlagos forgácsolóerő alapértéke	[N/mm <sup>2</sup> ]
l	vizsgálati hossz	[mm]
m <sub>1</sub>	politróp kitevő	[-]
m	tömeg	[kg]
n	fordulatszám	[min <sup>-1</sup> ]
n <sub>1</sub>	párhuzamos kísérletek száma	[db]
n <sub>2</sub>	a kenőanyag törési mutatója	[-]
r	a munkadarab sugara	[mm]
s	megtett út	[m]
v <sub>c</sub>	forgácsoló sebesség	[m/min]
v <sub>k</sub>	kerületi sebesség	[m/min]
x, y, z	Kísérleti paraméterek száma	[db]
A	forgácskeresztmetszet	[mm <sup>2</sup> ]
A <sub>ki</sub>	kilépési munka	[J]
ÁK	megengedett átlagos koncentráció	[mg/m <sup>3</sup> ]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	alumínium-oxid	
AW	antiwear – kopás elleni	
C <sub>Δ</sub>	kopásállandó	(mm)
CBN	kőbös bórnitrid	
CK	megengedett csúcskoncentráció	[mg/m <sup>3</sup> ]
CVD	chemical Vapour Deposition – vegyi porlasztásos bevonás	
CNC	Computer Numerical Control	
D	a munkadarab átmérője	[mm]
E	rugalmassági modulus	[N/mm <sup>2</sup> ]
E <sub>1</sub>	energia	[J]
E <sub>kin</sub>	kinetikus energia	[J]
E <sub>m</sub>	maximális energiaszint	[J]

$E_n$	minimális energiaszint	[J]
EP	extreme pressure - nagy nyomásálló	
$F_c$	főforgácsolóerő	[N]
FM	friction modifier – súrlódásmódosító	
H	szerszám keménysége	[N/mm <sup>2</sup> ]
HKF	hűtő-kenő folyadék	
$K_1$	kráterkopási viszonyszám	[-]
K	a feszültség és az energia átszámításának állandója	
KB	a kráteres kopás szélessége	[mm]
$K_{H6}$	hősokk tényező	[-]
$K_k$	kísérletek költsége	[Ft]
KM	a kráterkopás középtávolsága	[mm]
KT	a kráteres kopás mélysége	[mm]
MK	maximális munkahelyi koncentráció	[mg/m <sup>3</sup> ]
MMS	<b>Minimal Menge Schmierung</b> - minimálkenés	
MoS <sub>2</sub>	molibdén – diszulfid	
MQL	<b>Minimum Quantity of Lubricant</b> - minimálkenés	
N	Avogadro-szám	
NbC	nióbbium karbid	
NC	Numerical Control	
O/W	olaj a vízben emulziók	
$P_c$	forgácsoló teljesítmény	[W]
PKD	polikristályos gyémánt	
PVD	Physical Vapour Deposition – fizikai porlasztásos bevonás	
R	egyetemes gázállandó	[J/molK]
$R_a$	átlagos felületi érdesség	[ $\mu$ m]
$R_m$	szakítószilárdság	[N/mm <sup>2</sup> ]
$R_q$	simasági mérőszám	[ $\mu$ m]
$R_y$ - $R_{max}$	maximális egyenetlenség	[ $\mu$ m]
$R_z$	egyenetlenség magasság	[ $\mu$ m]
SiC	szilícium karbid	
$SK_\gamma$	a hátkopás szélessége	[mm]
t	hőmérséklet	[°C]
T	éltartam	[min]
TAC	tantál-karbid	
TiAlN	titán-alumínium-nitrid	
TiC	titán - karbid	
TiCN	titán-karbo-nitrid	
TiN	titán – nitrid	
VB	hátkopás	[mm]
VC	csúcskopás	[mm]
$V_f$	idegység alatt leválasztott forgács-térfogat	[mm <sup>3</sup> /s]

WC-Co	wolframkarbid-kobalt	
WGK	vízvesztéységi besorolás	
$W_{sp1}$	fajlagos forgácsolási energiafelhasználás	[Ws/mm <sup>3</sup> ]
$W_{sp2}$	a szerszámgép fajlagos energiafelhasználása	[kWh/kg]
$W_{sp3}$	primer energiafelhasználás	[kWh]
$W_{spö}$	összes energiaszükséglet	[GJ]
$Z_{\Delta}, X_{\Delta}, Y_{\Delta}, \mu_{\Delta}$	kitevők	[-]
Z	vizsgálatok száma	[db]

### Görög betűk

$\beta$	ékszög	[°]
$\alpha$	hátszög	[°]
$\gamma$	homlokszög	[°]
$\Delta$	kopás	[mm]
$\Delta^* = v_{\Delta}$	kopássebesség	[mm/min]
$\alpha'$	térfogati hőtágulási együttható	[1/K]
$\tau_{max}$	legnagyobb csúsztató feszültség	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\Theta_{opt}$	optimális szerszámanyag hőmérséklet	[°C]
$\Theta_{krit}$	kritikus szerszámanyag hőmérséklet	[°C]
$\lambda$	hővezető képesség	[W/mK]
$\gamma_{acél}$	acél sűrűsége	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\varepsilon$	relatív gyakoriság eltérése az esemény valószínűségétől	[-]
$\delta$	valószínűségi változó	[-]
$\rho$	súrlódási félkúpszög	[°]
$\beta^*$	Wien féle sugárzási képletben szereplő paraméter	[-]
$\Phi$	nyírási szög	[°]
$\varepsilon$	relatív csúszás	
$\omega$	szögsebesség	[1/s]
$\nu, f$	frekvencia	[Hz]
$\rho_1$	sűrűség	[kg/m <sup>3</sup> ]





## BEVEZETÉS

A forgácsolásnál alkalmazott minimálkenésnek azt a kenési módot nevezzük, amikor az óránkénti kenőanyag felhasználás általában nem haladja meg az 50 mg-ot (Weinert et al. 2004), némely esetben még kevesebb is lehet. Az elnevezés a „Minimal Menge Schmierung” német kifejezés kezdőbetűiből alkotott mozaik szó, vagyis MMS, az angol pedig „Minimum Quantity of Lubricant”-ként vagyis MQL tárgyalja (Ávila, Abrão 2001). Az MQL fogalmát néha úgy emlegetik, mint a „száraz kenéshez közeli” (Klocke, Eisenblatter 1997), vagy „mikro kenés” (MaClure et al. 2006).

A műszaki gyakorlatban az MMS-kenés kifejezést használjuk (nem pontosan) a minimális kenőanyag használata mellett végrehajtott kenésre. A definíció szerint minimál kenés alkalmazható:

- gépelemek, gépek stb. kenéstechnológiáinál és a
- megmunkálási technológiáknál.

A gépek, gépelemek kenési technológiákban már több mint 60 éve erős törekvés mutatkozik a kenőanyagfelhasználás minimalizálására. Jól definiált körülmények között már széleskörűen használják a nagysebességű ( $v_k \geq 25 \frac{m}{s}$ ) fogaskerekek köd-

kenésénél, láncok, drótkötelek aeroszolos-, a légkompresszor szelepeinek és hengerperselyeinek csepegtető- kenésénél, a csigahajtóművek és csavarkompresszorok befecskendező, vagy az általánosságban használható mágnes-szelepes csepegtető olajozónál.

Az alkalmazásuk megmaradt a felsorolt szűk körben, a kenőkészülékek ellenben jelentős fejlődésen mentek át. Ennek a kenési módnak a lényege, hogy az adott kenési helyhez kifejlesztett kenőanyagból – a körülmények figyelembevételével és az adott kenési hely lehetőségeinek kihasználásával – a kenőanyag felhasználást minimalizálják. Ezért „**minimált**” kenésnek is nevezhetjük.

A forgácsolási technológiáknál is lehet csökkenteni, „**minimálni**” a hűtő-kenő folyadékok felhasználását, aminek azonban határt szab a forgácsolásnál keletkező hő felesleges mennyiségének az elszállítási követelménye. A fentiekben definiált MMS-kenés esetén nem a hűtő-kenő folyadék anyaghalmazának a fizikai-, kémiai és termodinamikai tulajdonságai dominálnak, hanem az adott anyag adott helyi **molekuláris** viselkedése.

Jelenleg, mind a gyakorlatban, mind pedig a tudományban, itthon és külföldön egyaránt keverednek a fogalmak. Misem bizonyítja jobban ezen állítást, mint az hogy néhány kutató kétfázisú kolloid rendszerekkel végez kísérleteket, holott az MMS-kenés lényegéből adódóan egységes molekula rendszerű anyagok alkalmazhatók eredményesen.

A doktori (PhD) értekezésem célkitűzése a forgácsolási szakterületen használt fogalmak pontos meghatározása, az MMS-kenés hatásmechanizmusának feltárása és a forgácsolás hatékonyságának növelése, az anyagok molekuláris és hatáskvantumi viselkedésnek módosításával.

A dolgozat első részében a kutatómunka tárgykörébe tartozó irodalmat tekintetem át, különös tekintettel az MMS-kenésre és az újkori kutatásokra. A második részében a tervező-fejlesztő és a kutatási munkámról számolok be, majd a következő fejezetben a kísérletek során kapott eredményeket értékelem. A 4. fejezetben tézisek formájában megfogalmazom a kutatás új tudományos eredményeit. Végezetül az eredmények hasznosítási lehetőségét taglalom, rámutatva néhány, még tisztázatlan kérdésre.

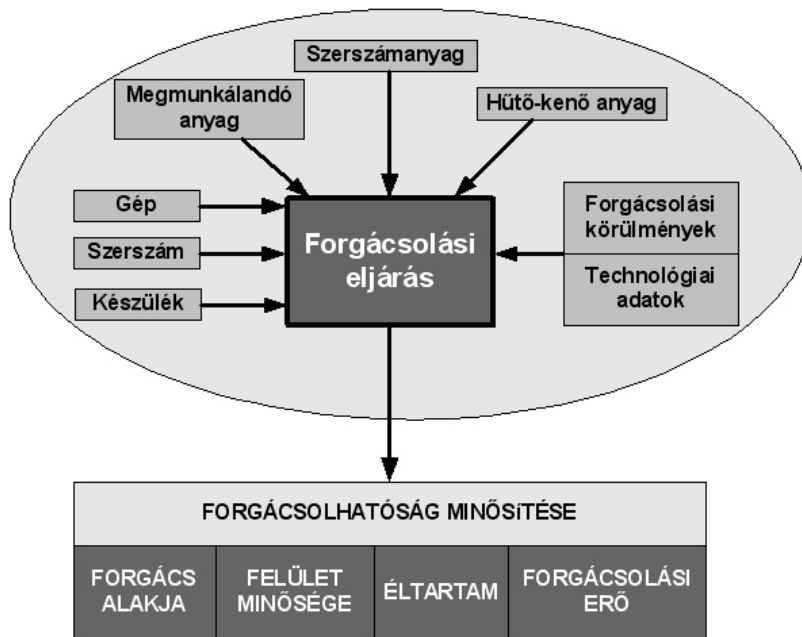
# 1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

## 1.1. Szabályos élgeometriájú forgácsleválasztás folyamata és energiaszükséglete

A gépgyártástechnológiai fogalmi rendszerét Dudás (2000) tárgyalja részletesen. A forgácsolás az anyagok **megmunkálásának** egyik módja.

**Megmunkálás:** az előre kitűzött cél szerint fémes vagy nem fémes anyagok meghatározott technológiai művelettel való alakítása, anyagszétválasztása, képlékeny alakítása, egyesítése, bevonása vagy anyagtulajdonság változtatása. A **forgácsolás** anyagszétválasztással alakadást valósít meg (Bálint 1958, Bálint 1964).

A forgácsolás a „szerszám gép – munkadarab – szerszám – HKF – készülék„ kapcsolati rendszerben jön létre és jó közelítéssel a 1. ábra szerint definiálhatjuk.



1. ábra Forgácsolás definíciója

### 1.1.1. A forgácsleválasztás elemzése tribológiai szempontból

A forgácsolási zónában – ahogy azt a 2. ábra szemlélteti – a szerszám behatol a munkadarabba és képlékenyen deformálja az él környezetében elhelyezkedő anyagrészeket (Gribovszki 1977).

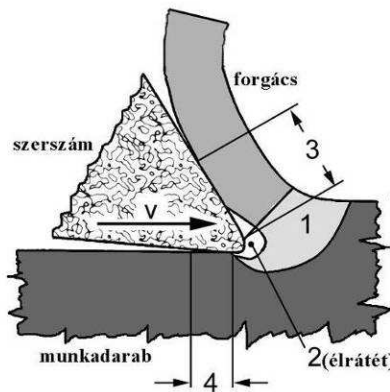
A disszertáció szempontjából a határozott élgeometriával végrehajtott forgácsolási folyamat megismerése a fontos, ezért ennek az eljárásnak a tribológiai

szemléletű elemzésével foglalkozom behatóan.

A forgácsolási paraméterek egy összetett rendszert alkotnak, amelyben az egyes paramétereket, a többi jellemzőtől nem választhatjuk szét, mivel az egyik paraméter változtatása jelentős hatással lehet a többi jellemző megváltozására. Gondolok itt a forgács alakja és a forgácsolási folyamat kapcsolatára, ahol a forgács alakját és a forgácsolási folyamatot alapvetően a szerszám kialakítása és a munkadarabhoz viszonyított helyzete határozza meg, de emellett még nem szabad szem előtt téveszteni, hogy más paraméterek hatása is jelentős ezek kialakulására, mint például a hűtő-kenő folyadék hűtési tulajdonsága.

A forgácsolási paramétereket a fent már említett összetevők alapján választjuk ki, így például: a megmunkálandó anyag minősége, a forgácsolószerszám anyaga, a hűtő-kenő folyadékok típusa és a benne lévő adalékok típusai és hatásai. Ezek pontos és ésszerű megválasztásával érhetőek el azok az eredmények, amelyekkel biztosítható a gazdaságos és nagy volumenű termelés.

A szerszám ékhez hasonlóan behatol a munkadarabba és arról anyagot választ le (Bálint et al. 1972, Pálmai 1980, Bali 1985, Dudás 2001). Ezt a **leválasztott részt forgács**nak nevezzük. A leválasztott forgács többé-kevésbé összefüggő alakzatot vesz fel és a szerszám homloklapján csúszva távozik miközben súrlódási hő és kopás keletkezik (Oxley 1968). A forgácsleválasztás közvetlen környezetében négy jellegzetes zónát különböztetünk meg. Ezt mutatja be a 2. ábra.



2. ábra A forgácsleválasztásnál feltételezett nyírási és súrlódási zónák

A zónák szoros összefüggésben vannak a forgácsolás során kialakuló hőközpontokkal. A szerszámél a megmunkálandó anyagba hatol és a forgácsleválasztást létrehozó fő mozgás deformációt (belső súrlódást) hoz létre (1. zóna), amely hőfejlődéssel jár. A keletkező hő **felszakadási hőnek** nevezzük. A felszakadási hő főleg a megmunkált anyag szilárdságától és szövetszerkezetétől függ. A forgács képlékeny alakváltozása következtében felszabaduló alakítási hő (1. zóna) esztergálás esetén kenéssel nem befolyásolható.

A 2. zóna közvetlenül a szerszám forgácsolóélének a környezetében alakul ki, az adhéziós kopás első szakaszát képező fémátvitel következtében, amit **élrátétnek** nevezzük. Élrátét csak abban az esetben alakulhat ki, ha a munkadarab és a szerszám kohászati affinitása nagy.

Korszerű szerszámanyagok esetén (keményfémek, kerámiák és bevonatok továbbá CERMETEK, CBN, PKD stb.) nem vagy csak szelektíven alakulhat ki az élrátét. Az élrátét enyhébb változata a diffúzió, amit irányítottan is létrehozhatunk.

A forgács és a homlokfelület súrlódása következtében keletkező súrlódási hőt (3. zóna) lehet a leginkább kenéssel befolyásolni, amellett, hogy ez is függ a szerszám alakjától és a forgácsolási paramétereiktől. A szerszám hátfelülete és a munkadarab között - nagyobb részt deformációból, kisebb részt súrlódásból - keletkező hő (4. zóna) elsősorban a szerszámalaktól (hátszögtől) és a forgácsolási paramétereiktől függ. Kismértékben csökkenthető kenéssel, ehhez a hűtő-kenő folyadéknek bőséges mennyiségben és lehetőleg nyomás alatt kell rendelkezésre állnia, hogy a szűk részbe bejusson (Valasek, Tóth 2003, Du et al. 2001).

A kenés és a hűtés nagymértékben függ a hűtő-kenő folyadék minősége mellett a megmunkálási térbe történő eredményes bevezetésétől, amely a munkadarab és a szerszám közti területet jelenti. Ennek sikerétől függően jelentős mennyiségű folyadék takarítható meg, mintegy megnövelve ezzel a gazdaságosságot. A forgácsolási zónában képlékeny feszültségi és alakváltozási állapot alakul ki (Palmer, Oxley 1959). (3. ábra)



3. ábra A szabadforgácsleválasztás folyamata

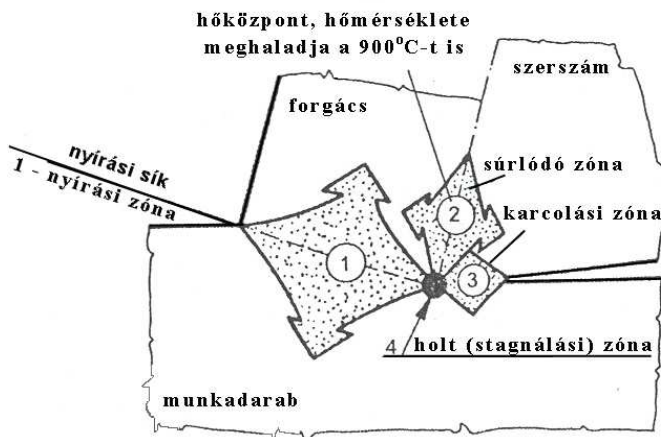
A szerszám amint behatol a lágyabb munkadarab anyagába, képlékenyen deformálja (rideg anyagok forgácsolásakor ilyen képlékeny deformáció nem jön létre) az él környezetében elhelyezkedő anyagrészecskéket. A "h" vastagságú rétegben a részecskék általában egy meghatározott síkban csúsznak el egymáson (nyírési sík). A forgácsleválasztás tribológiai szempontból három jellegzetes szakaszra osztható. Ezek a következők:

- A részecskék nyírési sík mentén, egymáson történő csúszásának következtében belső súrlódás keletkezik a megmunkált anyagban. A deformáció során a redukált feszültség az élközeleli anyagrétegben egyre nagyobb lesz, elér egy kritikus értéket, amelyet az anyag már nem tud elviselni, és az anyag szerkezete felszakad. Ezt az anyagszakadást **feltétlen szakadásnak** nevezzük, mivel minden esetben - a forgácsolási feltételektől függetlenül - végbe megy. Az anyagszakadás (törés) során két új felület képződik: a forgácsolt felület és a forgács belső felülete. Bizonyos feltételek mellett az anyag felszakadása kiterjedhet a nyírési zónára is, de csak a feltétlen szakadás befejeződése után. Ezt nevezik **feltételes szakadásnak**.
- A leválasztott anyagrészt forgácsnak nevezzük, amely a szerszám homlokfelületén fut, ahol a csúszás következtében külső súrlódást és kopást hoz létre.

- A szerszám forgácsoló-élénél olvadék és anyagmaradvány is keletkezik, amelyeknek egy része a szerszám hátlapja és a frissen megmunkált felület között távozik, hátkopást és felületrongálást idéz elő (Bakondi, Kardos 1974, Pálmai et al. 1991, Walter, Brinksmeier 2002).

A forgácsolási folyamatokat elsősorban a forgácsoló-szerszám és az anyag közötti zónában fellépő rendkívül összetett és egymástól kölcsönösen függő fizikai-kémiai-mechanikai jelenségek irányítják, amelyek a szerszám kopását okozzák. A nyers munkadarab felületéről egy vékony réteget eltávolítunk, ezáltal létrehozva a felület kívánt geometriai kialakítását, pontosságát és felületi minőségét (Niebel et al. 1989, Czichos 1995, Tönshoff 1995).

A forgácsleválasztás első szakaszában a hűtésnek, a másodikban a kenésnek és a harmadikban a mosóhatásnak van szerepe. Az elemzésnél nem elégedhetünk meg azzal, hogy megállapítjuk a keletkező hő nagyságát, azt is ismerni kell, hogy a hőáramokat melyik forgácsolási elem, milyen mértékben fogadja be (Brandt, Reitz 1979, Lössl 1979, Walter 2002). Ezt szemlélteti a 4. ábra, a hőeloszlás %-os arányát az 1. táblázat tartalmazza (Dudás 2001).



**4. ábra** A főhőáramok a forgácsleválasztási zónában

- 1 – alakítási munkából keletkező hő (HKF-kal nem csökkenthető)
- 2 – súrlódási hő a homloklapon (HKF-kal jelentősen csökkenthető)
- 3 – súrlódási hő a hátlapon (HKF-kal jelentősen csökkenthető)
- 4 – „felszakadási” munka hővé alakuló része (HKF-kal módosítható)

A fémforgácsolással járó műveleteket különböző bonyolultságú szerszám-gépekkel és forgácsoló szerszámokkal végzik, azonban a forgácsolási folyamat minden esetben alapvetően azonos. Ahhoz, hogy ez a művelet gazdaságos lehessen, szükséges a forgácsleválasztást megkönnyíteni és a szerszám élettartamát növelni.

„A forgácsolási alakítás igen gyors, így az eközben bekövetkező felhevülés is rövid idő alatt megy végbe. Ezredmásodpercnyi idő alatt a homloklapfelületre érkező anyag 1000°C-ra hevülhet, ami 1 millió °C másodpercenkénti hevítési sebességnek felel meg.” (Dudás 2001).

A kialakuló hőmérséklet attól függ, hogy milyen a hő keletkezésének a se-

bessége és milyen gyorsan nyeli el azt a környezete. Nyilvánvaló, ha a hőmérséklet túlságosan nagy, akkor a szerszám meglágyul, és a forgácsolóél tompul.

**1.táblázat** Különböző anyagok forgácsolásának a hőeloszlásának %-os aránya (Dudás 2001)

Munkadarab anyaga	Hő- elosz- lás [J/cm <sup>3</sup> ]	Átlagos for- gácsolási hőfok [°C]	Hőeloszlás, %		
			Forgács- ban	Munka- darabban	Szer- számban
Acél (R <sub>m</sub> =630 N/mm <sup>2</sup> )	3200	450	~ 75	~ 25	~ 1,5
Öntöttvas (HBS=200)	2500	300	~ 50	~ 50	~ 1,5
Alumínium	1600	150	~ 25	~ 75	~ 1,5

Német kutatók mutatták ki (Klocke et al. 2000, Walter, Brinksmeier 2002), hogy a szerszám **éltartama** (a korszerű szerszámoknál: éltartam = élettartam) fordítottan arányos a forgácsolási hőmérséklet huszadik hatványával. Ez jól alátámasztja azt a megfigyelést, hogy még kis hőmérsékletváltozások is jelentősen befolyásolják a szerszám éltartamát (Dudás 2000, Alaxender et al. 1998, Varadarajan et al. 2000, Philip et al. 2000).

A fentiekből következik, hogy a szerszám élettartamát megnövelhetjük úgy is, hogy csökkentjük a hőmérsékletet, vagy csökkentjük a súrlódást, vagy mindkét lehetséges módot alkalmazzuk. A jó hűtéshez tehát nagy fajhőjű folyadéokra van szükség, így a víz, ami olcsó és könnyen hozzáférhető, nyilvánvalóan számításba jön.

Külön foglalkozni kell azonban a szerszámok hűtési mechanizmusával, ami részben a pszihokinézis („tárgyak” mozgatása energiával) tárgykörébe tartozik. Ha elektronok levegőn keresztül feszültségkülönbség hatására mozognak, akkor kialakul az ún. elektromos szél, ami a levegő mozgásával és lehűlésével jár. Ez a hatás addig érzékelhető, amíg a levegőben töltések mozognak. Ezt a régóta ismert jelenséget a műszaki gyakorlatban éppen a szerszámok hűtésénél használjuk ki. Amikor a töltések mozgása miatt elektromos szél keletkezik, akkor más típusú hűtési hatások is fellépnek (pl.: Peltier-effektus).

Egyes kutatók úgy vélik, hogy ez akkor következik be, ha a hőmérséklet olyan nagy, hogy a keletkező vízgőz miatt a hűtőfolyadék nem is tud eljutni a nyírási zónába. Ilyenkor olajbázisú hűtő-kenő folyadékokat kell használni. A vízzel elegyedő hűtő-kenő folyadékok elsősorban úgy működnek, hogy meggyorsítják a hűtést, az olajalapú folyadékok inkább a kenést javítják, így a súrlódás csökkentésével a keletkező hőmennyiséget is csökkentik (Valasek 1999, Zwingmann 1976).

### **1.1.2. A forgácsolás energizükséglete**

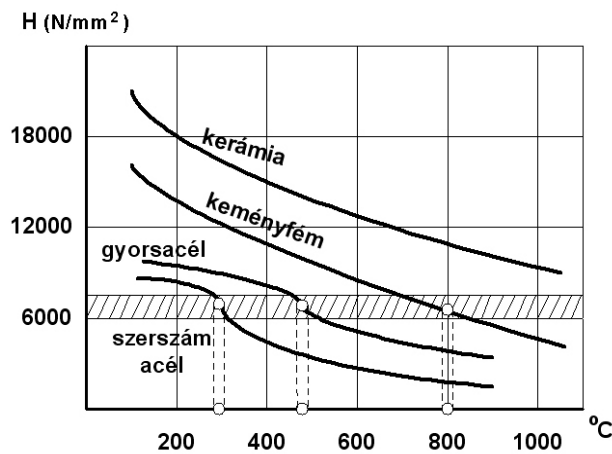
A forgácsolásnál felhasznált energia 95–98 %-a hővé alakul (Dudás 2000,

Pálmai 2008).

### A forgácsolási hőmérséklet

A szerszám munkaképessége szempontjából döntő a forgácsban távozó összes hő mennyisége (Dudás 2001, Schulz 2002).

A hőeloszlási arányok erősen függenek a forgácsolási sebességtől, közvetve is és közvetlenül is a hűtő-kenő folyadéktól. A szerszámba igen kis mennyiségű hő távozik, így a szerszámanyagokra megengedett  $\theta_{kr}$  kritikus hőmérsékletet (hőállóságot) csak nagy forgácsoló teljesítményeknél éri el. A szerszám anyagok kritikus hőmérséklete az az érték, amelynél a szerszám keménysége a  $H < 6000 \text{ N/mm}^2$  értéket eléri, ezt mutatja be a 5. ábra. Ez a keménység még éppen elégséges a forgácsleválasztáshoz.



5. ábra A szerszámanyagok keménységének változása a hőmérséklet függvényében

A leggyakrabban használt szerszámanyagok kritikus hőmérsékleteit a megengedett max. forgácsoló sebességekkel a 2. táblázat mutatja be (Dudás 2001).

2. táblázat A szerszámanyagok kritikus hőmérsékletei a maximális forgácsoló sebesség függvényében

Szerszámanyag	$\Theta_{krit} [^{\circ}C]$	Maximális forgácsoló sebesség, (m/min)
Szénacél	250	~ 50
Gyorsacél	550	~ 100
Keményfém	800	~ 300
Kerámiai bevonatok és gyémánt	1000	~ 800
Kerámiák	1200	~ 2000

Az anyagok a hőmérséklet változására különböző módon reagálnak. Így forgácsolásnál a szerszámanyag és a munkadarab keménység változása a hőmérséklet függvényében más-más jellegű görbével írható le.



A keménységárány görbéknél létezik egy olyan  $\Theta_{opt}$  hőmérséklet, ahol a keménységárány maximális, tehát célszerű a forgácsolást a  $\Theta_{opt}$  hőmérsékleten végezni. Jelenleg a gyakorlati megvalósítást nehezíti, hogy a keménységárány görbék általában nem állnak rendelkezésre (Valasek 1999, Dudás 2001, VDI 3035).

### *Az élrátét (élsisak) képződés*

Az élsisak nem más, mint a munkadarab anyagából a szerszám élére felrakódott olyan részecskék tömege, amely többé-kevésbé állandósul, miközben a forgács fölötté elcsúszik.

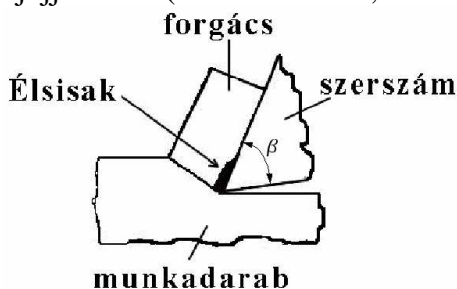
Az élsisak időnként részben vagy egészben leválik és a munkadarab felületébe benyomódva vagy a forgáccsal együtt távozik (Lechner 1957).

Kutatások kimutatták, hogy az élsisak sokkal keményebb, mint a megmunkálható anyag, amelyből származott. Így amikor helyettesíti a forgácsoló szerszámélt, egyben kíméli is a kést a kopással és a hőhatásokkal szemben.

Mindazonáltal – különösen a simító megmunkálásnál – hátrányosnak mondható, mert periodikus megjelenésével és távozásával a megmunkált felület minőségét rontja, és ami még fontosabb, a méretét ingadozóvá teszi. Rezgéseket is előidézhet, s ezzel tovább rontja a megmunkálási viszonyokat.

Az élrátét (élsisak) (6. ábra) jelentősen megváltoztatja az ékszöveget ( $\beta$ ), aminek következtében romlanak a forgácsolási jellemzők és a felületi minőség. Az élrátét keletkezésének a feltételei:

- a szerszám és a munkadarab közötti kohászati affinitás mértéke
- a megmunkált anyag felkeményedési képessége
- folytonos forgácsképződés
- felkeményedés a forgácsoló él előtti anyagfolyamban
- elégségesen alacsony hőmérséklet a forgácsképződés zónájában, hogy rekristalizáció ne jöjjön létre (Merchant 1945, Dudás 2001).



**6. ábra** Az élsisak kialakulása

A leggyakrabban alkalmazott forgácsoló anyagok a keményfémek. Ezeknél a fő tulajdonságok (keménység és szívósság) jelentős ingadozása figyelhető meg. Az eltérések a váltólapkákhoz használt szokásos szerszámanyagoknál főleg a keményfémrészecskék típusában és nagyságában, a kötőfém típusában és részarányában, a gyártási eljárásokban és gyártási minőségben vannak (Walter 2001).

A fejlesztés a wolframkbid - kobalt (WC-Co) keményfémekkel kezdődött. Ezeknél kétfázisú keményfémről van szó, amelynél a kemény volfrám-karbid fázist alfa-fázisnak és a kobalt kötőfém fázist pedig béta-fázisnak nevezik. Egyéb karbidok, mint pl.: TiC, TaC és NbC hozzáadásával acél megmunkáláshoz speciálisan keményfémeket hoztak létre.

A  $\gamma$ -fázissal (pl.: TiC-, TaC- és NbC-karbidokból) kiegészülő kétfázisú keményfém szerszámanyagok az alapvető követelményeken túlmenően több alkalmazástechnikai jellemzővel is kiegészülnek ilyen pl: kopásállóság, kémiai rezisztencia, stb.(Walter 2001). TiN és TiCN a TiAlN-del összehasonlítva rosszabb hőszigetelést nyújtanak az alapanyaggal szemben. Jó hőszigetelő tulajdonságuk kihasználására ezért ezen rétegeket gyakran  $Al_2O_3$  - dal együtt viszik fel a felületre, így többrétegű bevonatot képeznek (Walter 2001).

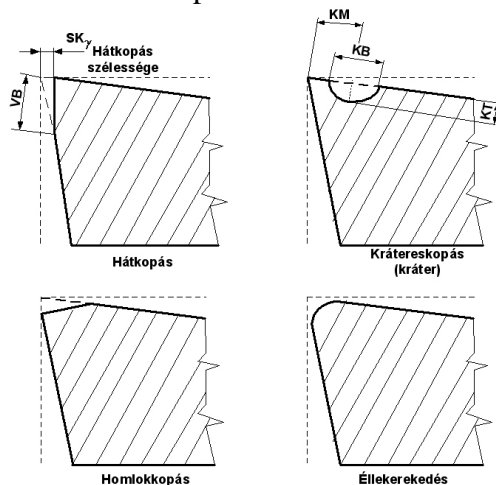
Ahogy azt már említettem, az élrátét akkor alakul ki, a bevonatos keményfémeken, ha a kohászati affinitás a szerszám és a munkadarab között erős, továbbá ha a fémátvitel egyirányú folyamatának feltételei és/vagy kényszerei adottak.

### Szerszámkopás

A kopások okairól általában mondható, hogy kis forgácsoló sebességeknél túlnyomórészt mechanikai kopások, nagy forgácsoló sebességeknél pedig termikus kopások lépnek fel.

- A mechanikai kopás a súrlódás következtében fellépő dörzskopás (abrazív és súrlódási kopás) és anyagkitöredezések (fáradás, hámlás).
- Termikus kopás a 400 °C feletti hőmérsékletnél lép fel erősebben. A kopás mechanizmusa diffúziós- és oxidációs folyamatok összessége, illetve anyagátvitel (adhéziós kopás) (Dudás 2001, Valasek 2003).

A szerszám melegszilárdsági határának átlépése után képlékeny alakváltozás alakulhat ki. A szerszámon kialakuló kopásformákat a 7. ábra mutatja be.



7. ábra A szerszámok tipikus kopásformái

KT- a kráteres kopásmélysége, KM- a kráterkopás középtávolsága, KB- a kráteres kopás szélessége, VB- a hátkopás mélysége,  $SK_\gamma$  - a hátkopás szélessége (Dudás 2001)

A kráterkopási viszonyszám:  $K_1 = \frac{KT}{KM}$  (Dudás 2001). (1.)

A kopások főbb fajtáit a következőkben ismertetem.

- **Hátkopás:** a fő- és mellék hátfelületeken alakul ki, mert a szerszám hátsó (szabad) felületén anyaglefordítás jön létre, amely a megmunkáló felület irányában növekszik és csúszik munka közben. A megmunkált munkadarab felületi minősége a hátkopás mértékének növekedésével arányosan romlik. Jelölése: VB.
- **Kráterkopás:** a homloklapon futó, leválasztott forgács egy teknőalakú mélyedést hoz létre. A nagymérvű kráterkopás a szerszámél tönkremeneteléhez vezet.
- **Homlokkopás:** a forgácsolás következtében létrejövő, a kráterkopás irányában növekvő anyageltávolodás.
- **Csúcskopás:** a szerszámcsúcs állapota a megmunkált felület minőségének egyik fontos meghatározója. A kedvezőtlen hőelvezetési adottságok miatt a csúcs gyakran az él leginkább igénybevett része, így gyorsabban is kopik. A csúcskopás (VC) növekedésével a felületi minőség is romlik.

A forgácsleválasztás közben az él környezete felmelegszik. A hőmérséklet növekedés következtében az él anyaga kitágulna, de a munkadarab hidegen maradt tömege ezt nem engedi, így viszonylagos feszültség alakul ki. Lehűléskor bizonyos veszteségekkel ennek a folyamatnak a fordítottja játszódik le. A maradó feszültséggel terhelt réteg mélysége lényegesen nagyobb az erősen torzult és így felkéményedett kéregnél, amelyben a hő és alakítás hatása összegződik.

A szerszámanyagokkal szemben támasztott alapvető követelményeket az 1.2. fejezetben tárgyalom részletesen.

### *Kopási folyamat*

A kopásfolyamat jellemzésére az ún. kopásösszefüggés szolgál, amely egyrészt leírja a kopás időbeni változását, másrészt figyelembe veszi a kopást befolyásoló tényezők hatását.:

$$\Delta = C_{\Delta} \cdot v_c^{Z_{\Delta}} \cdot h^{X_{\Delta}} \cdot b^{Y_{\Delta}} \cdot T^{\mu_{\Delta}} \quad (2.)$$

ahol:

- $\Delta$  - kopás (általában hátkopás) [mm]
- $C_{\Delta}$  - kopásállandó [mm]
- $Z_{\Delta}, X_{\Delta}, Y_{\Delta}, \mu_{\Delta}$  - kitevők [-]
- $v_c$  - forgácsoló sebesség [m/min]
- $T$  - éltartam [min]
- $h$  - forgácsszélesség [mm]
- $b$  - forgács vastagság [mm].

A (2.) tapasztalati összefüggés alkalmazása esetén: ha a független változók dimenzióit a fenti felsorolás szerint helyettesítjük be, akkor a kopás értékét mm-ben kapjuk.

Azt az időt, amelyet a szerszám – az elfogadott kopáskritériumnak megfelelő kopásnagyság kialakulásáig – forgácsolásban eltölt, szerszám élettartamnak nevezik (Dudás 2001).

Az élettartamidő lejáratakor a szerszám általában bizonyos fokig még rendelkezik a forgácsleválasztáshoz szükséges tulajdonságokkal, de a kopáskritériumban megfogalmazott követelmények egy részének már nem tud eleget tenni. Ezt bizonyítják az elvégzett kísérletek. A napjainkban alkalmazott eljárásnak köszönhetően megnőtt a szerszám élettartama (Wertheim et al. 1992, Dudás 2001).

Állandó kopássebességet feltételezve ( $\mu_{\Delta} = 1$ )

$$^* \Delta = v_{\Delta} = \frac{d\Delta}{dt} = C_{\Delta} \cdot v_c^{Z_{\Delta}} \cdot h^{X_{\Delta}} \cdot b^{Y_{\Delta}} \quad (3.)$$

A szerszámkopás sebessége jellemzi a szerszám forgácsoló képességét. A kopási sebességet a munkadarab és a szerszám anyaga, a szerszám élgeometriája, az alapvető forgácsolási tényezők, a korrekciós tényezők és az alkalmazott HKF-ok határozzák meg (Dudás 2001).

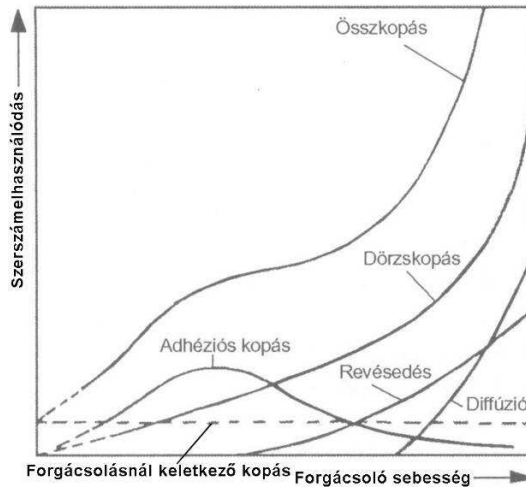
Az adhézió alapuló kopás tisztázatlan kérdései a következők:

- a szívósság szerepe és számszerűsítése
- megmunkálás során létrejövő felszíni keményedés hatása a kopásra
- nyírás alatt bekövetkező fázistranszformáció hatása a kopásra
- kristályszerkezet és dipólus jelleg befolyásoló szerepe
- a felszíni töredezésből hogyan alakul ki a kopási részecske és az hogyan vándorol (harmadik test problémája)
- felszíni feszültség akumulálódása és felszíni hámlások
- kifáradás
- az oxidréteg penetrálódása, deszorpciója és hogy
- milyen felületi „szennyeződés” gátolja meg a fémes érintkezést.

A szerszámelhasználódás mértékét a 8. ábrán látható kopástípusok és/vagy erdőjük határozzák meg. A forgácsoló sebesség függvényében különböző típusok eltérő módon változnak.

A forgácsoláson-, behatoláson alapuló kopási mechanizmus még nyitott és tisztázatlan kérdés, amelyre a jövő kutatásának kell megadni a választ.

Meg kell különböztetni: az abrazív kopást, a forgácsoláson alapuló barázdaképződést és az abrazív eróziót.



8. ábra Kopástípusok a forgácsoló sebesség függvényében

### A forgácsolóerő számítása

A forgácsoló erőt Kienzle, Victor (1957), Victor (1969) és Dudás (2000) által elkészített elv szerint számítjuk.

$$F_c = b \cdot h^{1-m} \cdot k_{c1,1} \text{ [N]} \quad (4.)$$

Az összefüggésben szereplő  $k_{c1,1}$ -ből a fajlagos forgácsolóerő:

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^m} \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (5.)$$

Ha a  $k_{c1,1}$  helyére a  $k_c \cdot h^m$  szorzatot helyettesítjük, akkor

$$F_c = b \cdot h^{1-m} \cdot h^m \cdot k_c = b \cdot h^{1-m+m} \cdot k_c = b \cdot h \cdot k_c \text{ [N]}$$

majd rendezve az összefüggést

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^m} = \frac{F_c}{h \cdot b} \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (6.)$$

ahol:

- $k_{c1,1}$ : az anyagvizsgálatoknál előforduló legnagyobb relatív alakváltozáshoz ( $\varepsilon = 1$ ) tartozó egységnyi forgácsolókeresztmetszetre ( $A = 1 \text{ mm}^2$ ) ( $h = 1 \text{ mm}$ ;  $b = 1 \text{ mm}$ ) vonatkoztatott forgácsolási erő
- $m_1 = \text{tg} \rho$  - politróp kitevő (9. ábra). A gyakorlatban előforduló értékei  $0,16 < m_1 < 0,26$ ,  $m_{köz} = 0,20$  ( $k_{c1,1}$  és  $m$  értékei a leggyakrabban alkalmazott szerkezeti anyagokra megtalálhatók a Valasek, Tóth 2003 melléklet 1. táblázatában).

A  $k_c$  értékeket a forgácsolóvastagság függvényében adják meg vagy a 9. ábra szerint kiszámítható. Kienzle, Victor (1957), Victor (1969) és Dudás (2001) az

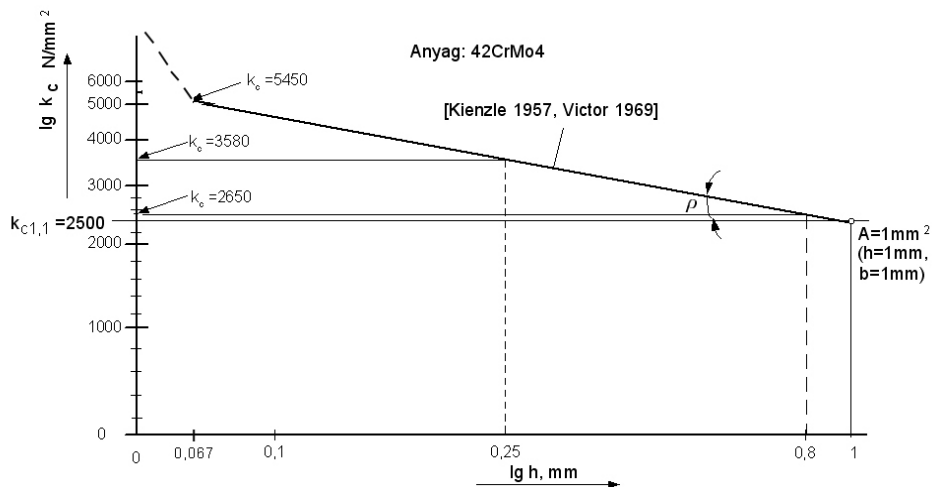
alapértékeket és az „ $m$ ” kitevőt mérések alapján anyagminőségként állapították meg. Ezt követően több kutató is ellenőrizte és pontosította ezeket az értékeket. A fajlagos forgácsolóerő elméleti értékei a forgács keletkezési helyére vonatkoznak.

A forgácsolás technológiai paraméterei és a forgácskeresztmetszet geometriai jellemzői közötti kapcsolatot a 10. ábra szemlélteti.

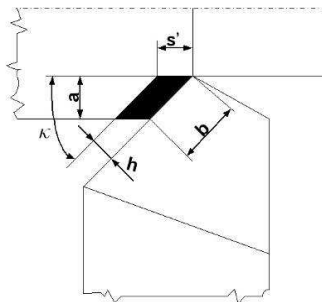
A 11. ábrán szereplő 42CrMo4-es szerkezeti acél fajlagos forgácsolóerő értéke – finom, normál és nagyoló – esztergálásnál és a hozzá tartozó fajlagos energiefelhasználás a következő (Kienzle, Victor 1957, Victor 1969, Dudás 2001):

Finom megmunkálás:	$h = 0,066 \text{ mm}$	$k_c = 5450 \text{ N/mm}^2$	$W_{sp1} = 5,450 \text{ Ws/mm}^3$
Normál megmunkálás:	$h = 0,250 \text{ mm}$	$k_c = 3580 \text{ N/mm}^2$	$W_{sp1} = 3,580 \text{ Ws/mm}^3$
Nagyoló megmunkálás:	$h = 1,000 \text{ mm}$	$k_c = 2500 \text{ N/mm}^2$	$W_{sp1} = 2,500 \text{ Ws/mm}^3$

A forgácsolási jellemzők változatlanul hagyása mellett a szerszám-elhelyezési szög ( $\kappa$ ) csökkenésével a forgácsolási erő nő és fordítva. A forgácsolási adatok között a fajlagos forgácsolóerő  $h = 0,05 - 2,5 \text{ mm}$  tartományban extrapolálható (Dudás 2001).

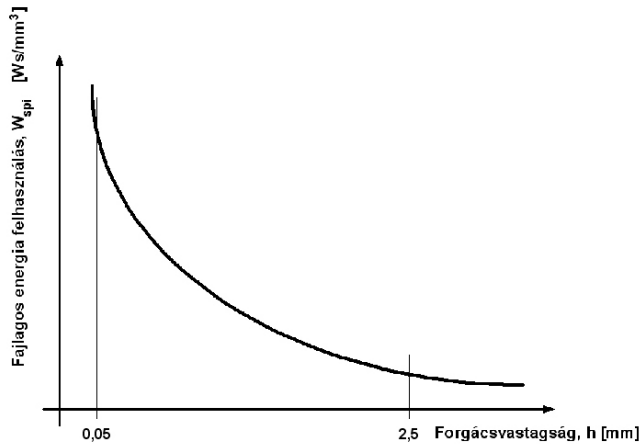


9. ábra Az  $\varepsilon = 1$ -hez tartozó  $k_{c1,1}$  és „ $h$ ” forgácsvastagsághoz tartozó  $k_c$  értékek (Kienzle, Victor 1957)



$$h = s' \cdot \sin \kappa, \quad b = \frac{a}{\sin \kappa}, \quad A = h \cdot b = s' \cdot a$$

10. ábra A forgácskeresztmetszet értelmezése és a  $\kappa$  elhelyezési szög



11. ábra A fajlagos energia-felhasználás jellege a forgácsvastagság függvényében

### A forgácsolás energiaszükséglete

A fajlagos forgácsolási energiafelhasználást általánosságban, mint a specifikus energiafelhasználást a leválasztott forgácstérfogatra vonatkoztatjuk. Ebből adódik a szerszámgépeknél, hogy

$$W_{sp1} = \frac{\text{Forgácsolási teljesítmény}}{\text{Idő egység alatt leválasztott forgácstérfogat}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{mm}^3/\text{s}} \right] \quad (7.)$$

Ha a (7.) összefüggésbe helyettesítjük a forgácsolási teljesítmény megfelelő értékét és a leválasztott forgácstérfogatot, akkor

$$W_{sp1} = k_c \cdot K \left[ \frac{\text{Ws}}{\text{mm}^3} \right] \text{ adódik} \quad (8.)$$

ahol:

- $k_c$  – a fajlagos forgácsolóerő (N/mm<sup>2</sup>)
- $K$  – a feszültség és az energia átszámítási állandója, mértékegysége:

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} \rightarrow 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J} \rightarrow 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm} \rightarrow 1 \frac{\text{Ws}}{\text{m}} = 1 \text{ N}$$

$$1 \frac{\text{Ws}}{\text{mm}} = \frac{1}{1000} \text{ N} \quad / \cdot \frac{1}{\text{mm}^2} \Rightarrow 1 \frac{\text{Ws}}{\text{mm}^3} = 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

vagyis

$$[K] = \frac{[W_{sp1}]}{[k_c]} = \frac{\text{Ws}}{\text{mm}^3} \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{N}} = \frac{\text{W}}{\text{N}} \cdot \frac{\text{s}}{\text{mm}} = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{N}} \cdot \frac{\text{s}}{\text{mm}} = \frac{\text{m}}{\text{mm}} = 10^{-3}.$$

A fajlagos össz energiafelhasználás a szerszámgép kialakításától függően (hatásfok, vezérlési mód, automatizáltsági fok stb.) lényegesen nagyobb. Több ku-

tató úgy véli, hogy a szerszámgépre vonatkoztatott érték kétszerese a forgácskeletkezési helyre számított elméleti értéknek (Degner et al. 1987).

Esztergálásnál  $W_{sp1}$  átlagos értéke  $\sim 3 \text{ Ws/mm}^3$ , így a szerszámgépre vonatkozó érték ennek a kétszerese, vagyis  $\approx 6 \text{ Ws/mm}^3$  (Degner et al. 1987)

$$W_{sp2} = \frac{W_{sp1}}{\gamma_{acél}} = 0,2 \text{ kWh/kg} .$$

A „kWh”-ra munkát célszerű energiára átszámítani, vagyis MJ-ra:

$$1 \text{ kWh} = 1 \cdot 10^3 \text{ Wh} = 1 \cdot 10^3 \cdot 3600 \text{ Ws} = 3,6 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 10^6 = 3,6 \text{ MJ} \text{ (Csengeri 1987).}$$

Emellett a szerszámgépre számított fajlagos energiafelhasználást, ha nem egy kg-ra, hanem 1 tonnára számítjuk, akkor

$$W_{sp2} = 200 \text{ kWh} \Rightarrow 720 \text{ MJ}$$

Ezt az energiamennyiséget átszámíthatjuk primer energiára, úgy hogy figyelembe vesszük az erőművek hatásfokát ( $\eta \approx 0,3$ , ez az összhatásfok a paksi atomerőműre vonatkozik, Homola 2002).

$$W_{sp3} = \frac{200 \text{ kWh}}{0,3} = 670 \text{ kWh} \Rightarrow 2400 \text{ MJ} = 2,4 \text{ GJ}$$

Abrazív megmunkálásnál az energiaszükséglet a forgácsoláshoz számított érték 10 szerese (Degner et al. 1987), vagyis 24 GJ.

Egy tonna rúdacél „Stabstahl” előállításához 27 GJ ún. metallurgiai energiát használnak fel. Az alkatrészgyártásban korábban úgy számoltak, hogy a forgácsolási veszteség 50 %.

Ma fegyelmezett technológia esetén a forgácsolási anyagveszteség 25-35 % között van (Degner et al. 1987). A fenti számítás azt jelenti, hogy 1 tonna alkatrész gyártásához 1,5 tonna „Stabstahl”-ra van szükség. 1 tonna alkatrész előállításához az összes energiaszükséglet tehát:

$$W_{sp\ddot{o}} = 1,5 \cdot \text{metallurgiai energia} + 0,45 \cdot \text{szabályos élgeometriájú forgácsolás} \\ + 0,05 \cdot \text{szabálytalan élgeometriájú forgácsolási energia}$$

$$W_{sp\ddot{o}} = 1,5 \cdot 27 + 0,45 \cdot 2,4 + 0,05 \cdot 24 = 42,78 \text{ GJ} \approx 43 \text{ GJ}$$

Ezzel az energiamennyiséggel 45 tonna szürkeöntvény olvasztható meg vagy megfelel 2 közepesen gépesített háztartás egy éves energiaszükségletének.

Ez a gondolatmenet és a bemutatott számítás arra mutat rá, hogy a forgácsolás rendkívül drága. Következtetesként tehát a következők állapíthatók meg:

- sokirányú kutató-fejlesztő tevékenység kell a forgácsolási technológia gazdaságosságának növelésére
- technológia és anyagválasztás lehetőségét kihasználva forgácsmentes technológiák részarányát növelni kell.

Az utólagosan végzett karbantartási rendszerek helyett a tervezőasztalra kell vinni a tribológiai ismereteket, ugyanis a tervezési fázisban valósítható meg legha-



tékonyabban a tribológia alapvető célkitűzése; a súrlódó elemek leépülésének lassítása ill. a hirtelen bekövetkező károk kiküszöbölése.

## 1.2. Szerszámanyagok fejlődése

Az alakító- és megmunkáló szerszámokat – művelet közben – rendkívül nagy erők és hőterhelések érik. A szerszámanyagokkal szemben támasztott fő követelmények:

- nagy (meleg)keménység a felületi kopás és képlékeny deformáció kiküszöbölése
- rendkívüli szívósság a törés elkerülésére
- a munkadarab anyagához viszonyított kémiai semlegesség
- nagy kémiai stabilitás az oxidáció és szilárd oldódás elkerülésére (pl. diffúziós kopás acél/gyémánt forgácsolásokor)
- termikus sokk okozta terheléssel szembeni jó ellenálló képesség, amit a hősokk tényező nagyságával jellemezhetünk. (A hősokk-tényező:

$$K_{H\sigma} = \frac{R_m \cdot \lambda}{E \cdot \alpha'} \quad (9.)$$

ahol:  $R_m$  – az anyag szakítószilárdsága, (N/m<sup>2</sup>);  $\lambda$  - hővezetőképesség, (W/mK);  $E$  - rugalmassági modulus, (N/m<sup>2</sup>);  $\alpha'$  - a térfogati hőtágulási együttható, (1/K)) (Valasek, Budinszki 2003).

A fent említett tulajdonságok eléréséhez külön acélfajtákat fejlesztettek ki, amelyek a következők:

- ötvöztelen szerszámacélok (MSZ EN ISO 4957:2000)
- ötvözött szerszámacélok (MSZ EN ISO 4957:2000)
  - hidegalakító szerszámacélok
  - melegalakító szerszámacélok
- gyorsacélok (MSZ EN ISO 4957:2000)
- keményfémek (DIN ISO 513).

Az ipar területén mostanában egyre inkább viták és tanulmányok tárgya a „száraz megmunkálás” témaköre. Mind gazdasági, mind környezetvédelmi tényezők hozzájárultak a száraz, illetve a minimális kenési körülmények között működő eszközök, berendezések használatának növekedéséhez. A gyártók folyamatosan keresik a megoldásokat a gyártási költségek csökkentésére, ugyanakkor a forgácsoló-folyadékot miatti környezetvédelmi problémák elkerülésére is (Horváth, Markos 1995, Rech et al. 2003, Müller 2002).

A megmunkáló, feldolgozó eljárások sokfélesége egymástól erősen eltérő igénybevételt gerjeszt a szerszámokban. Ebből adódik, hogy a sokszor egymásnak is ellentmondó – fizikai, fizikai-kémiai, stb. - követelményt (pl.: nagy keménység

és szívósság együtt) támaszt a szerszámok anyagával szemben. Ennek egyenes következménye, hogy a különböző szerszámanyagok éltartama eltérő és a megengedett forgácsoló sebesség is eltérő (Artinger 1993).

Szerencsére az anyagokról és így a szerszámanyagokról rendelkezésre álló ismeretek az utóbbi évtizedekben folyamatosan bővülnek. Az egyre mélyülő anyagtudományi ismeretek és az ilyen alapokon nyugvó technológiák kifejlesztése és alkalmazás tette és teszi lehetővé a jövőben is újabb, egyre korszerűbb szerszámanyagok megjelenését.

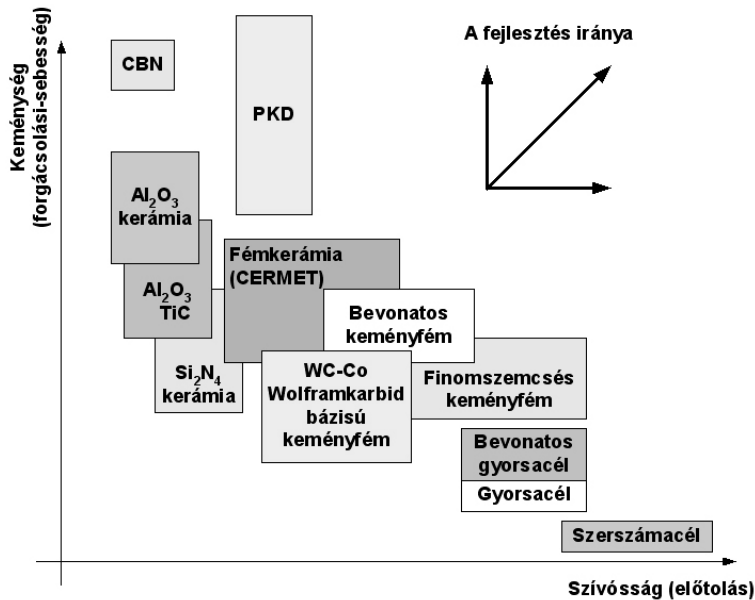
A célok eléréséhez a szerszámgyártók új bevonatok használatában lettek érdekeltek. A legújabb statisztikák szerint iparilag fejlett országok az összes megmunkálás ~ 80 %-át manapság bevonatolt szerszámokkal hajtják végre. Ma a piacon kapható bevonati rendszerek közül a gyakorlatban a titánium alapú vékony réteges megoldásokat alkalmazzák. Az így kialakított szerszámok kódolt tulajdonsága, hogy csökkentik a súrlódást és a kopást előidéző hatásokat (adhézió, diffúzió, revésedés, dörzskopás) (Bouzakis et al. 1999, Rech, Djouadi 2001, Grzesik 2001, Klocke et al. 2001).

A keményfém-szerszámmal történő megmunkálás problémája a munkadarab felületi rétegében az ún. újonnan edzett zónák kialakulása. Ezen zónák tulajdonságaira vonatkozó kijelentés és annak kihatásai az alkatrészek funkcionális tulajdonságaira ellentmondásosak (Spinting 1994).

A bevonati réteg mellett természetesen a szerszám geometriájának is meghatározó szerepe van a forgácsolási megmunkálásban. A forgácsolási folyamatban lerövidül a forgács és a homloklap közötti érintkezési úthossz, így csökken az energia-felhasználás és vele a súrlódás, továbbá a szerszám hőterhelése.

Az ideális forgácsoló anyagokat a nagy szívósság és hajlítószilárdság, valamint a kiváló kopásállóság jellemzi, a nagy forgácsoló sebesség-tartományban pedig a melegkeménységi tulajdonságok (Dudás 1993). A szerszámanyagok keménység-szívósság függvényében való csoportosítását a 12. ábra mutatja be (Dudás et al. 1993).

A **forgácsolhatóság** nem egy fizikai anyagtulajdonság, hanem sokkal inkább egy komplex technológiai fogalom, amit a megmunkálandó anyag fizikai és kémiai tulajdonságai mellett a gyártási mód szintje is jellemez (Taylor 1907, Kronenberg 1954). Ahhoz, hogy a munka eredményeként megkapjuk a tökéletes és hibátlan munkadarabot, számos más paramétert is figyelembe kell vennünk, melyek jelentős hatással vannak a forgácsolási folyamat optimálására (Dudás et al. 1995).



12. ábra A viszonylagos forgácsolási sebesség a viszonylagos előtolás függvényében

### Szerszámanyagok és bevonatok

A fémmegmunkálás, a forgács és a forgácsoló szerszám kapcsolata mindig az első helyen állt a súrlódási modellek fejlesztésében. A forgácsoló szerszámok geometriájának, a bevonatoknak és a hűtő-kenő anyagoknak az előzőekben leírt igénybevételeket kell elviselni. Ezért számos, a DIN/ISO 513 szerint felosztott forgácsoló anyag áll az alkalmazók rendelkezésére. A forgácsoló anyagok ezen felosztása nagyon fontos információkat tartalmaz, ma még azonban csak kevésbé alkalmazzák, mivel a jelentősebb szerszámgyártóknak saját elnevezéstára van (Degner et al. 1987, König 1990).

Ha acélok forgácsolásáról van szó, a kiválasztáskor az első helyen a bevonattal ellátott keményfémek állnak. Különösen esztergálásnál használják a bevonattal rendelkező keményfémeket, ennek aránya meghaladja a 75%-ot, marásnál és fúrásnál is ezek felhasználási részesedése a legnagyobb.

A legjelentősebb bevonóanyagok a titánkarbid (TiC), a titánnitrid (TiN), az alumínium-kerámia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) és a titánkarbonitrid (TiCN). Manapság terjedőben van még a gyémántbevonat és a  $\text{MoS}_2$ -dal előállított lágy anyagréteg (MOVIC) bevonatolás. A TiN, TiCN és TiAlN bevonatok hőszigetelése rosszabb, mint az alapanyagé, ezért ezeket a rétegeket többnyire  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -dal, mint többrétegű bevonatot alkalmazzák (Dudás 2001).

A keményfémek bevonatához többnyire a CVD és a PVD technológiákat alkalmazzák.

Itt kell megemlíteni a CBN-t (kőbős bórnitrid), amelynek igen nagy a meleggkeménysége, megközelíti a gyémánt keménységét. Hőállósága kétszer nagyobb, mint a gyémánté, kémiaailag stabil. Alkalmas vasalapú anyagok, acélok, öntöttva-

sak, keményötvözetek, edzett acélok simító- és félsimító megmunkálására; sok esetben a köszörülést is helyettesíti (Dudás 2000).

A bevonatok mellett természetesen a váltólapka-geometria kiválasztásának is döntő hatása van a forgácsalakra. Ez a kialakítás a forgács és a váltólapka közötti érintkezési hosszt csökkenti. Ebből adódóan a forgács és a szerszám között kisebb a súrlódás és a szerszámra történő hőátvitel is csökken (Bartz et al. 2000).

Az utóbbi időben vita folyik a forgácsolási folyamatokban felhasznált hűtőkenő anyag mennyiségének csökkentési lehetőségeiről. Az világos, hogy ezáltal a szerszámok jelentősen nagyobb követelményeknek felelnek meg.

A különböző forgácsoló anyagok lényeges tulajdonságait szabványok és ajánlások foglalják össze (VDI 3397-1, VDI 3397-2, VDI 3397-3).

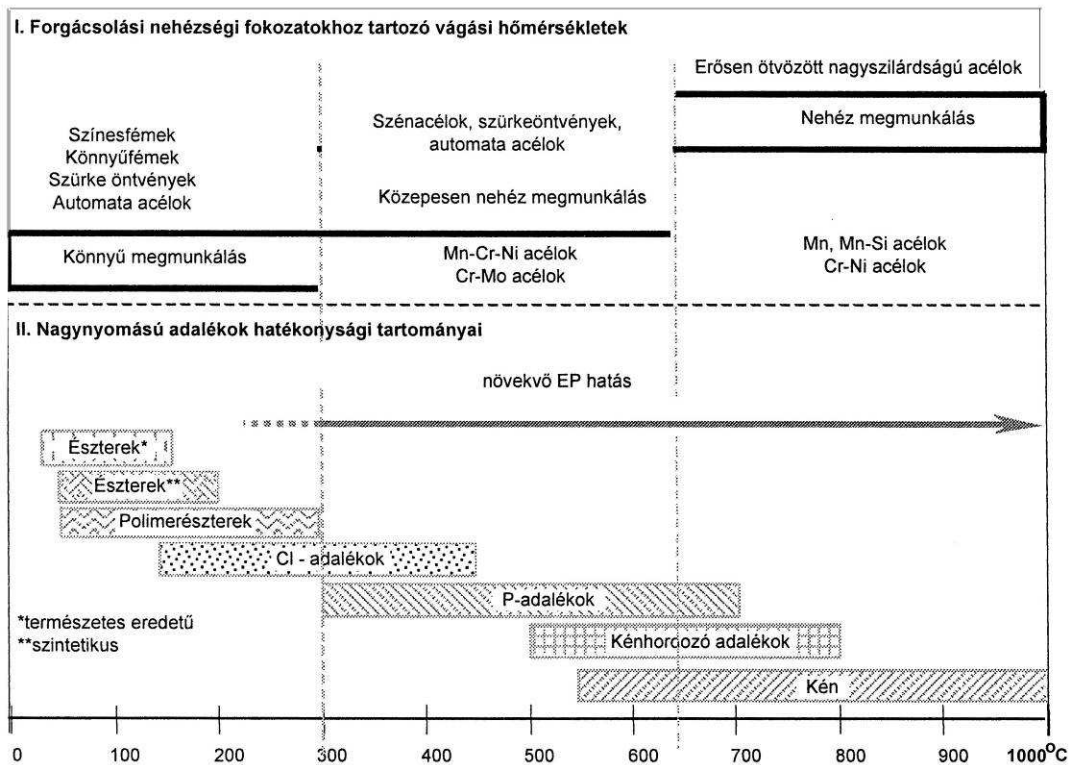
### *A különböző anyagok megmunkálhatóságai*

Általános szerkezeti acélok alatt (pl. St 37, St 52) ("St" Stahl, az acél szó rövidítése) értjük azokat az anyagokat, amelyek mechanikai tulajdonságait illetően a legkisebb értékekkel jellemezhetjük. A gyakorlatban ezeket, az acélokat alkalmazzuk, ha a szerkezet kialakítása nem támaszt semmiféle különleges igényt (König 1990).

Az acélokat az ötvözők szerinti felosztáson túlmenően alkalmazási területük szerint osztályozzák:

- automata acélok (a gyakran használt automata acélok tulajdonságait a DIN 1651, 1988. tartalmazza)
- betétben edzhető acélok
- nemesíthető acélok
- nitridálható acélok
- szerszámacélok
- edzett acélok,
- rozsdamentes és a
- melegszilárdságú és nagyon hőálló acélok, stb.

A jó forgácsolhatóság eléréséhez a mangánszulfidoknak a szövetszerkezetben egy bizonyos mennyiséget és összetételi sűrűséget (MnS mennyisége/felületegység) kell felmutatni (Becher 1985). A következő 13. ábra mutatja a HKF-okban legelterjedtebben alkalmazott FM-, AW- és EP-adalékokat.



13. ábra I. Forgácsolási módok termikus hatása, II. Adszorpciós és kémiai aktív adalékok hatékonysága (Valasek, Tóth 2003)

A következőkben, a fent említett acélok közül a kísérleteimhez választott acél tulajdonságait és forgácsolhatóságát írom le röviden.

### Nemesíthető acélok

A nemesíthető acélok széntartalma 0,2 - 0,6 %. Emiatt nagyobb a szilárdságuk mint a betétedzésű acéloknak (Walter 2001). A nemesíthető acélokat forgácsolhatóságuk javításához hőkezelní kell kis szilárdságra és viszonylag csekély szívósságra. Azonban a hőkezélést főként a későbbi felhasználási célhoz kell illeszteni és csak ritka esetekben kell az optimális forgácsolhatósággal összhangba hozni. Sok esetben a nemesítést a nagyoló és simító megmunkálás között végzik el. A nagyoló megmunkálást a normalizált anyagnál végzik, amelynek forgácsolhatóságát a viszonylag csekély szerszám kopás jellemzi. A nemesített szövet forgácsolása erős szerszámkopást okoz. A forgácsolhatóság jelentősen javítható kén (0,05 - 0,1 %) hozzáadásával (König 1990).

A nemesített acélokat az autó- és repülőgépiparban közepes igénybevételű alkatrészekhez használják. Az iparban gyakran alkalmazott anyagok: Ck 45, 42CrMo4, 30CrMoV9 vagy 36CrNiMo4.

### 1.3. Szerszámgépek fejlődése

A párizsi világkiállításon (1900) bemutatják a – Frederick Winslow Taylor és Maunsel White amerikai mérnökök által kifejlesztett – gyorsacélt. Amikor a meglevő szerszámgépeken elkezdték használni a gyorsacél szerszámokat, kiderült, hogy a gépek szilárdsága és merevsége nem megfelelő, nem bírja a fokozott igénybevételt. A meginduló korszerűsítés eredményei a szilárdabb, merevebb, könnyebben kezelhető, nagyobb teljesítményű gépek lettek.

Az 1920-as évek végén szinte ugyanez ismétlődött meg, amikor a - gyorsacélnál 5-10-szer nagyobb teljesítményű – keményfémeket kezdték alkalmazni.

A gazdaságos termelésre való törekvés miatt a gépi mellékidők csökkentése volt az egyik fő fejlesztési terület, tehát csökkenteni kellett a szerszám és munkadarab cseréjére fordított időt, valamint fejleszteni kellett a gép kezelhetőségét és beállíthatóságát. A másik fejlesztési irány a szerszám gazdaságos éltartama volt. Mindezek oda vezettek, hogy a hajtóművekkel egyre finomabb fordulatszámot lehetett elérni, megjelentek a fokozat nélküli hajtóművek. A szerszámok gyors cseréjét többféle szerkezet tette lehetővé.

Az 1920-as évekre a transzmissziós hajtás elavult, helyette minden gép egyedi hajtást kapott. A szerszámgépek meghajtásában szinte egyeduralgó lett a villamos motor. Villamos motor működtette ezentúl a fő- és mellékmozgások tengelyeit, szánjait.

Nagy áttörést jelentett az 1960-as évektől kezdve a számvezérlés azaz NC (Numerical Control) technikai bevezetése, majd a programvezérlés, a CNC (Computer Numerical Control) megjelenése, azonban a szerszámgépek fejlődése nem állt le a CNC technikával, hanem azóta is töretlenül fejlődik.

A kutatási területek közül az egyik a gyorsforgácsolás, amihez sokkal masszívabb, merevebb gépek szükségesek, amelyek biztosítják, hogy a marószerszámok még több tízezres fordulatszámnál se keltsenek rezgéseket.

#### *A szerszámgépfelállítás főbb irányzatai*

- A hagyományos szerszámgépkonstrukciók morfológiai átalakuláson mennek át főként a vezérlés képességeihez igazodó mozgáslehetőségek megvalósítására:
  - az esztergaközpont az esztergákra jellemző tulajdonságok mellett képes úgy működni, mint egy körasztalos fúró-maró megmunkálóközpont (4D-s megmunkálás esztergaközponton)
  - fúró-maróművek orsófeje önállóan vagy más mozgásokkal összehangoltan billenthető függőleges/vízszintes vagy akár más helyzetbe → eltűnik a vízszintes vagy függőleges jellege a gépnek, megvalósítható 5D-s megmunkálás
- általánossá vált a szerszámgépen végzett (tapintós vagy tapintó nélküli) mérés, állapot- és folyamatfelügyelet

- a gyártók a csupasz alapgépek mellett kínálják a rendszerépítést megkönnyítő komplett konfigurációkat (MAP interfész, szerszámtár, munkadarab vagy paletta tároló-cserélő egység, mérési lehetőség a szerszámgépen, állapot- és folyamat felügyelet, robotos kiszolgálás, stb.)
- új megmunkálási módok a szerszámgépeken (lézeres, vízsugaras), megvalósítható – CNC vezérléssel – a lézeres hőkezelés a szerszámgépen
- a megmunkálóközpontoknál:
  - a fúróegység mozgásának a sebességét növelték
  - további cél a forgácsolási idő csökkentése (pl.: mikrokristályos kerámia alumínium új szerszámanyagok alkalmazásával, különösen köszörlésnél)
- növekvő tendencia mutatkozik a digitális kapcsolat alkalmazása terén, amely a hajtás és az NC-vezérlés között van, és a sebessége 32 megabit/s és a szinkronizálási térése 0,5  $\mu$ s
- újdonság a 3D-s alkalmazásnál a hajlítóberendezés
- Hexapod-rendszerű 1  $\mu$ m-es beállási pontosság a robotok között
- az alakító-technológiák gépei cellaszerű kialakításban is megjelennek
- a kiszolgálás (pl.: munkadarab- illetve szerszám „adagolók”) moduljai számítévek (Dudás 2001).

A szerszámgépekhez kapcsolódó hűtő-kenő folyadék ellátó rendszerek lehetnek:

- egyedi
- központi
- csoportos „anyaközpontos”

rendszerek.

#### **1.4. A hűtő-kenő folyadékok fejlesztése és üzemi kezelése**

Az első magyar hűtő-kenő folyadék konferenciára 1969-ben került sor a Magyar Kémikusok Egyesülete, a BME Gyártástechnológia Tanszék és a NAKI (Nagynyomású Kísérleti Intézet) közös rendezésében Esztergomban.

A nemzetközi konferencián a 80 fő hazai szakember részvétele mellett 8 országból 40 külföldi - főleg német, lengyel, cseh - szakember vett részt. A konferencia programjában a hűtő kenő folyadékok műszaki jellemzői mellett, tág teret szenteltek az emulziók „hétfői бүdösödésének” okainak elméleti tisztázása. Lényegében a 3 napos konferencia munkáját két szekcióban végezte.

- a hűtő-kenő folyadékok fejlesztése kémiai és géplaboratóriumi vizsgálata
- az emulziók üzemi károsodása, különös tekintettel a biológiai elfertőződésükre.

A konferencia mérföldkőnek számít a HKF-ok fejlesztésében, ugyanis a fő-

leg a megmunkáló üzemekben empirikus alapon végzett termékfejlesztés, tudományosan megalapozott fejlődése Magyarországon ezzel a konferenciával kezdődött el.

#### ***1.4.1. A hűtő-kenő folyadékok fejlesztése kémiai és géplaboratóriumi vizsgálata***

A hűtő-kenő folyadékok a fémek megmunkáláshoz – forgácsolási és forgácsmentes alakítás – használt speciális segédanyagok. A segédanyag elnevezés abból adódik, hogy a HKF-ok szerepe a megmunkálásban közvetett, vagyis a végeredményben nem található meg. A kezdetekben vizet, majd a jobb kenést biztosító olajat és szintetikus oldatokat használtak.

A gyártástechnológia termelékenységének növelése szükségessé tette, hogy mind kenő-, mind pedig a hűtőhatás növekedjen, de javuljon az oldatok mosóhatása is. Ez az igény vezetett el az olaj-a-vízben (O/W) emulziók kifejlesztéséhez.

A felület minőségére, alak- és mérethelyességre való törekvés, vagy a nehezen megmunkálható anyagok alkalmazásba vétele mind azt jelentik, hogy a fém-megmunkáló folyadékok szerepe a jövőben sem csökken legfeljebb hangsúlyátelvezések következnek be.

A gyártási eljárások sok tribológiai követelményén felül, a fémmegmunkáló HKF-ok fejlesztőinek optimálniuk kell az oldatok tulajdonságait, biztosítani kell a rendszerben illeszthetőségüket. A környezeti, biztonsági és egészségügyi jellemzőit pedig pontosan meg kell határozni és nyilvánossá kell tenni (Kipp, Riddle 1992) .

##### *Hűtő-kenő folyadékok feladatai*

A szerszám és a munkadarab közötti súrlódás alapvetően a következő tényezőktől függ: a munkafolyamat paramétereitől, a forgácsolószerszám geometriájától és a szerszám anyagától, a forgácsolás közben ébredő erőktől, a szerszám és a munkafelület közötti nyomástól, a munkafolyamat alatt keletkező hőtől és eloszlásától, az érintkezési felület hőmérsékletétől és az alkalmazott HKF-ok minőségétől (Kaldos 1997). A különböző forgácsolási technológiáknál a HKF alapvető funkcióinak súlyozott szerepe folyamatos változásban van.

A fémmegmunkálásban a hűtő-kenő anyag feladata az, hogy a felesleges alakítási- és súrlódási hőt elvezesse, azaz hűtsön, és a szerszám és forgács valamint a szerszám és munkadarab között az érintkezési helyeken fellépő súrlódást és kopást csökkentse, azaz kenjen (Valasek, Tóth 2003).

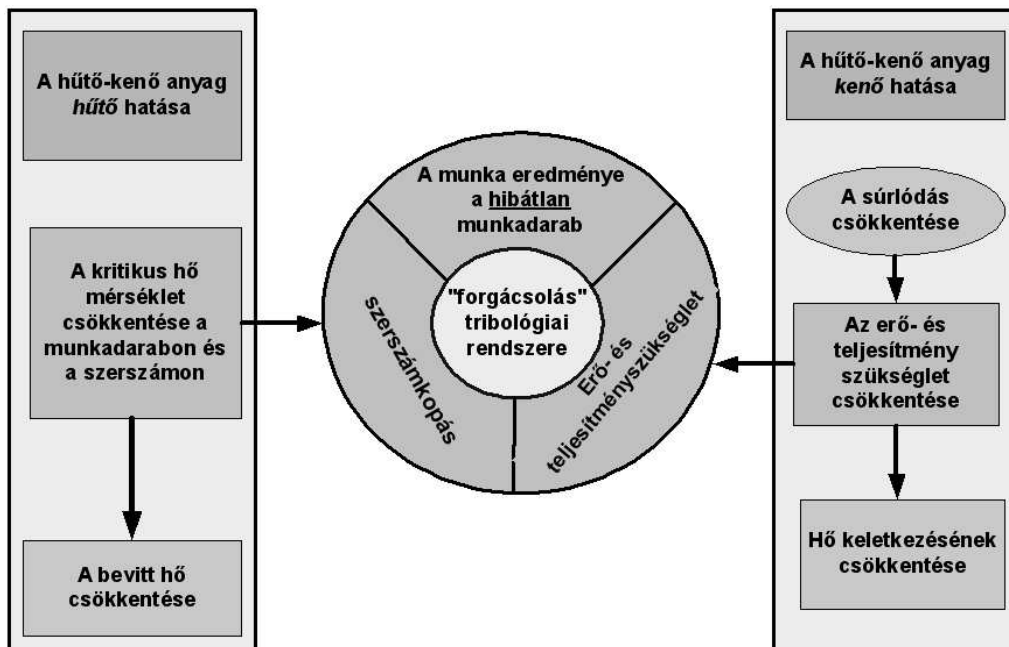
A hűtés és kenés a hűtő-kenő anyagok fő működési területét jelentik amit a 14. ábrán a forgácsolás tribológiai modelljében mutatom be (Valasek 1996).

A funkciók harmonizálásával a szerszámok kopását hatékonyan lehet csökkenteni, azaz élettartamukat ( $\approx$  élettartamukat) meghosszabbítani, és a munkadarab felületi minőségét javítani.

A fő funkciók között közvetlen, vagy közvetett különböző erősségű kölcsönhatások állnak fenn pl.: a hővé átalakított **forgácsolási teljesítmény** csökkenése jó kenőhatás révén közvetlenül hat a hűtési funkcióra, kevesebb hőt kell elvezet-



ni. Megfordítva, a forgácsképződés zónájának erősebb hűtése a megmunkálható anyag alakváltozási szilárdságának növekedéséhez és ezáltal az erő- és teljesítményigény növekedéséhez vezethet (Müller 2002, Müller, Joksch 2003).



14. ábra A hűtő-kenő folyadékok alapfeladata a forgácsolásnál

A szerszám éltartamának meghosszabbítása a szerszám -, és így általában a megmunkálási költségeket csökkenti. A csekélyebb szerszámkopáson keresztül egyúttal javul a megmunkált munkadarabok felületi minősége, méret- és alakhűsége (Igaz J. et al. 2007).

Az előírt megmunkálási tűrések betarthatók a munkadarab felszíni és felszín közeli molekulák rezgési amplitudójának korlátozásával, vagyis a hőmérséklet csökkenésével, aminek következtében a sugárirányú méretváltozás csökken és egyenletessé válik (Walter A. 2001).

Ebbrell (Ebbrell et al. 2000) szerint a hűtőfolyadék jótékony hatása az ipari szektor több területén is jelentkezik, bár felhasználási módja gyakran nem megfelelő, ezzel jelentős anyagi veszteséget idéz elő. A hűtő-kenő anyag kenés és hűtés melletti további feladatai a forgács lemosása és elszállításának megkönnyítése.

A HKF-ok háromra bővült alapkövetelményeit a 15. ábrán mutatom be, a különböző típusú anyagok hatékonyságának figyelembe vételével.

A hűtő-kenő folyadékok legfontosabb tulajdonságai	Hűtő-kenő folyadék			
	Olaj	Emulzió -tejszerű -tanszparens	Félszintetikus	Szintetikus
KENŐHATÁS	←—————→			
HŰTŐHATÁS	—————→			
MOSÓHATÁS	—————→			

15. ábra Hűtő-kenő folyadékok legfontosabb tulajdonságai

A HKF-okkal szemben támasztott három alapkövetelmény súlyozott szerepének sorrendje is megváltozhat (3. és 4. táblázat).

3. táblázat Technológiától függő változás

Művelet	Fontossági sorrend		
	1	2	3
esztergálás (főleg emulzió)	hűtés	kenés	mosás
fúrás	kenés	mosás	hűtés
marás (főleg kenőolaj)	kenés	hűtés	mosás
üregelés (főleg adszorpciós adalékolású vágóolaj)	kenés	hűtés	mosás
köszörülés (főleg emulzió, az utóbbi időben terjedőben vannak a kis viszkozitású specifikus olajok)	mosás	hűtés	kenés

4. táblázat Anyagtól függő sorrend változás

Művelet	Fontossági sorrend		
	1	2	3
köszörülés			
hosszú forgács képződik (kenőolaj visszahűtéssel)	kenés	mosás	hűtés
rövid forgács képződik (~2 tf%-os emulzió)	mosás	hűtés	kenés
gömb és lemezgrafitos öntöttvas megmunkálása bármely technológiánál	szárazon		

(Bartz et al. 2000, Valasek, Tóth 2003)

A táblázat világosan mutatja, hogy a különböző alapanyagok a legfontosabb követelményeket tendenciózus jelleggel, de változó mértékben elégtik ki.

A szerszám és a munkadarab közötti behatási helyen lévő öblítőhatás kis viszkozitású hűtő-kenő anyagokkal és nagy nyomású öblítéssel javítható (pl.: a gömb és lemezgrafitos öntöttvas megmunkálása) (Brinksmeier, Heinzel 1995).

A HKF-oknak további ún. másodlagos feladatai is vannak, ahogy azt a 16. ábra mutatja.

A 15. ábrán bemutatott alap és a 16. ábrán bemutatott járulékos követelmények együttesen határozzák meg a végtermék követelményrendszerét, ami az alapolaj típusától és tulajdonságaitól továbbá a funkcionális adalékok típusától, mennyiségétől, fizikai-, kémiai és termodinamikai tulajdonságaitól ill. ezek kölcsönha-

tásaitól függenek, figyelembe véve a tárolás és felhasználás közbeni változások jellegét, irányát és nagyságát.



**16. ábra** A HKF-okkal szemben támasztott további feladatok és követelmények (Bartz et al. 2000)

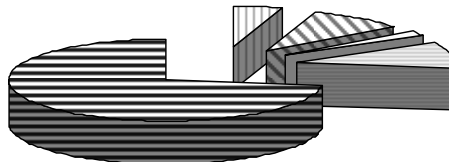
Fontos feladata a hűtő-kenő anyagoknak, hogy egyes technológiáknál – pl.: öntvény megmunkálás – a keletkező port megkösse. A megmunkálások után az összegyűjtött hűtő-kenő folyadékhoz természetesen még apróbb fém szennyeződések és porok tapadnak. (Igaz 2004)

Esetenként az emulzió intenzíven oldja a szerszámgép festékbevonatát, amely oldódik a hűtő-kenő folyadékban, és a gépen ragacos maradványok képződéséhez és a szűrő eltömődéséhez vezet. (Igaz, Pintér, Kodácsy 2007)

A legfontosabb adalékanyagok a következők: emulgeátorok, kenőképesség javítók, EP (nagy nyomásálló) adalékok, korróziógátlók, baktericid- (baktériumölő) és fungicid (gombaölő) adalékok. Speciális HKF-ok összetételére a 17. ábra ad útmutatást.



- Víz 90%
- Növényi olaj(kenőképesség-javító) 1%
- EP/AW-adalék (S:15%, P:8%) 1%
- Ásványolaj finomítvány 5%
- Petróleum-szulfonát alapú emulgeátor-korróziógátló 3%



- Észterolaj (kenőképesség-javító)5%
- S-P különféle variációkban (EP/AW)10%
- Poliszulfid(40% aktív kén)2%
- Szuperbázikus Na-szulfonát (EP/AW)10%
- Ásványolaj finomítvány (ISO VG 8-12)73%

a.)

b.)

**17. ábra** Speciális hűtő-kenő folyadékok összetétele

a.) vízzel keverhető emulzol (fűrés); b.) vízzel nem keverhető aktív felületmódosító adalékot (MF) tartalmazó vágóolaj (mélyfűróolaj – klórmentes -)

*A HKF-ok osztályozása és felépítésük*

A HKF-ok gyakorlatban legelterjedtebb két osztályozási rendszer:

- az ISO 6743 Fémmegmunkálási segédanyagok M család
- DIN 51385-1981-11 (Magyarországon ismertebb).

A hűtő-kenő folyadékok alkalmazásának célja az optimális megmunkálási feltételek biztosítása és a tartalékok kiaknázása. A megmunkálási költséghez viszonyítva a HKF költsége relatíve alacsony, mégis a helyes megválasztásával a gyártási folyamat és a gyártmány gazdaságossá, nem megfelelő megválasztásával gazdaságtalanná tehető. (Diekho 1987, Weinert 1999, Klocke, Gerschwiler 1996)

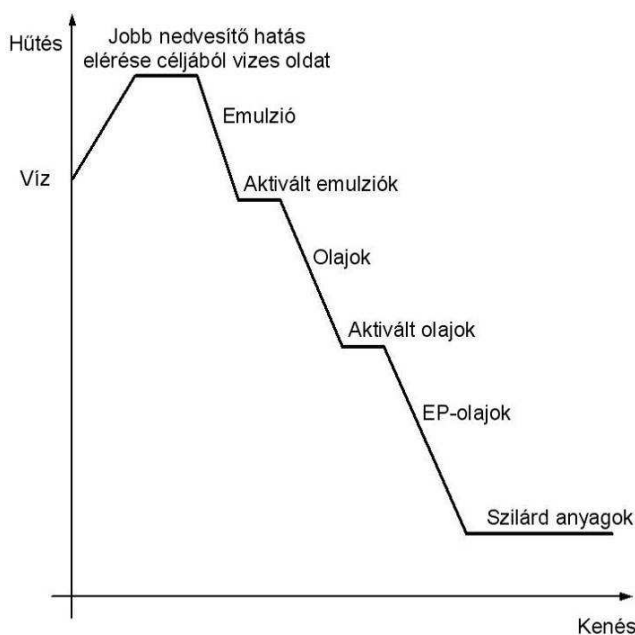
A HKF-ok előzetes kiválasztásánál az alábbiakat kell figyelembe venni (Valasek, Tóth 2003):

- száraz- vagy nedves megmunkálás (5. táblázat)
- vízzel nem, vagy vízzel keverhető hűtő-kenő folyadékok
- emulgeálható vagy vízdoldható hűtő-kenő folyadékok.

**5. táblázat** Száraz- és nedves megmunkálás tipikus területei

Száraz megmunkálás	Nedves megmunkálás
Könnyen megmunkálható anyagok (szürke öntvények, könnyű- és színesfémek), amelyeknél a megmunkálási eljárás során a szerszámterhelés egyenletes.	Acélok vagy más nehezen megmunkálható anyagok (szénacélok, Cr-Mo ötvözetek, Ti ötvözetek, Cr-Ni acélok stb.).
Részbem keményfém szerszám alkalmazása esetén, ha a szerszám és a munkadarab között a kohászati affinitás kicsi	A szerszám a megmunkálási eljárás alatt végig nagy terheléssel dolgozik.
Túlnyomórészt forgácsoló-kerámia szerszám alkalmazása esetén.	Automata megmunkálások.
	Minden szabálytalan élű megmunkálás (köszörülés, hónolás, leppelés stb.)
	Nagy szériás megmunkálások.

A különböző típusú hűtő-kenő folyadékok hűtő- és kenőhatásának változását a 18. ábra szemlélteti



**18. ábra** A hűtő-kenő folyadékok elvi rendszerezése hűtő- és kenőhatásuk alapján

Ha a forgácsoló megmunkálásnál a jó hűtés követelménye áll előtérben, akkor vízzel keveredő hűtő-kenő anyagot kell alkalmazni. Ez a megállapítás nem érvényes a fogaskerékgyártásnál, hiszen ott a hősokk és a gyorsacél szerszám miatt vágóolaj látja el a kenési és hűtési funkciót. A víz jó hűtőhatását az olajéval szembeni nagyobb fajhője, jobb hővezető-képessége, hőátadási együtthatója nagyobb párolgási hője biztosítja (Valasek 1996, Dudás 2001).

Sokat írtak a tribológia műszaki irodalmában a különböző fémmegmunkáló folyamatok különféle kenő szerkezeteiről vagy a különböző fémmegmunkáló adalékok hatékonyságáról és eredményességéről.

Schey (1967) mutatja meg némi részletességgel néhány fémmegmunkáló kenőanyag célját és tulajdonságait.

Azonban – sajnos – kevés tájékoztatás jelenik meg arról, hogy milyen módon lehet ezt a műszaki információt egy kenőanyag fejlesztési programba beépíteni (Ebbrell et al. 2000).

A tribológiai folyamat természete az érintkezési felületek nagy hőmérséklete és a nyomás miatt nagyon összetett. Az érintkezés létrehozása során a részecsketömeg átvitele a szerszámtól a munkadarab anyaga felé és a hűtőfolyadékba, a munkadarabtól a szerszám felé és a hűtőfolyadékba valamint a hűtőfolyadékból a szerszám és a munkadarab felé történik.

A tribológia szerepe az elmúlt 25 év során a különböző eljárásoknál megnőtt különösen a gépgyártástechnológiai eredményekben mutatkozik meg. A hűtőfolyadékok hatásosságának vizsgálata számos kutatási projekt témája volt, az eredményeket szakelőadások és cikkek nagy számban 1994 -től folyamatosan jele-

nik meg a szakirodalomban (Rakič 1994, Rakič 1995, Alaxender et. al.1998).

### Hűtő-kenő folyadékok adalékai és azok hatásmechanizmusa

A HKF-ok gyártásánál 16 anyagosztályba sorolható mintegy 500 különböző karakterű funkciót-, tulajdonságot vagy képességet javító vegyi anyagot, adalékot használnak. Ezek közül - szorpciós és a disszertáció szempontjából - a határkenést biztosító adalékok a legfontosabbak (6. táblázat).

**6. táblázat** Hűtő-kenő folyadékok határkenést biztosító adalékai (Valasek, Tóth 2003)

Adaléktípus (szokásos megnevezés)	Vegyülettípus	Határréteg kialakulásának mechanizmusa	Jellemző alkalmazási területek
<b>Kenőképesség-javító</b> (súrlódásmódosító, FM: friction modifier)	természetes eredetű glicerín-észterek (zsirosítók)	adszorpció ↓ kemiszorpció ↓ kémiai reakció	minden fém forgácsolásához és képlékeny alakításához
	szintetikus észterek		különösen könnyűfém megmunkálásához
	C <sub>16</sub> – C <sub>20</sub> alkoholok		elsősorban alumínium hideghengerléséhez
	C <sub>16</sub> – C <sub>20</sub> telítetlen zsírsavak		különösen könnyűfém-alakítási műveletekhez
<b>Kopásgátló</b> (AW: antiwear)	Zn-dialkil-ditiofoszfátok hamumentes foszfor vegyületek (pl.: trialkil-, triaril-foszfát, aminnal semlegesített foszforsav-észterek, ditiokarbamát származékok)		elsősorban vasfémek forgácsleválasztással járó megmunkálásaihoz
<b>Nyomás-álló</b> (nagynyomásra EP: extreme pressure)	klórparaffinok szulfoklórozott vegyületek		vasfémek forgácsolásos vagy forgácsmentes alakításához, amennyiben műszakilag indokolt
	kénezett észterek/zsírsavak kénezett szénhidrogének poliszulfidok		általános vágáshoz és alakításhoz (nehéz megmunkálási körülmények) Aktív típus: csak vasfémekhez Inaktív típus: minden fémhez
<b>Új típusú adalékok</b> (klórhelyettesítők)	polikarboxilátok (polimerészterek)	adszorpció/ kemiszorpció	univerzális, forgácsolásához és képlékeny alakításhoz, különösen Al és Mg megmunkáláshoz
	szuperbázikus Ca és Na szulfonátok	Egyéb <sup>(1)</sup> PEP-Passive Extreme Pressure	klórhelyettesítők, S-hordozó adalékkal együtt vasfémek legnehezebb megmunkálásaihoz is

<sup>(1)</sup> Az adalékban lévő kristályos Ca-, ill. Na-karbonát határrétegben való koncentrációja

A fémforgácsolásoknál általában olyan nagy a nyomás a szerszám és a munkadarab között, hogy a spontán kialakuló részleges hidrodinamikai kenést nem lehet fenntartani, ezért **határ-** és **EP-kenés** kialakulásával számolhatunk (Batolome 1981). Ebből kifolyólag a súrlódó felületek között az elválasztó filmet más formában kell létrehozni. A határkenésnél a kenőanyag film túlságosan vékony, így nem biztosítja a felületek teljes elválasztását. A nagyobb felületi kiemelkedések összeérnek, ezzel növelve a súrlódási ellenállást. A súrlódás csökkenést az érintkezési pontok nyírószilárdságának csökkenésével érjük el (Diniz et al. 2003).

Magában a reakciórétegben jön létre a súrlódás, ezért a „**reakciórétegben létrejövő kenés**”-nek nevezzük. Jellemzője, hogy az adhéziós feltapadást megakadályozza, azon az áron is, hogy a súrlódási ellenállás kis mértékben megnő (Valasek 2002). Ha kis hőmérsékleten reaktív az adalék, akkor korróziót is előidézhet.

Az aktív komponens olyan formában és mennyiségben legyen jelen, hogy csak az adott műveletnél várható hőmérsékleten aktivizálódjon. Runge és Duarte (1990), valamint Motta és Machado (1995) szerint is a hűtő-kenő folyadékok egyik funkciója (a szerszám és a munkadarab hűtésén túl), hogy az érintkezési zónában a szerszám kenését biztosítsa és az adhéziós kopást csökkentse.

Másik jelentős adalék még az EP adalékok mellett az **AW adalékok**, amelyek a felületen csak adszorpciós réteget képeznek.

Az adszorpciós rétegek esetében a hűtő-kenő anyag poláris hatóanyagai fizikai erők következtében lerakódnak a fém felszínén és a tömör tömítés (dichte Packung) és rendezett szerkezet révén egy jó csúszási tulajdonságú kenőréteget képeznek, ennek hatására a súrlódás és a kopás is jelentősen csökkenthető. Ezen elv szerint hatnak a poláris és lényegében az AW adalékok is. Ugyancsak adszorpciós adalékként működnek az **FM** (súrlódás módosító) – **adalékok**.

A fémfelszín és a hűtő-kenő anyag között nem megy végbe kémiai reakció, ami azonban az AW adalékoknál nem zárható ki teljes egészében (Möller, Boor 1986). Erősen ötvözött acél felületén kialakuló ad-, és kemisorpció rétegvastagság eloszlását mutatja a 19. ábra.

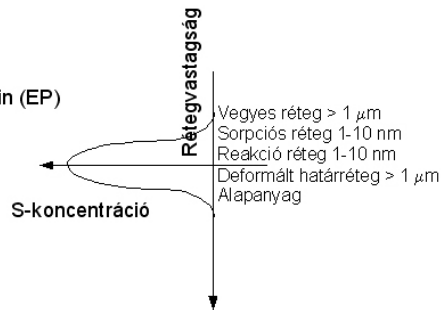
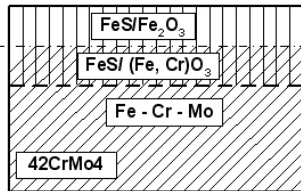
Fémforgácsoláskor többek között adszorpciós- és diffúziós folyamatok, fázisátalakulások, hő- és súrlódáskémiai reakciók, szövetszerkezet-változások, újkristályosodás miatti szilárdságcsökkenés, képlékeny alakváltozás miatti keményedés játszódik le. Így e folyamatokon keresztül következik be a súrlódás- és kopás-csökkentő réteg kialakulása a felületen (Tönshoff, Roethel 1994).

A határkenést biztosító adalékok többsége lényegében többfunkciósak. A megmunkálási zónában uralkodó hőmérsékleti- és nyomási viszonyoktól függően akár hármas (FM/AW/EP) adalékként is működhetnek. Ezek a felületmódosító ún. intelligens adalékok az adalék-fejlődés harmadik generációját képviselik.

**Reakció réteg:** /Tribokémiai reakció/

**Alapanyag:** 42CrMo4

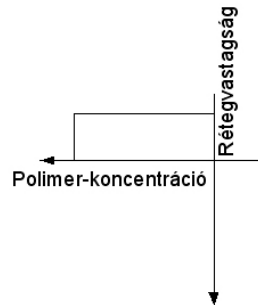
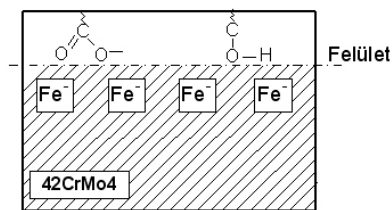
**Hűtő-kenő folyadék:** Polimer + kénezett olefin (EP)



**Adszorpció réteg:** /van der Waals kötés/

**Alapanyag:** 42CrMo4

**Hűtő-kenő folyadék:** Észterolaj (polimer)



**19. ábra** A 42CrMo4 acél felületén képződő ad-, és kemisorpció réteg (Mózes, Vámos 1968)

### *A hűtő-kenő folyadékok kölcsönhatása a környezettel*

Alkalmazás közben a hűtő-kenő folyadékok nem kerülnek közvetlen kapcsolatba a természeti környezettel. Közvetlen környezetterhelést, az élővizek veszélyeztetését véletlenszerű kiömlés (pl.: baleset), műszaki hiba miatti kifolyás, szivárgás esetén okoznak, ill. nem megfelelő ártalmatlanítás vagy műszaki hiba, baleset folytán a csatornába, szennyvíztisztítóba kerülő hűtő-kenő folyadék megzavarhatja, sőt lebéníthatja a szennyvíztisztító működését.

Valamely hűtő-kenő folyadék környezeti veszélyességi besorolását, - a toxikológiai veszélyesség megállapításához hasonlóan - az egyedi komponensek ökológiai jellemzői és koncentrációi ismeretében vagy a kész hűtő-kenő folyadék ökológiai mérési adatainak ismeretében kell elvégezni az EU irányelvek alapján ill. a kémiai biztonsági törvény szerint.

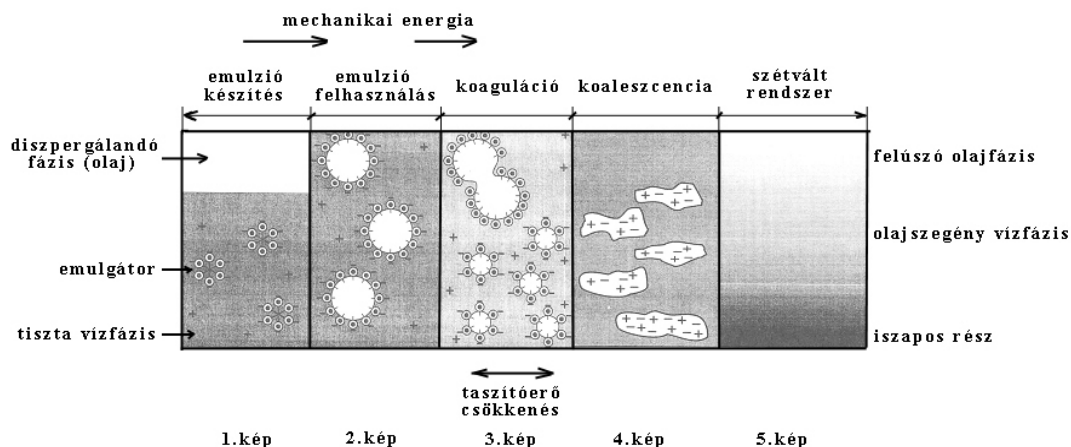
### *Vízveszélyességi besorolás (WGK)*

Nyugat – Európában közismert és elfogadott a veszélyes anyagokra, készítményekre a Németországban alkalmazott vízveszélyességi osztályba sorolás. 1999-ben harmonizálták a WGK rendszert az Európai Unió irányelvek R és S – mondataival, így vált az Európai Unión belül. (WGK 0 – nem vízveszélyes anyagok, WGK 1 – enyhén vízveszélyes anyagok, WGK 2 – vízveszélyes anyagok, WGK 3 – erősen vízveszélyes anyagok) Az elhasznált HKF-ok a veszélyes hulladékok kategóriájába tartoznak.



### 1.4.2. Az emulziók üzemi károsodása, különös tekintettel a biológiai elfertőződésre

Az emulziókat az adott felhasználási helyen vízből és emulzorból keverési technológiával állítják elő (20. ábra 1-es és 2-es kép).



20. ábra Az emulziók üzemi stabilitásának változása, többletenergia bevitelének hatására

A mechanikus és/vagy termikus energia hatására az olaj részecskékre esik szét, majd folyamatos keveréssel tovább aprózódik a technológia által behatárolt mérettartományra. Ily módon létrejön egy olyan heterogén, de stabil diszperz kolloid-rendszer<sup>1</sup>, amelyben az olajcseppek felület közeli rétegében elhelyezkedő molekulák, atomok vagy ionok száma összemérhető a belsejükből elhelyezkedők számával. Az ilyen mikrofázisok nagy fajlagos felületűek, a felület térfogat arányuk  $10^{-4} - 10^{-8}$  1/cm és kolloid rendszer esetén a részecskék legalább egyik mérete néhány nm-től 500 nm-ig (0,5  $\mu\text{m}$ -ig) terjed.

A 20. ábra 2-es képe az emulzióknak az ún. "felhasználási" állapotát mutatja. Felhasználás során azonban nem csak az előzőekben részletesen ismertetett külső- és belső hatások érik az emulziót, hanem a forgácsolási zónában további erős mechanikus- és termikus hatás is, amely energia az olajcseppek saját mozgását megnöveli, így legyőzve a kölcsönös elektrosztatikus tasztító erőt (20. ábra 3-as kép) az olajcseppek koagulálódása megindul, majd koaleszcenciás jelenségek mutatkoznak (20. ábra 4-es kép).

Ez a folyamat az emulzió cirkulációs számával (általában 5 - 6 óránként) arányosan erősödik, végül az emulzió részleges bomlásához vezet (20. ábra 5-ös kép), amikor az emulzió külsőleg még diszperz rendszernek látszik, gyakorlatilag két kvázi homogén és egy instabil diszperz fázisra tagolódik.

<sup>1</sup> Néhány nm-től 500 nm-ig terjedő részecskékből álló, a heterogén és homogén rendszerek között elhelyezkedő, sajátos tulajdonságokkal rendelkező anyagrendszerek gyűjtőneve. A kolloid-rendszerek állapota az anyag kémiai minőségétől független, elvileg bármely anyagi rendszerben kialakítható fizikai állapot.

Az ilyen megbomlott emulzió terhelési faktorai a következők:

- az emulzió felgyorsult öregedése és munkaképességének fokozatos elvesztése
- a baktériumok és gombák szaporodásának felgyorsulása.

Az emulziók kenéstechnikai viselkedése is sajátos és bonyolult, mivel a látványosan viszkózus - az olajcseppek orientációja és deformációja következtében - csökken a nyíró igénybevétel hatására. Az O/W stabil diszperz rendszer viszkozitási indexe nagy, ez kedvező, mert az emulzió egyenletes teljesítő képességét biztosítja. Nagy terhelésű kapcsolatokban - ilyen pl.: a szerszám homloklapja és a forgács kapcsolata az érintkezés 1/3 részénél - a víz részleges kizáródása következtében létrejön az olajcseppek vastagságával közel azonos vastagságú elasztohidrodinamikai kenőfilm, ami a stabil emulzió esetén egyenletes teljesítményt ad.

A diszperz részecskék (emulzol cseppek) és a kontinuális fázis (víz) molekulái között fellépő adszorpciós erők hatására solvatáció, hidratáció, ill. duzzadás léphet fel, elektrolitokban pedig a részecske/közeg határfelületeken elektromos kettős réteg alakulhat ki.

A részecskén rendkívül nagy fajlagos felületeknek köszönhetően a heterogén rendszerektől eltérő **fizikai-kémiai** és **termodinamikai** tulajdonságokat mutatnak. Azonban nagy felületi energiájuk miatt tulajdonságaikat hosszabb ideig nem képesek megőrizni (koaguláció, koaleszcencia, krémesedés stb.), termodinamikai értelemben az állapotuk csak stabilizáló adalékokkal tarthatók fenn.

Lényegében a 20. ábra 4-es és 5-ös képen látható bomlásnak indult emulzió funkcionális tulajdonsága (szerszámnyaggal való kompatibilitása, a megmunkált felülettel való kölcsönhatása, termodinamikai tulajdonságai és bakteriális elfertőződésének a veszélye) erősen romlik.

Az O/W emulziót akkor tekinthetjük kielégítően stabilnak, ha a szubmikroszkopikus (szubmolekuláris) szerkezete nem változik, vagy ha megváltozik, akkor az emulzióellátó rendszerben automatikusan - külső beavatkozás nélkül - egy körforgáson belül helyreáll. Ehhez egy módosított emulzióellátó rendszert kell kialakítani és az emulziók üzemi kezelési technológiáját ennek megfelelően kell módosítani.

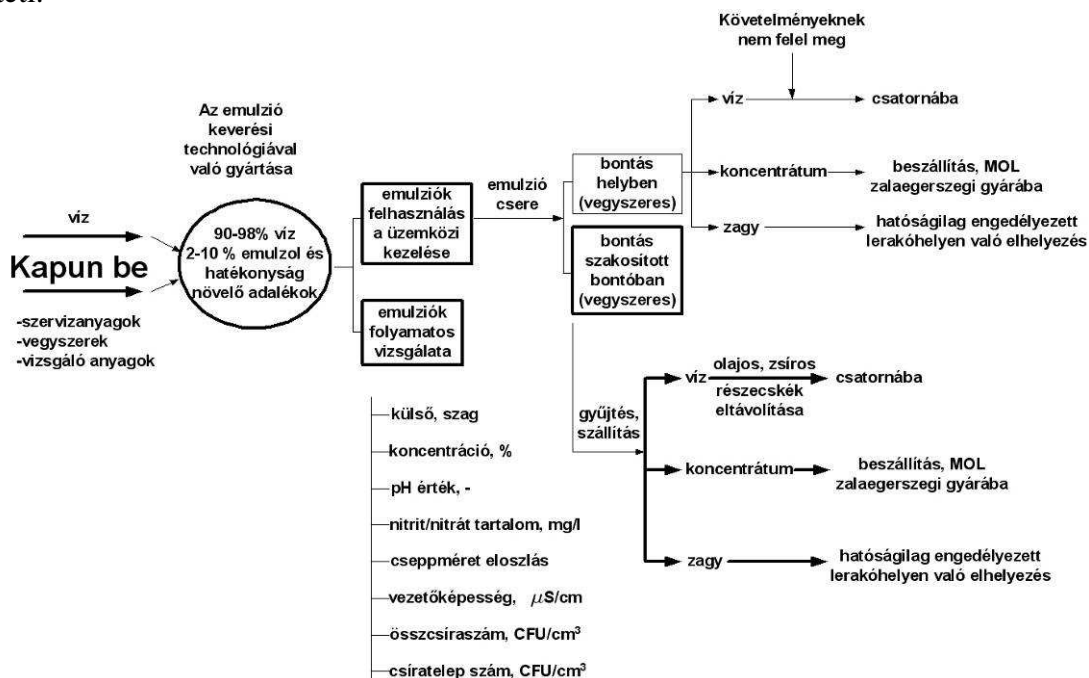
Ma Magyarországon általánosságban alkalmazott emulzió ellátó rendszerekben az emulziók folyamatos és automatikus regenerálása nem megy végbe, így a munkaképességét elvesztő, lecserélt emulziók elegye a 20. ábra 4-es és 5-ös képek felel meg.

### ***Üzemviteli problémák elemzése***

Az elmúlt 15 évben az alkatrészgyártás Magyarországon felfutott, jelenleg kb. 7 ezer üzemben – többségében kis vállalatok – folyik termelés. Ehhez kapcsolódik egy jelentős (Joksch, Eggers 2000) emulziókezelési költség, amely a szükséges költségek kb. fele, ugyanis nagyon sok üzemben csak részlegesen vagy semmi-

Ilyen emulziókezelést nem végeznek.

Leggyakrabban jelentkező probléma Magyarországon az idegen olaj (szánkenő, hidraulika, orsó, hajtómű) bekerülése a HKF ellátó rendszerbe, amely teljes mértékben lerontja a HKF tulajdonságait. Az olaj bekerülésével a koncentráció nem mérhető teljes biztonsággal, ilyen esetekben, már a laboratóriumi méréseket kell segítségül hívni. Az emulziók felhasználási folyamatábráját a 21. ábra szemlélteti.



21. ábra Az emulziók felhasználási folyamatábrája

Továbbá, az idegen olaj vagy összekeveredik az emulzióval, vagy felúszik az emulzió felszínére. Ha összekeveredik, akkor füstölési problémák jelentkezhetnek forgácsolás közben, nem beszélve a letapadásokról és a hűtő-kenőhatás romlásáról. Amennyiben felúszik, akkor lezárja az emulzió felszínét és ilyenkor az anaerob baktériumoknak biztosít táptalajt, az emulzió „megbűdösödik”. Valamint a baktériumok savas anyagcsere termékeinek hatása következtében a pH értéke csökken, és korróziót okoz mind a munkadarabon, mind a szerszámgépen. Nem utolsó sorban meg kell említeni, hogy minden víztartalmú folyadék kiváló körülményeket biztosít a mikrobiológiai életnek: baktérium, gomba szaporodásának, ezt értjük úgy, hogy nem csak az idegen olajnak köszönhetően nőhet meg a biológiai aktivitás.

Tehát a magas bioaktivitás a következőkkel jár: alacsonyabb pH-, korróziós problémák, rosszabb emulzióstabilitás, rosszabb megmunkálhatósági tulajdonságok, kellemetlen szag, füst, dermatitisz. A problémák elkerülhetőek és megelőzhetőek, ha az üzemben rendszeresen működik az időszakos és a megelőző karbantartás. De itt nem csak a gépekre, hanem hűtő-kenő anyagra is gondolok.

Az emulziók 90 - 95 %-át víz alkotja, így nem kérdéses, hogy a víz minősége is jelentős befolyással bír az emulziók használhatóságára. Mint például a vízke ménység, amely jelentős hatást gyakorol az emulzol emulgeálódására, az emulzió-stabilitásra és a tisztító képességre. A klorid tartalom kihatással van a korrózióra és ugyancsak a stabilitásra.

A fent említett problémákon kívül azért nem szabad megfedkezni az előnyös tulajdonságairól sem az emulzióknak, mint:

- jó hűtés
- alacsony költségű feltöltés
- nem tűzveszélyes
- alacsony olajköd és -füst emisszió
- munkakörülmények tisztasága
- munkadarab tisztasága
- alacsonyabb forgács és munkadarab általi olajkihordás.

Ahogy az emulzióknak, úgy a hűtő-kenő olajok alkalmazásának is vannak előnyei és hátrányai. A hűtő-kenő olajokat általában fokozottan nehéz megmunkálásokhoz, valamint nagyon jó felületi minőség eléréséhez használnak.

Meg kell említeni, hogy az olajoknál sem tekinthetünk el az idegen olaj szennyezéstől. A szennyező olajok minden esetben keverednek a hűtő-kenő olajjal, aminek következményeként ezeket az olajokat is cserélni kell bizonyos időközönként. Az idegen olaj leronthatja a hűtő-kenő olaj kenési tulajdonságát, illetve vizkozitási értékét, amelynek eredménye látható lesz a munkadarab felületén.

Légnemű szennyeződések is bekerülhetnek a hűtő-kenő olajokba. A leggyakoribb légnemű szennyeződés a levegő, amely a cirkulációs olajba beemulgeálódva habzást, az alakítási zónában működési zavarokat idézhet elő és gyorsítja az olaj öregedését. A hűtő-kenő olajok mindent összevetve egyszerű, minimális kezelést igényelnek. Elhasználódásuk általában az adalékok elfogyásától vagy kimerülésétől, illetve a szennyeződések (külső-belső) feldúsulásától függ.

Hűtő-kenő olajoknál leggyakoribb probléma a gőz és füstképződés, amelynek szigorú előírásai vannak világszerte ((MSZ 21461/1, TRGS 900) MAK: 5 mg/m<sup>3</sup>). Környezetvédelmi szempontból legjelentősebb probléma az olaj forgács általi kihordása. A hűtő-kenő olajok használatának is megvannak persze a maga előnyei:

- alacsony karbantartási költség
- hosszabb élettartam
- nehéz megmunkálások elvégzése
- jobb felületi minőség
- nagyobb súrlódáscsökkentő hatás és a
- jó korrózióvédő hatás.

A termékek tulajdonságaira azonban más használatukat megelőző hatások is befolyással vannak. Az egyik ilyen nagy probléma az emulzolok helytelen tárolása, a másik probléma az emulziós rendszerek cseréjénél jelentkezik, amikor nem kellő gondossággal és alaposítással végzik el a rendszer tisztítását és az emulzió cseré-

jét.

A rendszertisztító folyadékokra nem véletlenül van szükség, az alkalmazásukkal eltávolíthatók a rendszerbe belekerült idegen olaj (szánkenő, orsó, hidraulika), valamint a benne felszaporodott baktérium és gombatelepek is.

A legtöbb helyen a környezet kialakítása egyenesen kedvez a mikroorganizmusok szaporodásának, szinte táptalajt biztosít nekik (pl.: fa padlórács, kis ívű törések és éles sarkok az HKF ellátó rendszerben).

### ***Emulzióbontás***

A 98/2001 (VI.15.) Kormányrendelet és a 16/2001 (VII.18.) KöM rendelet az emulziókat veszélyes hulladéknak minősíti, ezért különleges bánásmódot igényelnek. Az emulziók csak akkor válnak igazán veszélyes hulladékká, ha a kialakult hazai szokás szerint „kezelik” (nem kellő figyelemmel kezelik). Mai értelmezés szerint a veszélyes emulziókat étetéssel, biológiai bontással (deponálással), olajtartalom elválasztásával ártalmatlanítják. Az ismert emulzió bontási eljárások főbb csoportjait az 7. táblázat foglalja össze.

**7. táblázat** Az olajos emulziók és olajtartalmú szennyvizek kezelésének lehetséges módjai

<b>Fizikai eljárások</b>	<b>Kémiai eljárások</b>	<b>Fizikai-kémiai eljárások</b>	<b>Bontás nélküli eljárások</b>
mechanikai	szervetlen savakkal	flotálás	biológiai
termikus	szervetlen sókkal	elektrokémiai flotálás	égetés
ultraszűrés	szerves emulgeátorokkal	adszorpció	deponálás

Az emulzióbontási eljárások közül a szervetlen savakkal és fémsókkal végrehajtott bontási eljárást ismertetem.

### ***Emulzióbontás szervetlen savakkal és fémsókkal***

A kémiai eljárások az emulziók stabilitását befolyásoló olaj-víz határfelületen kialakuló töltést semlegesítik, ennek eredményeként következik be a koaguláció. A legegyszerűbb esetben – pH érzékeny emulzióknál – savval való kezeléssel, bizonyos pH érték elérésekor megbomlik az emulzió és a fázisok szétválnak. Gyakran az emulziók bontására a savazás már nem elegendő, hanem mint előbontás, ill. pH beállítás használatos, majd utána többértékű fémsó adagolásával történik meg a tényleges emulzióbontás.

A II. és III. értékű fémek (Fe, Al) erős kationjaival az anionos emulgeátorok protonizálása következik be, így a két fázis felületi töltését semlegesítik. A keletkező savas szennyvizet ezután második fokozatban semlegesíteni kell. A semlegesítés mésztejjel vagy nátrium-hidroxiddal történhet. A fémionok nagy felületű hidroxid pelyheket képeznek és ezeken a nagy felületeken adszorbeálják a finom részecskékre koagulált olajokat és zsírokat. Ezt a folyamatot adszorpciós koagulációnak

nevezik.

Hasonló eljárás a **kémiai emulzióbontás vaskloriddal**. Ez az eljárás a vegyszerköltségek szempontjából gazdaságosnak tekinthető, de a viszonylag nagy mennyiségben keletkező olajtartalmú hidroxid iszapok növekvő ártalmatlanítási költségei miatt, egyre drágább eljárás.

A viszonylag nagy mennyiségben keletkező olajtartalmú iszapot besűrítés után vízteleníteni kell. A víztelenítés történhet szűrőpréssel vagy centrifugálással. A visszamaradó iszapot olajtartalmától függően égetéssel vagy deponálással és biológiai lebontással ártalmatlanítják. Figyelembe kell venni azt a tényt is, hogy egyes új, nagy stabilitású emulziók ezzel a módszerrel nem mindig bonthatók meg.

A hűtő-kenő folyadékok nem tartoznak a biológiailag lebomló és környezetre ártalmatlan termékek csoportjába.

A legnagyobb problémák abból adódnak, hogy a vízzel elegyedő hűtő-kenő folyadékok a felhasználásukkor minimum a 20-szorosukra vannak hígítva, nem úgy, mint más területen keletkező fáradt olajok és így a veszélyes anyagok szempontjából az olajjal szennyezett víz kategóriába kerülnek.

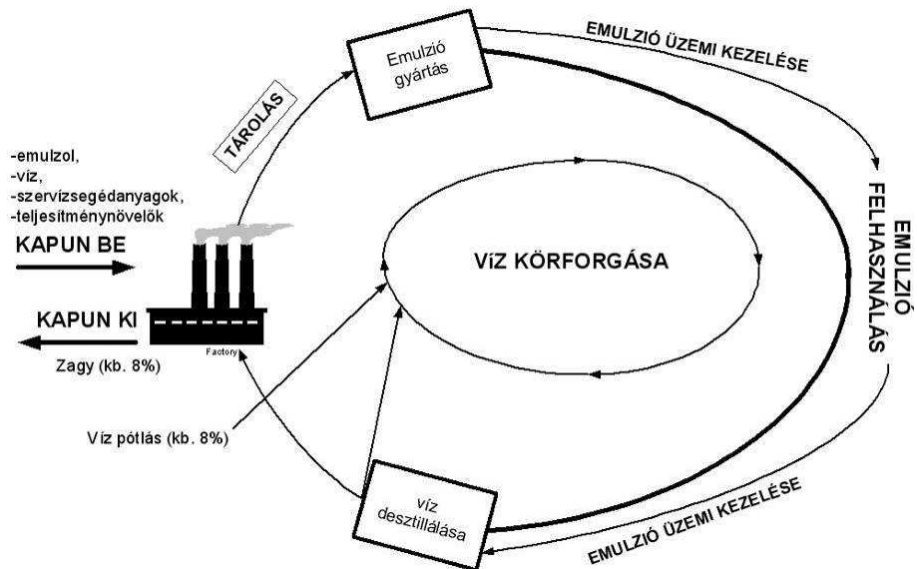
Vannak már olyan vállalatok, ahol foglalkoznak az emulziók bontásával és így a keletkező vizet – némi utótisztítás után - ipari vízként újrahasznosíthatóvá teszik.

### ***A „Recycling” újszerű emulziókezelési technológia***

Az emulziók „kaputól-kapuig” Kormos I. és Valasek I. által kidolgozott és az 1970-es évektől bevezetett lineáris emulziókezelési technológiáját fokozatosan felváltja az emulziók „sebezhetőségét” csökkentő, a víz komponens visszanyerésére fókuszáló az üzemben belül megvalósított ún. „Recycling” emulziókezelési és karbantartási zárt rendszere (22. ábra).

Az 1970-től bevezetett alaprendszert Valasek I. továbbfejlesztett, amelynek részletes technológiáját a Strukturális alap pályázati kiírásához 2006-ban benyújtotta.

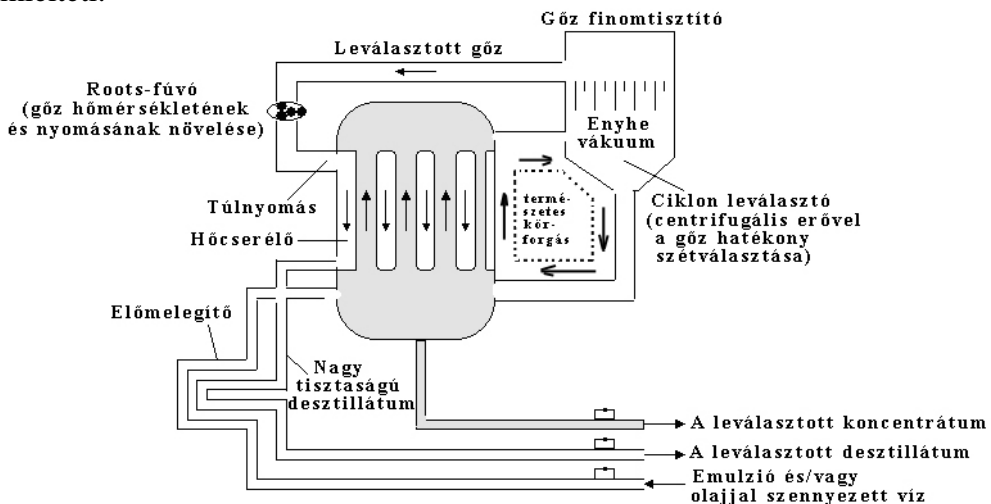
Az új technológia lényege, hogy az emulzió komponensei nem mennek át az üzemben, hanem a lehetőségekhez képest az üzemben cirkulálnak. Főleg a vizet ne „utazzassuk” önmagában vagy emulzióban néha 100 km-eket, hanem annak teljes körforgását valósítsuk meg, egy energiatakarékos víz-visszanyerő rendszerbe iktatásával.



22. ábra A „Recycling” technológia folyamatábrája

### Energiatakarékos víz-visszanyerő működése

Az energiatakarékos víz-visszanyerő berendezés elvi vázlatát a 23. ábra szemlélteti.



23. ábra Energiatakarékos víz-visszanyerő berendezés működési vázlat (Valasek 2006)

Az energiatakarékos vízelvételi elpárologtató berendezés a víz termikus előkészítése alapján működik. Az előkészítés az emulzió folytonos fázisának 70 – 80 °C-os hőmérsékleten történő elpárologatásából és a koncentrátum besűrítéséből áll. Az emulzióellátó rendszerbe további két elemet:

- **koaleszcencia** leválasztót
  - és egy tárcsás **szkimmert**
- kell beépíteni.

### *Koaleszcencia leválasztó*

A **koaleszcencia** jelenség akkor alakul ki a használatban levő emulzióknál, ha az emulzió diszperz fázisa az emulzol (olajok, zsiradékok, ill. az emulzióba bejutó idegen olajok) koagulálódik és ezek a ragacsos anyagok a szerszámon, szerszámgépeken, ellátórendszerben, különösen a hőcserélőkben stb. kirakódnak. A koaleszcencia leválasztó a felhasználás során folyamatossá váló instabilitást korrigálja, vagyis automatikusan helyreállítja.

### *Szkimmer leválasztó*

A szkimmer működési elve egyrészt az olajok és oleofil anyagok, másrészt a víz közötti különböző adhéziós erőn alapszik. A tárcsák és szalagok anyaga oleofil hordozók, amelyekre a forgó mozgásuk közben rárakódnak az olajszemcsék. A szkimmertárcsáról egy lehúzó, a szkimmerszalagról két nyomóhenger távolítja el a rátapadó olajat, mielőtt az újból a folyadékba merülne.

### *A hűtő-kenő folyadékok káros hatása a környezetre*

A hűtő-kenő folyadékok környezetre gyakorolt hatása a második helyre került, valójában fontossági szempontból az energiafelhasználási elemzés előtt lenne a helye. A disszertáció téma szerinti sorrend változása valójában azt jelenti, hogy a két témát azonos súllyal kezeltem. A témát a következő osztás szerint tárgyalom:

- munkavédelem
- környezetvédelem.

### *Munkavédelem*

A szerszámgépeken dolgozók bőre gyakran kisebb-nagyobb mértékben kapcsolatba kerül a hűtő-kenő folyadékkal. Az egészséges, sérülésmentes bőrön az alkalmanként rákerülő hűtő-kenő folyadék (pl.: petróleum)kiütést vagy betegséget okozhat.

A dolgozó a kezét gyakran fémforgáccsal, vagy közsörűporral szennyezett ronggyal törli meg, ilyenkor az éles fémrészecskék a bőr hámrétegét megsértik, ezáltal a hűtő-kenő folyadék bejuthat a bőr alá, ahol gyulladást okoz.

A hűtő-kenő folyadékok és a munkát végző ember érintkezésének módjait és a lehetséges egészségkárosító hatását a következőkben mutatom be. Az érintkezés módja lehet:

- **-légtéren át:** köd, permet, gőz, aeroszol formájában (egészségkárosodás: szemirritáció, légúti irritáció, allergia, kémiai tüdőrák, emésztőrendszeri megbetegedések, stb.)
- **-közvetlen érintkezés:** A hűtő-kenő folyadékkal és/vagy hűtő-kenő folyadékkal borított szilárd felülettel. (egészségkárosodás: szemirritáció, bőrirritáció, bőrmegbetegedések pl.: allergiás ekcéma, toxikus degeneratív kontaktekéma, bőrrák, stb.)



A hűtő-kenő folyadékokkal kapcsolatba kerülő dolgozók egészségvédelme higiénikus üzemvezetéssel teljes mértékben megoldható.

A szerszámgépeknél az emulzió, mint kétfázisú diszperz rendszer, a festékbevonatokat felpuhítja, melynek következtében az felhólyagosodik. A felhólyagosodott festékbevonat megrepedezik, a repedéseken keresztül a vízfázis behatol a festék alá, és a fémfelületen rendkívül intenzív korróziós réteget hoz létre. Mivel az oxidálódott fém térfogata nagy, így előbb-utóbb a festéket felfeszíti. Ez a folyamat addig folytatódik, míg a teljes festékréteg leválik a fémes felületről.

Forgácsolási megmunkálásoknál - ha nem ködkenést alkalmaznak - a megengedettnél nagyobb koncentrációban olajköd nem képződik. Olyan forgácsoló műhelyekben, ahol nagy mennyiségű emulziót v. HKF-ok vizes oldatát használják, számítani kell emulzióköd keletkezésére. Ez abból adódik, hogy a víz párolgási hője több mint 10-szerese az olajénak és az emulziók mindig tartalmaznak az emulgeátorral bevitt, vagy közvetlen adalékként szolgáló oldószert.

Különösen nagy olajköd képződéssel kell számolni, ha az emulziók átlaghőmérséklete meghaladja a 60 °C-t, ahol a víz párolgása még intenzívebbé válik (másodlagos légszennyező hatás kialakulása). Az emulzióköd vízpára, könnyű szénhidrogén-komponensek és oldószerek keveréke, amelynek belégzése a nyálkahártyák sérüléséhez, rosszulléthez és fájdalomhoz vezet.

A 0,5 µm-nél kisebb olajcseppek kevésbé veszélyesek, mivel nem tudnak a gége, ill. tüdő felületén megtapadni, vagyis kilégzéskor visszakerülnek a környezetbe. A levegő olajköd tartalma MK (maximális munkahelyi koncentráció) <5 mg/m<sup>3</sup> lehet (25/2000.(IX.30.)EüM-SZCSM rendelet).

Elhasznált emulzió az ország teljes területén (mintegy 93 ezer km<sup>2</sup>) keletkezik, gyakran még többször is utaztatják, így elkerülhetetlen az erős talajszennyezés. Az emulzió a víz komponens miatt nagyon mélyre lekerülhet a talajba, ahol felhalmozódhat.

A legfontosabb a törvények közül az Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK rendelete (2006.dec.18.), amely a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról szól.

Az egyedi vegyületekre megadott expozíciós koncentrációk betűjelei és jelentésük:

<b>MK</b>	–	maximális munkahelyi koncentrációk,	mg/m <sup>3</sup>
<b>ÁK</b>	–	megengedett átlagos koncentráció,	mg/m <sup>3</sup>
<b>CK</b>	–	megengedett csúcskoncentráció,	mg/m <sup>3</sup> .

Ezek az értékek egyedi vegyületekre különböző munkavédelmi könyvekből, tájékoztatókból megismerhetők, ha tartalmaz a koncentrációs határértékekkel rendelkező vegyületeket, azt az emulzió szállítójának fel kell tüntetnie a biztonsági adatlapon. Az emulzióval dolgozók védelme érdekében egyéni ápolási intézkedéseket kell bevezetni.

A kenőanyag-környezet kölcsönhatás befolyásolásának új elvei a HKF-okra is érvényesek:

- veszélytelen anyagok használata
- természetes források kímélése
- hulladékkezelés csökkentése és az
- energiafelhasználás csökkentése.

A fejlesztő/gyártó feladata, hogy olyan komponenseket válasszon ki, amelyek mind a tárolás, mind a szállítás, a felhasználás, valamint az elhasznált termék, ártalmatlanítása során a lehető legkisebb ráfordítással, a legkisebb környezetvesztéssel jeleztesen.

Az Európai Unió-irányelvek szerint már a fejlesztés során el kellene végezni a termék teljes sorselemzését (életciklus elemzést), amelybe beletartozik az alapanyagok, komponensek előállítási körülményeitől (anyag/energia ráfordítás stb.), az elhasznált termék újrahasznosításáig ill. ártalmatlanításáig minden.

Az elhasznált hűtő-kenő folyadékok, emulziók kezelésénél, ártalmatlanításánál figyelembe kell venni és betartani a szennyvízkibocsátásra és hulladékolajok kezelésére vonatkozó aktuális előírásokat is.

### **1.5. Az MMS-kenés újkori kutatásainak áttekintése**

Az 1970-es évek közepére a szerszámanyagok első fejlesztési szakaszának lezárulásával a világon több helyen is felvetődött az a logikus gondolat, hogy szükséges-e minden forgácsolási megmunkálásnál a nagymennyiségű emulzió alkalmazása, vagy a szerszámanyagok megnövekedett hőállósága lehetővé teszi a hűtés kialakult rendszere helyett más takarékosabb hűtést alkalmazni.

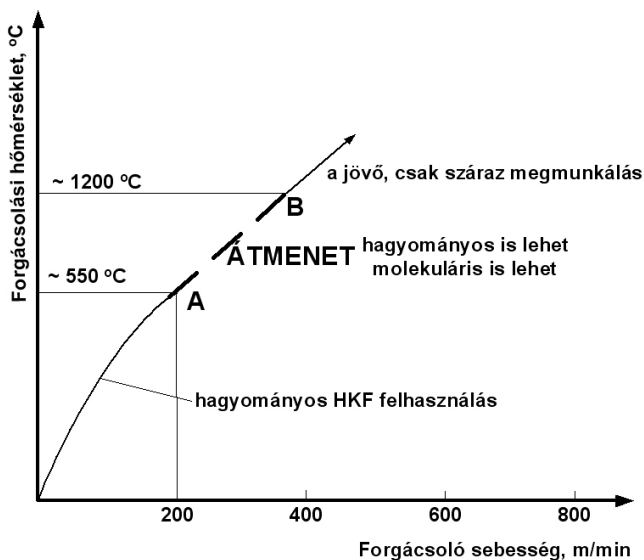
Ezt követően 1976 – 1980 között olyan cikkek jelentek meg e témakörben, amelyek vizionálták a ma már közhazsnátú MMS-kenés alkalmazásának lehetőségét.

A forgácsolási segédanyagok, mint speciális kenőanyagok az ipari kenőanyagcsoportba tartoznak ma is az egész világon, kivétel 1976-tól Magyarország. A forgácsolásnál használt hűtő-kenő folyadékok tudományosan megalapozott fejlesztése Magyarországon – a világ tendenciákkal megegyezően – az 1960-as évek második felében kezdődtek. A közlekedési- és ipari kenőanyagok mellett Valasek I. javaslatára 1976-ban váltak Magyarországon a hűtő-kenő folyadékok önálló kenőanyag csoporttá. A javaslat abból a logikus megfontolásból született, hogy míg a gépészeti súrlódó elemek felületi anyagleválását igyekszünk korlátozni minden lehetséges módszerrel, addig a megmunkálás során előre meghatározott célfüggvény szerint anyagrészecskét választunk le.

Ezt követően szoros együttműködésben a gyártástechnológusokkal céltudatos fejlesztések indultak és a konkrét eredmények mellett – ma visszatekintve – a legfőbb eredményeknek tekinthetően 5-6 év alatt kialakult a HKF kutatási-fejlesztési módszertana.

Az így végzett kutatások egyik máig ható eredménye annak felismerése, hogy a forgácsolásnál –hőegyensúlynál– kiszámított hőmérsékletek  $\sim 300$  °C-al alacsonyabbak voltak a kísérlet során mért egyensúlyi hőmérsékletnél. A felismert hatás konzekvensen ismétlődött, ezért fizikusokat is bevontak az abnormális viselkedés okának kiderítésére. A fizikusok azt valószínűsítették, hogy a forgácsolási hőmérsékleten és nyomáson a környezeti fluidok (hűtő-kenő folyadék és levegő) egy része ionizálódik, amelyek nagy hűtőhatású elektromos szelet (Lenard 1902) hoznak létre.

A témakörben 1990-re annyi ismeret halmozódott fel, hogy lehetővé vált egy konkrét fejlesztési koncepció megfogalmazása, amelynek lényegét a 24. ábra szemlélteti. A kutatási munkám során én az **átmeneti szakasz** (AB) vizsgálatával foglalkozom, vagyis a múltra támaszkodva próbálom a jövő elméleti alapjait lerakni.



24. ábra A forgácsolási hőmérséklet változása a forgácsoló sebesség függvényében, acél munkadarab és keményfém szerszám esetén

Ha a forgácsolási hőmérséklet emelkedik, akkor eljuthatunk ahhoz a forgácsoló sebességhez ( $v \sim 400$  m/min), amelynél már a munkadarab a nyírési síkban kilágyul, a kapcsolódási pontban pedig meg is olvad. Ha a munkadarab megolvad, akkor a forgácsolási erő csökken és a feltétlen felszakadáshoz szükséges munka hővé alakuló része is csökken, végül is  $v \sim 450$  m/min forgácsoló sebességtől a forgácsolási energiaigény - ami arányos a hőmérséklettel - is csökkenni kezd. Ezt a csökkenő hőmérsékletet a szerszám még jobban elviseli, tehát a forgácsoló sebesség további növelésének szerszámoldalról ma már nincs akadálya.

Ezen a ponton lép be a szerszámgépek sebesség korlátja, mivel a megkívánt

nagy fordulatszám új követelményeket állít a szerszámgépekkel szemben, amelyek megoldása napjaink ill. a közeljövő feladata (Valasek, Tóth 2003). Az ilyen irányú fejlesztések megindultak, és már a kereskedelmi forgalomban kaphatók a nagysebességű megmunkálógépek.

A fejlesztés felgyorsítása szükséges lenne egyrészt, mert a következő optimális forgácsolási pont ott lesz, ahol a forgácsleválasztásnál keletkező fölösleges hőmérséklet nem haladja meg 300 °C-ot, amit biztonsággal elszállít az elektromos szél. (Fülöp Lenard a fotoelektromos effektus kísérleti vizsgálata során már 1899-ben bebizonyította, hogy a megvilágított fémfelületből kilépő részecskék azonosak a J. J. Thomson által felfedezett elektronokkal, majd 1902-ben kísérletileg igazolta (Lenard 1902), hogy az elektronok energiája nem függ az intenzitástól.)

A fotoeffektust Einstein tisztázta. (Einstein 1921-ben Nobel-díjat kapott „Deutung des photoelektrischen Effektes – Fotonelektromos effektus jelentősége probléma megvédéséért). A „photon” kifejezést először Lewis (1926) publikálta. Einstein szerint a fémbe lévő elektron a foton teljes  $h \cdot \nu$  energiáját abszorbeálja, s ez, ha lehetséges, a fémből való kijutáshoz szükséges ‘kilépési munkát’ fedezi, a maradék pedig az elektron kinetikus energiájává alakul (Einstein 1905, Ekbert et al. 1997, Varró 2005). A jelenséget több fizikus-kutató vizsgálta, a kutatási eredményeket közzé is tették (Glauber 1963, Holics et al. 1992, Raics 2002, Kálmán, Tóth 2005).

Másrészt a nagy forgácsoló sebesség alkalmazásával nagy a termelékenység, így csökkentett forgácskeresztmetszet leválasztásával is kielégítő forgácsolási teljesítmény érhető el. A kis forgácskeresztmetszet leválasztásával javítható a megmunkált anyagok felszíni krisztallitmódosulásai és az anyag belsejében néha kialakuló diszlokáció kiküszöbölésének lehetősége. Ugyanis nagy forgácskeresztmetszet leválasztásakor, a szerszám „L” hosszú felületén a „ $\sigma$ ” nyomófeszültség tart egyensúlyt a nyírási síkban kialakuló „ $\tau$ ” feszültséggel. A „ $\tau$ ” feszültség maximumának a síkjában, az anyagsíkok között kezdeti repedések keletkeznek.

Egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a HKF-ok funkciójának is meg kell változni, ha a forgácsolási hőmérsékletet olyan mértékben növeljük a forgácsoló sebesség növelésével, hogy a feltétlen felszakadási zónában a megmunkált anyag már kilágyult „olvadt” állapotban van. Amint az köztudott, a súrlódás (függetlenül attól, hogy külső vagy belső súrlódásról van szó) legyőzésére fordított munka, mint veszteség jelenik meg az energiamérlegben.

A súrlódás további sorsát vizsgálva azt állapíthatjuk meg, hogy **disszipatív** folyamat, vagyis a súrlódó felületeken energiaátalakulás megy végbe, aminek következtében a súrlódási munka majdnem teljes egészében súrlódási hővé alakul át. Tehát a súrlódás energiavesztéséhez vezet, méghozzá úgy, hogy a folyamat néhány szakaszában jól elkülöníthető energiaszóródással társul. Ebből egyenesen következik, hogy a nagyhőmérsékletű forgácsolásnál nem **irányíthatatlan általános**, hanem **irányított lokalizált hűtést** kell alkalmazni. Az ilyen jellegű hűtés pedig atom vagy molekula szinten valósítható meg.

A szerszámanyag fejlődési eredmények második szakaszában (1984 – 1990-es évek közepéig) elsősorban a lehetőség elemzéseket tartalmazó cikkek je-

lentek meg. Az első kísérletek „száraz forgácsolás” megvalósításának lehetőségét elemezték (Szmejkál 1996). Magyarországon Somfai és Szmejkál elsőként írnak olyan cikket, amelyben a lehetőségek feltárása mellett már saját kísérleteikről és eredményeikről is beszámolnak (Somfai, Szmejkál 2000).

Ezt követően több intézmény foglalkozott környezettudatos megmunkálási kísérletekkel, amelyek eredményeiről szintén beszámoltak (Igaz 2004, Pálmai 2005, Dudás 2005, Somfai 2005, Kundrák, Gyáni 2006, Igaz, Pintér, Kodácsy 2007, Sipos, Bíró 2008, Horváth, Fülöp, Sipos 2009). Az elvégzett vizsgálatok túlnyomó része az adott technológiához ajánlott több HKF-k kiválasztására irányultak összehasonlító vizsgálatok keretében.

A minimál-kenést Walter (2003) vizsgálta „kizárólagosan elméleti alapon”. Vizsgálta, hogy megmunkálás közben a felület hogyan módosul és milyen felületi rétegek alakulnak ki ill. felvetette annak lehetőségét, hogy fotonelektronok lépnek ki a HKF-molekuláiból. Majd a későbbiekben Walter (2006) egy megjelent cikkében azokat az utakat mutatja be, amelyek hozzájárulnak a „**kíméletes fémgörgetéshez**”.

Az MMS-kenés 2003-ra a 24. ábra „AB” szakaszában, mint reális alternatíva jelent meg a hagyományos HKF-okkal szemben. Az elmélyült kutatók már sejtették az MMS-kenésben rejlő eddig ismeretlen újabb lehetőségeket.

### ***1.5.1. Az MMS-kenés szükségessége és szerepe a forgácsolás fejlesztésében***

Gyakorlati életről vett tapasztalatok alapján elmondható, hogy a hagyományos elárasztásos hűtés-kenés és a száraz forgácsolás között alternatívaként, mint átmeneti lehetőség megjelent a minimál hűtés-kenés. Sokovic szerint is az elmúlt tíz évben igen időszerű lett az MMS-kenés fejlesztése és lényegének a megismerése (Sokovic et al. 2001). A legkövetkezetesebb lépés tehát a hűtő-kenőanyagok alkalmazásából eredő problémák elkerülésére a szárazmegmunkálás lenne. Alternatív megoldásként a nedves megmunkálásnál – bizonyos feltételek teljesülése esetén – jól alkalmazható az MMS-kenés, amely átmenetet jelent a nedves és száraz megmunkálás között (Somfai 1996). Itt a kenőanyag szerepe a hőmérséklet lokális szabályozására korlátozódik.

Dhar et al. (2006) szerint is a hűtő-kenő folyadék minimalizálása igen nagy gazdasági előnyökhöz vezethet, hiszen a kenőanyag-költségek megtakarítása mellett a munkadarab/szerszám/gép takarításának ideje is jelentős csökkenéshez vezet. Bruni et al. (2005) szerint is a munkadarab gyártási költségéből a legjelentősebb tételt a hűtő-kenőanyag költsége teszi ki. Szintén a minimál-kenés költségkimélő hatást elemzi Schulz (2005) is.

Az igényes piacra szállítók gyorsan cselekedtek, és ahogy egyre jobban megismerték az emulzió „érzékenységét”, megkezdődött a preventív intézkedések egész sorának a bevezetése, ami elvezetett a mai – tarthatatlan – helyzethez, hogy az egykori 1%-ról 17%-ra (Joksch, Eggers 2000) emelkedett az alkatrészgyártásban az emulziós összköltség (emulzió és víz ára, az emulziók felhasználás közbeni

trend vizsgálatok-, üzemi kezelések-, szállítás- és bontás költsége).

Ahol tiszta száraz-megmunkálási technológia nem valósítható meg, ott a minimálkenés bevezetése egy lehetséges alternatívája a nedves megmunkálásnak. A minimálkenésen nem csak azt az eljárást értjük, amikor egy hűtőközeg minimális mennyiségét vezetik a nyomáslégáramlatban a forgácsoló helyhez, illetve a szerszámhoz (Szmejkál 1993, Szmejkál 1995, Dudás et al 1997).

Optimálisan beállított rendszerben kevesebb, mint 50 ml hűtőközeget használnak fel munkaóránként. Lényeges jellemzője a minimál kenésnek, hogy korrekt alkalmazás esetén a szerszám, a munkadarab és a forgács száraz marad. A „száraz-megmunkálás” fogalom – bár hatásmechanizmusa eltérő - használata ezáltal erre az eljárásra is jogosult. A megfelelő hűtőközeg azonban csak konkrét megmunkálási technológiához választható ki. A sűrítettlevegővel szállított hűtőkenő folyadék esetén a levegő hozzájárul a hűtés fokozása mellett a forgács elszállításához is (Sipos, Bíró 2008).

A forgácsleválasztás kutatási irányai és módszerei sokfélék. A fizikai folyamat matematikai leképezését már Black (1972), és Piispanen (1976) kezdeményezte, majd Burns és Davies (1997), Bonnet – Lebouvier és Klapetzko (2002) majd Eberly és Shoemake (2004) tökéletesítették és a matematikai modell gyakorlati alkalmazhatóságát ortogonális forgácsolásnál laboratóriumban ellenőrizték. Magyarországon ezzel a kérdéssel megfelelő mélységben Pálmai Zoltán foglalkozik és 2005 óta több cikkben is beszámolt a témáról és az aktuális kutatások haladásáról. Pálmai Zoltán munkái lényegében a fent felsorolt szerzők munkáinak feldolgozása és magyarosítása.

A témakörben 2008-ban a Gépgyártásban (Pálmai 2008) megjelent „A modellezés néhány problémája a fémek gyors alakításánál” c. cikke.

A cikket részletesen elemezem; egyrészt mert jól érzékelteti, hogy a folyamat leírására irányuló kutatások hol tartanak manapság; másrészt mert a cikknek döntő szerepe lett a kutatási témám megválasztásánál.

A cikk bevezetőjében a szerző leszögezi, hogy „a nyírási zónában az egymáson elcsúszó rétegek viselkedése az ún. kártya-moddal jól le lehet írni”, ami azt jelenti az olvasatomban, hogy a modellel nem a tényeket, hanem a valószínűségi mutatót lehet megállapítani. Majd a cikk így folytatódik „a korábbi modellben a deformációs zóna egyetlen nyírási sávból állt, az újabb modellnél két nyírási sávval számolnak, feltételezve, hogy az anyag mielőtt a nyírási zónába kerülne belép egy kvázi zónába, amelyben képlékeny deformáció ugyan még nem következik be, de a hőmérséklet már megemelkedik.”

Ez a mondat műszakilag nehezen értelmezhető. Ortogonális forgácsolást tételeznek fel és leszögezik, hogy „a szerszám és a forgács közti súrlódást elhanyagoljuk, mert az anyag viselkedését a nyírási zónában tanulmányozzuk”. Pontosabb lett volna, azt leszögezni, hogy a külső súrlódással nem, kizárólag a belső súrlódással foglalkozunk a cikkben.

Coulomb elméletéből kiindulva, a nyírás abban a síkban megy végbe, ahol a nyírófeszültség maximális lesz, és a Hamilton-elv szerint valószínűsíthető, hogy a forgácsleválasztási folyamat minimális energiaszinten megy végbe. Tisztázni kel-

lett volna, hogy egy tengelyű vagy két tengelyű feszültségi állapot alakul ki.

A relatív csúszást  $\varepsilon = (ctg\Phi + tg(\Phi - \gamma))$  (11.) kifejezésnek és az egytengelyű feszültségállapot hipotézisének segítségével az alábbi összefüggés állapítható meg:

$$1 + ctg\Phi = \varepsilon + 2 \frac{tg\rho}{1 + tg\rho} \quad (12.) \quad (\text{Valasek 1999}).$$

A kifejezés jobb oldalán levő második tagját joggal nevezhetjük súrlódási függvénynek.

A cikkben további feltételezéseket tesznek. Ilyenek...”hővezetés csak a forgács  $v_c$  sebességével szemben történik, a munkadarab anyaga homogén, izotróp, a munkadarab és a szerszám merev, a nyírási zónában az anyag képlékeny, a forgács rugalmas állapotban van.” Továbbá „az így kialakított technológia modell matematikai leírásánál a tehetlenségi erők, így a mozgás-egyenletek is elhanyagolhatók.” Az állapotjelzőket dimenzió nélküli alakban adják meg, ami szokásos ilyen kutatások esetén, de az alapjellemzők dimenzióit meg kellett volna adni.

Az alkalmazás és diszkusszió címszó alatt a modell gyakorlati használhatóságát Ti-6Al-4V ötvözetrel végzett forgácsolás példáján mutatják be, amely gyakorlati technológiákkal alig hozhatók összefüggésbe. A cikkből nem derül ki, hogy a kutatók száraz megmunkálást vagy nedves megmunkálást használtak. Az anyagot tanulmányozva és értelmezve azt állapíthatja meg az olvasó, hogy ez a munka kizárólagosan további kutatásokhoz adhat bizonyos alapokat és tájékoztatást.

A cikk alapos tanulmányozása nagymértékben segítségemre volt azon döntésem meghozatalához, hogy hasonló módszerrel végrehajtott kutatási témát vállaljak fel, vagy a belső folyamatokat sötét kamrának tekintve keressem a forgácsleválasztásához felhasznált összes energiának befolyásolási lehetőségeit.

Kutatásaim során nem bonyolult matematikai modellel próbálom a valóságot követni – ami ma még lehetetlen - hanem a fizikai törvények felhasználásával kísérem meg a folyamatot megérteni, keresve azokat a beavatkozási lehetőségeket, amelyekkel az energiefelhasználás csökkenthető, a forgácsolás minőségének javítása mellett.





## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az átmeneti szakasz vizsgálata a felszínen lejátszódó folyamatoknak az elemzésével lehetséges, erre rendkívül jó alapot nyújt a tribológiai gondolkodás. Nevezetesen, hogy a súrlódási folyamat során energiaátalakulás megy végbe. A forgácsleválasztáshoz felhasznált munka energiává alakul át a súrlódás során, ami mikrofizikai jelenségen alapul.

Azonban ha az erő – munka – energia folyamatot elemezem (8. táblázat), akkor a 4., 5. és 6. képeken bemutatott átalakulási folyamat értelmezésénél szükséges lehet a kvantumfizika egyes részeinek ismerete is. Ez a forgácsleválasztás makrofizikai tárgyalásánál nem is lehet másképp, de a probléma azonnal feloldható, ha a 4. képen és bemutatott energiaátalakulást mikrofizikai szemlélettel szilárdtest- és kvantumfizikai ismeretekkel elemezzük.

Albert Einstein (1905) “Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt” (A fény keltésére és átalakulására vonatkozó heurisztikus nézőpontról) című dolgozata, amelyben arra a következtetésre jut, hogy „Kis sűrűségű - a Wien-féle sugárzási képlet (Schrödinger 1887-1961) érvényességi tartományán belül - monokromatikus sugárzás hőelméleti szempontból úgy viselkedik, mint ha  $\frac{R \cdot \beta \cdot v}{N}$  (13.) nagyságú (ahol,  $R$ : egyetemes

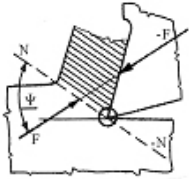
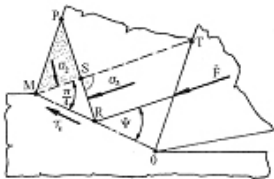
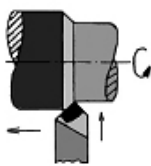
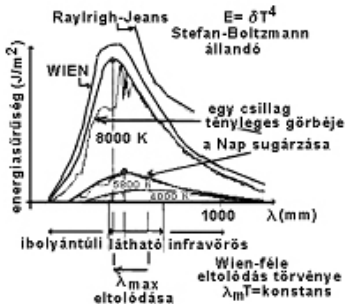

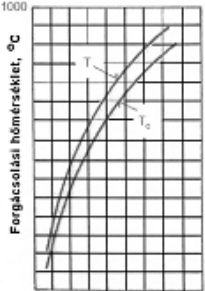
gázállandó;  $\beta$ : a Wien-féle sugárzási képletben szereplő paraméter;  $v$ : frekvencia, [Hz];  $N$ : Avogadro-szám), egymástól független energiakvantumokból állna.”.

1972-ben egy francia (Piqué, Vialle 1972) és egy német (Schneider et al. 1972) csoport sokkal pontosabb mérési eredményeket publikált egyidejűleg, amelyek számszerűleg is megerősítették Einstein következtetését. A sugárzás mechanikai hatásának kulcsfontosságú szerepe van napjaink egyik legfejlettebb műszaki megoldásokban, nevezetesen a lézeres hűtésben (Csurgay, Simonyi 1997, Zrínyi 2004, Zrínyi 2006).

A forgácsolási technológiák és kapcsolt elemeinek mai helyzetét az 50 éve tartó intenzív fejlesztések gyakorlatba bevezetett eredményeinek tükrében az 1.1. – 1.5. fejezetekben mutatom be. Ugyanakkor az 1.5.1. fejezetben nagyon markánsan megnevezem a néha még egyszerű és egycélú fejlesztés miatt keletkező anomáliákat. Erre azért volt szükség, hogy a magunk számára meg tudjuk fogalmazni, azt a fejlesztési irányt, amely a legtöbb eredményt igéri és több egymásból adódó többirányú fejlesztést indukál.

A doktori programomban a 24. ábrán bemutatott „AB” szakasznál megfogalmazott fejlesztési munkák azon részében kívánok kutatásokat végezni, ami a súrlódó elemek között lejátszódó energiaátalakulás néhány kérdését tisztázza. Döntésem lényege akkor érthető meg, ha a forgácsleválasztás során végbemenő energiaátalakulás lényegét megértjük és ebből határozzuk meg a gyakorlatba átültethető fejlesztési munkák eredményeit.

8. táblázat Forgácsleválasztásnál az erő - energia-folyamat fizikai értelmezése

1. Erőhatás, F [N]	2. Fajlagos forgácsolóerő, k <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	3. Fajlagos forgácsolási munka, W, [Ws/mm <sup>3</sup> ]	4. Energia	5. Energiaátalakulás	6. Hőenergia, E [J] Hőmérséklet, T [°C]
					
<p>A forgácsotvet a szerszám homloklapja és a nyírási sík felől ható azonos nagyságú, de ellentétes értelmű F erők tartják egyensúlyban.</p>	<p>Az egységnyi elméleti forgácskeresztmetszetre ható forgácsolóerő.</p>	<p>A térfogategységnyi anyag forgácsolással történő leválasztásához szükséges munka.</p>	<p>Az <b>energia</b> általános értelemben a változtatásra való képességet, a fizikában a munkavégzőképességet jelöli. Egy bizonyos állapotú fizikai rendszer energiája azzal a munkámmennyiséggel (<math>W</math>) adható meg, amellyel valamilyen kezdeti állapotból ebbe az állapotba hozható.</p>	<p>Einstein által az abszolút fekete test sugárzását leíró Planck-törvényt levezetéséhez bevezetett együtthatók megadják, annak a három eseménynek a valószínűségét, hogy az atom v. molekula a) <b>elnyel</b> a <b>fénysugárzástól egy fotont</b> (abszorpció), b) a <b>beeső fénysugárzás hatására kibocsát egy fotont</b> (induktált emisszió), c) <b>függetlenül attól, hogy esik-e fény az atomra, kibocsát egy fotont</b> (spontán emisszió).</p>	<p>A hőmérséklet egy intenzív állapothatározó, egyszerre jellemzi az anyag mikroszkopikus és makroszkopikus állapotát. Makroszkopikus nagyságrendben egy érzékelhető tulajdonság. Mikroszkopikus szinten egyenesen arányos a test hőmérséklete az öt felépítő részecskék átlagos mozgási energiájával.</p>
Makrofizika			Mikrofizika		

## 2.1. Kutatási célkitűzés

A kutatási munkám „az új szemléletű forgácsolási megmunkálás” tárgykörébe tartozik, a koncepcióját a 64. ábra szemlélteti, tartalma pedig a 23. ábrán bejelölt „átmeneti” szakaszra (bejelölt rész) összpontosít.

A témaválasztás az alábbiakkal indokolható:

- ez a fejlesztési irány a forgácsolás két fő (nem gazdaságos, erős környezet-szennyezés), és az 1.4. és 1.5. fejezet megjelölt többi három mellékproblémájának javulásához és/vagy végső megoldásához vezet
- a gyakorlatban nem vagy nem pontosan értelmezett fogalmakat tisztáz, definiál és értelmez
- a kutatómunka több különböző irányú fejlesztést is megalapoz
- tartalmában és szemléletében jól illeszkedik a jövő – a jelenség szintjétől, a molekuláris szintre – átvitt fejlesztési irányaihoz.

A kutatás-fejlesztés célját az előzőekben ismertetett anyagok már kijelölték, ezek tételesen felsorolva a következők:

### A KUTATÁS - FEJLESZTÉS CÉLJA

Az új szemléletű  
FORGÁCSLEVÁLASZTÁSI  
folyamat során bekövetkező ENERGIAÁTALAKULÁS (8. táblázat 4-5-6 kép)  
néhány ELMÉLETI KÉRDÉSÉNEK értelmezése,  
a nedves és száraz megmunkálás átmeneti szakaszában lehetőségek feltárása, amelyek:

- A FORGÁCSLEVÁLASZTÁS ENERGIAIGÉNYÉT CSÖKKENTIK
- A HKF FELHASZNÁLÁST A NULLÁHOZ KÖZELÍTIK
- AZ EMULZIÓK KÉSZÍTÉSÉTŐL – ÜZEMKÖZI KEZELÉSÉTŐL - TÁROLÁSÁTÓL ÉS BONTÁSÁTÓL A FORGÁCSOLÓ ÜZEMEKET MENTESÍTIK
- A GYÁRTMÁNY FELÜLETI MINŐSÉGÉT, MÉRETTARTÁSÁT KIVÁLÓAN BIZTOSÍTJÁK, A FELÜLET KÖZELI RÉTEGEKBE PEDIG KRISZTALLIT-MÓDOSULÁSOKAT OPTIMÁLJA.

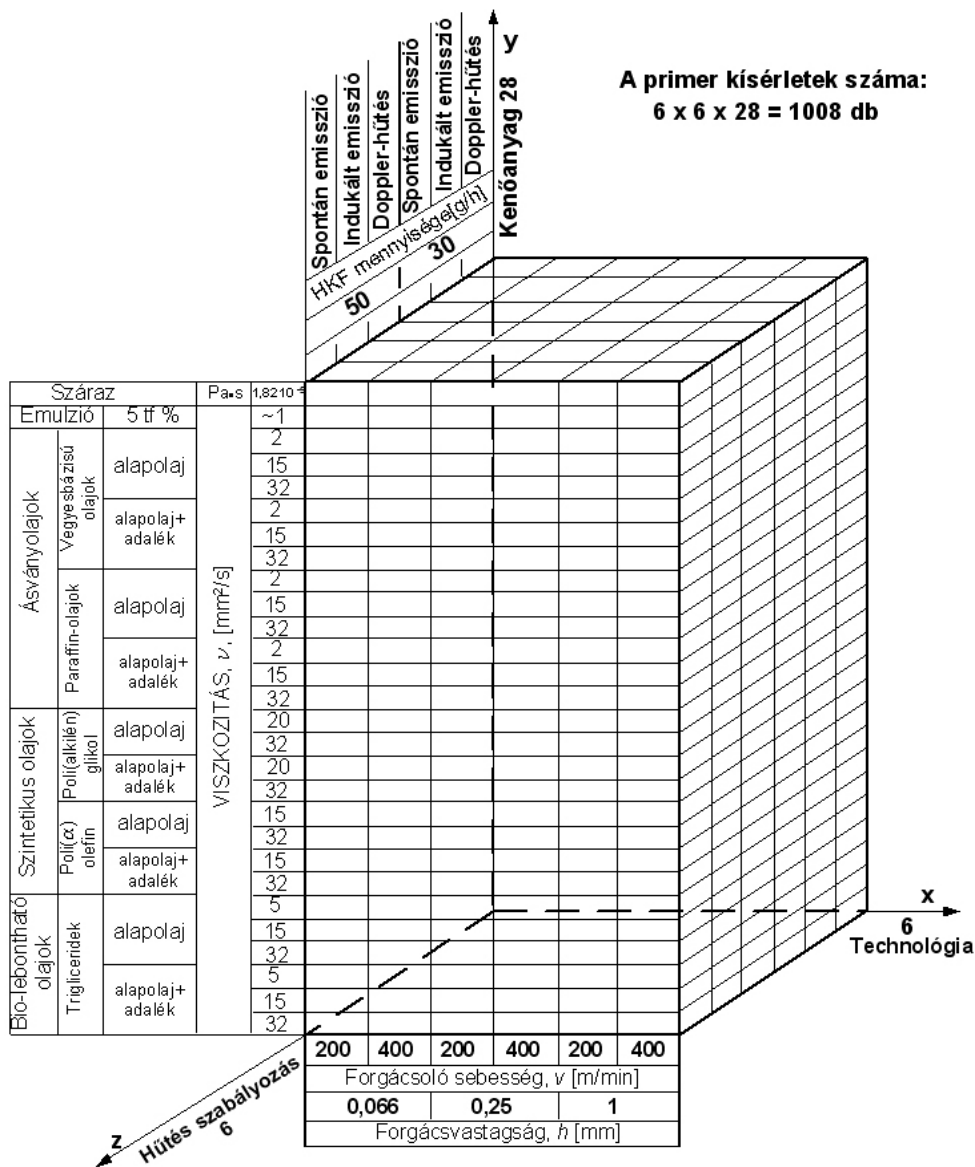
#### 2.1.1. A kutatási cél megvalósításának elméleti programja

A kísérleti program összeállításánál figyelembe vettem, hogy milyen anyagok jöhetnek szóba, az anyagok rendelkezésre állását és az anyagi-, ill. technológiai

jellemzők közötti kapcsolatok jellegét és erősségét is megvizsgáltam. Ezek alapján állítottam össze a kutatást megalapozó kísérletek mátrixát, ami azonban anyagi-, időbeli, lehetőség és képesség tárgyköréhez tartozó korlátokkal nem számol.

A kísérletek mátrixát a 25. ábra tartalmazza. A kutatási program eredményes végrehajtásához szükséges vizsgálatok száma:

$$Z^{db} = x \cdot y \cdot z = 6 \cdot 28 \cdot 6 = 1008 \text{ kísérlet.}$$



**25.ábra** A kutatási téma elméleti kísérleti terve

Ahhoz, hogy a kísérleti eredményekből szignifikáns, tudományos tézist fogalmazhassak meg, a nagy számok Bernoulli-féle törvénye, ill. a Csebisev-egyenlőség felhasználásával meg kellett határozni a minimálisan szükséges párhuzamos kísérletek számát.

A Csebisev összefüggés a következő:

$$n_1 = 1 + \frac{1}{4 \cdot \varepsilon^2 \cdot \delta} \quad (14.)$$

ahol:

- $\varepsilon$  – az „ $n$ ” számú kísérletekből adódó relatív gyakoriság eltérése az esemény valószínűségétől
- $\delta$  – annak a valószínűsége, hogy a relatív gyakoriság és a valószínűség eltérése nagyobb  $\varepsilon$ -nál.

Több paraméteres vizsgálatnál alkalmazott értékek:  $\varepsilon = 0,3$ ;  $\delta = 0,2$ . Az állandók helyettesítésével  $n$ -re kapjuk, hogy  $n_1 \geq 15$ .

Íly módon az elvégzendő kísérletek száma:  $15 \cdot 1008 = 15120$  db.

A mért jellemzők a forgácsolás tribológiai modelljéből adódnak, ahogy azt az 1.1. fejezet 1. ábrája szemlélteti.

A megmunkált anyagból készített metszeteket krisztallit-módosulás szempontjából is vizsgáltam és értékeltem.

*A kísérletek költségei:*

Anyagköltség: 3400 Ft/kísérlet;  $15120 \cdot 3400 = 51.408.000$  Ft

Munkaidő költség: 1,5 h/kísérlet (900Ft/kísérlet)  
 $15120 \cdot 900 = 13.608.000$  Ft

Összesen: 65.016.000 Ft

Felkerekítve a kísérletek közvetlen költsége: ~66 millió Ft.

A 66 millió Ft a teljes kutatási költség mintegy 70 %, így a kutatás teljes költsége:

$$K_k = \frac{66 \cdot 10^6 \cdot 100}{70} \approx 95 \text{ millió Ft.}$$

*A kísérletek munkaigénye:*

Egy 3 fős kutatócsoport 8 órás műszakban 4 mérést tud elvégezni. Ebből a szükséges műszakok száma:  $\frac{15120 \cdot 1,5}{4} = 5670$  nap. Egy vizsgáló hely esetén évi

280 munkanappal és műszakkal számolva  $\frac{5670}{280} \approx 21$  év.

Egy ilyen teljeskörű kutatás végrehajtására nincs esély. A rendelkezésre álló mintegy 2 millió Ft-tal, ami a tényleges igénynek  $\frac{2}{95} \cdot 100 = 2,1\%$  – a szükséges

és elégséges kísérletek töredékét lehet elvégezni. Ezzel arányosan csökken a kutatási eredmények megbízhatósága. A rendkívül nagy különbség a szükséges és lehetséges kutatási munka között csak részben kompenzálható szakmai felkészültséggel és kutatási tapasztalattal.

### 2.1.2. A végrehajtható erősen szűkített kísérleti program

Az elméleti kísérleti programot – a kísérleti feltételek korlátozottsága miatt – erősen szűkíteni kellett (9. táblázat). A nagymérvű szűkítést azonban igyekeztem úgy végrehajtani, hogy az a kutatási program tartalmát alapvetően ne érintse. Ezért a rendszerjellemzők közötti kapcsolatok erősségének sorrendjében hajtottam végre a szűkítést. Egyidejűleg a párhuzamos kísérletek számát a „még elégséges” szintre csökkentettem.

A mérőberendezés hitelesítését és a vizsgálatok reprodukálhatósági szintjének meghatározását nem tekintem a kísérleti programba tartozónak, és azokat a kiegészítő vagy részleteket tisztázó kísérleteket sem, amelyek időközben váltak szükségessé.

9.táblázat A szűkített kísérleti program

Kísérleti kód	HKF mennyisége	Forgácsoló sebesség (m/min)		Spontán emisszió	Indukált emisszió	Doppler-hűtés
		400				
		Előtolás (mm)				
		0,066	0,25			
	száraz	+	+	+		
	száraz	+	+		+	+
	száraz		h = 1 mm	+		
<b>E2-A</b>	emulzió	+	+	+		
<b>M1-32</b>	50 g/h	+	+	+		
<b>M1-32</b>	1. 50 g/h	+	+			+
	2. 30 g/h	+	+			+
	3. 30 g/h	+	+		+	
	4. 50 g/h	+	+		+	
<b>M2-2</b>	1. 50 g/h	+	+			+
	2. 30 g/h	+	+			+
	3. 30 g/h	+	+		+	
	4. 50 g/h	+	+		+	
<b>M3-2</b>	1. 50 g/h	+	+	+		
	2. 30 g/h	+	+			+
<b>M4-5</b>	1. 50 g/h	+		+		
	2. 30 g/h		+	+		
<b>M5-5</b>	1. 50 g/h	+		+		
	2. 30 g/h		+	+		
<b>M6-15</b>	1. 50 g/h	+		+		
	2. 30 g/h		+	+		
<b>M7-32</b>	1. 50 g/h	+		+		
	2. 30 g/h		+	+		
<b>M8-32</b>	1. 50 g/h	+		+		
	2. 30 g/h		+	+		
<b>M10-32</b>	1. 50 g/h	+		+		
	2. 30 g/h		+	+		

## 2.2. Kísérleti feltételek, eszközök, mérések és a vizsgológép hitelesítése

### 2.2.1. Kísérleti feltételek, eszközök

#### A környezeti feltételek

Kísérlet körülményei: Normál klíma DIN50014 és ISO554-1970

Klíma jel: Normálklíma DIN50014 – 20/65 – 1

Klíma jellemzők követelményei:

Rövid jel	Levegő hőmérséklet t [°C]	Relatív páratartalom U [%]	Harmatpont t <sub>a</sub> [°C]	Légnyomás p [kPa]	Levegő-sebesség v [m/s]	Pontossági osztály [-]	Lég-hőmérséklet eltérés Δt [K]	Relatív pártartalom eltérés ΔU [%]
20/65	20	65	13,2	860 – 1060	≤ 1	1	± 1	± 3

#### A kísérletek helyszíne

A kísérleteket a Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Karának, Gépipari Technológiai Intézet tanműhelyében és laboratóriumában végeztem. A kísérletnél alkalmazott hűtő-kenő folyadékok egy részét a MOL-LUB Kutatólaboratóriumban állítottuk elő, kisebb részét a CASTROL- ARAL cég bocsátotta rendelkezésemre. A HKF-ok szükséges fizikai-kémiai vizsgálatait a MOL-LUB laboratóriumában végezték.

A csiszolatokról a felvételeket a Széchenyi István Egyetemen készítettem el.

#### Kísérlethez használt szerszám

A kísérlet elvégzéséhez a „Sandvik” titán-nitrid bevonatos (TiN – Jele: HC/TiN, a DIN/ISO 513 szerint CNMG 1204 08 PF 4015) forgatható lapkáját választottam, amelyet egy 20 x 20-as keresztmetszetű készárba rögzítettem: (PCLNR 2020K 12 ( $\gamma = -6^\circ$ ,  $\lambda_s = -6^\circ$ ,  $\kappa_r = 95^\circ$ )) (Sandvik 2007).

#### Munkadarab

Munkadarab minősége: MSZ EN 10084-1:2001 szerint – A1:2001, 42CrMo4-es (anyagszám: 1.7225), az ötvözött, nemesíthető acélok csoportjába tartozik, amelyet nagy szívósságú gépjárműalkatrészek gyártásához használnak. Széntartalma meghaladja a 0,2 %-ot, ezért szilárdsága és szívóssága hőkezeléssel jelentősen fokozható.

Jellemző méretei: Ø100 x 1000 mm (kb.: 61 kg/m). Az alapanyag mübi-

zonylata a M2. -, a keménységmérés jegyzőkönyve az M3. mellékletben látható.

### *Szerszámgép*

A kísérleteket egy Bolgár gyártmányú C11A típusú egyorsós esztergapadon folytattam le. Választásom azért esett e szerszámgépre, mert a számomra fontos legnagyobb fordulatszámot itt tudtam beállítani.

Jellemző méretei:

- csúcstávolság:	1550 mm
- csúcsmagasság:	250 mm
- elérhető fordulatszám tartomány:	16-2000 min <sup>-1</sup>
- fokozati tényező:	1,25
- morze:	5
- motor fordulatszám:	1440 min <sup>-1</sup>
- motor teljesítmény:	15 kW
- szivattyú teljesítmény:	0,6 kW
- szerszámgép merevsége:	250 N/μm
- rezgés:	mentes.

### *A minimál kenést megvalósító rendszer*

A minimál kenőanyag felhordásához a NOGA vállalat „Cobra 2000”-es kenőfolyadék adagolóját használtam. „Cobra 2000” cseppadagolót (26. ábra), szabályozott, kis mennyiségű folyadék adagolására (kilövésére) tervezték. A felhordó rendszer pneumatikus, 3 – 9 bar nyomású, tisztított, sűrített levegővel működik.

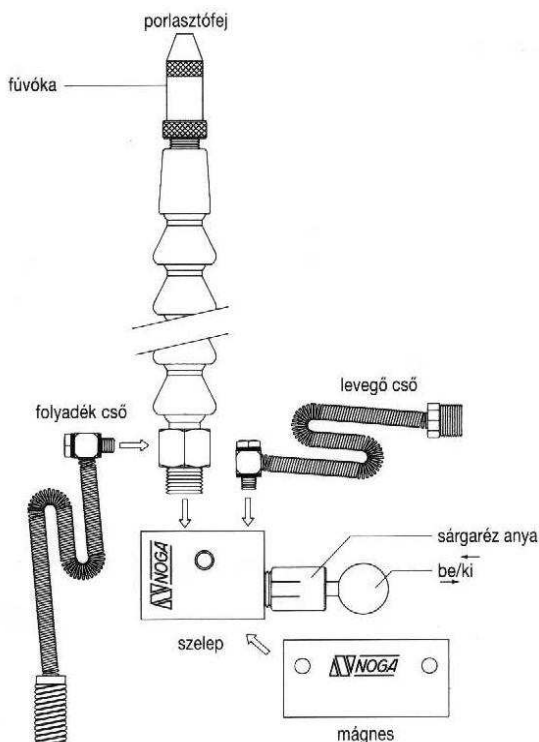
A készülék csatlakoztatható a szerszámgép meglévő szerelvényeihez. Egy állandó mágnessel lehet rögzíteni a szerszámgép bármely fém részéhez. Helyigénye minimális, így a megmunkálást nem akadályozza. A készüléken megvalósítható a független levegő és folyadékszabályozás, amely lehetővé teszi az olajcseppek méretének megválasztását. Az olajfogyasztást 50 g/h- ill. 30 g/h-ban állapítottam meg. A forgácsoló szerszám forgácsolóélén kialakított mikroszkopikus olajfilm pontosan a szükséges helyen teszi lehetővé a jó színvonalú kenés megvalósítását.

A hűtést és a forgács eltávolítását - a vágóolaj szállítását végző - levegő segíti. Az olajfilm – a forgács leválasztás során keletkező hő miatt – gyakorlatilag teljesen elhasználódik, füst ill. kellemetlen szag nem keletkezik.

Ajánlott, lehetséges alkalmazásai a következők:

- egyszeri cseppek kilövése, mely mechanikus vezérlésű útszeleppel vagy automatikus vezérlésű impulzus generátorral szabályozott
- u.a. mint az előző pont, de a cseppeket elporlasztja
- egy újabb szelep beiktatásával, csak levegőt adagol, mellyel a munkaterület tisztítható, illetve a szerszám hűthető.





26. ábra A „Cobra 2000” felépítése

### ***Az alkalmazott mérőeszközök***

A vizsgálatokhoz az alábbi mérőeszközöket használtam:

- mikrométer (mérési tartomány: 50 – 75 mm és 75-100 mm)
- hagyományos tolómérő (1/20 – 150 mm)
- fémmikroszkóp (csiszolatvizsgálathoz, tip.: Zeits Axi imager 1M, a kiértékeléshez Axiovision 4.7 program)
- lapkatömeg méréséhez WA33 (TYP PRLTA13) típusú analitikai mérleg (pontosság: 0,001g)
- induktív útmérő az elmozdulással arányos forgácsolási erő méréséhez (tip.: TR102)
- jeladó a fordulatszám méréséhez (egyedi kivitel)
- mérő-adatgyűjtő (Spider8 controll, Catman 4.5 program)
- IGA 300-as infra hőmérő (minősítési kivonata M4. melléklet tartalmazza)
- Mitutoyo SJ 201P típusú gyémánt fejes felületi érdességmérő
- fotonelektronokat spontán és indukált emisszióval (látható fénnel), a lézerhűtés, (a lézer: <1 mW, 630-680 nm, még nem vágó lézer): egyik alapvető változatát a Doppler- hűtést alkalmaztam. A leghatékonyabb lett volna a  $\gamma$ -sugárzás, amely azonban technikai feltételek hiányában nem tudtam alkalmazni.

## *A mérési eredmények rögzítése és megadásának módja*

A mérési eredményeket célszerűen kialakított adatlap tartalmazza. Az adatlapon az alábbi adatokat rögzítettem:

- a kísérlet kódszámát
- a lapka jelét és anyagát, azonosítóját
- a mérés dátumát
- a mérések számát
- a kiinduló átmérőt
- a mért átmérőket ( $D_i$ )
- a forgácsoló sebességet ( $v_c$ )
- a megtett út hosszát ( $s$ )
- az átlagos felületi érdességet ( $R_a$ )
- a maximális egyenetlenséget ( $R_y$ - $R_{max}$ -)
- az egyenetlenség magasságot ( $R_z$ )
- a simasági mérőszámot ( $R_q$ )
- a fordulatszámot ( $n$ )
- a főforgácsoló erőt ( $F_c$ )
- a forgácsolási zónában lévő hőmérsékletet ( $T$ ) és a munkadarab hőmérsékletét ( $T_{mab}$ ).

## *A forgácsoló erő méréséhez szükséges eszközök*

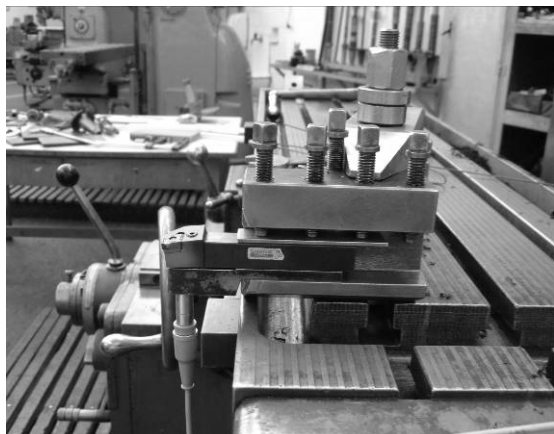
Egy vizsgáló berendezés megfelelőségét alapvetően a mért mennyiségek rendszeres és véletlen hibája, ismételhetőségi és reprodukálhatósági szórása, állékonysága, stabilitása, kalibrálhatósága és az előírt funkcióra való alkalmassága dönti el (Ernst 1951, Fridrik 1987). Mindezek teljes körű pontos, egzakt meghatározása költséges, időigényes, ezért többnyire csak a hitelesített, illetve hitelesítettni kívánt műszereknél végzik el.

A forgácsolóerő rendszeres hibájának meghatározási módját és az erőmérő kalibrálását, karakterisztikájának meghatározását a következőkben mutatom be. Az elmozdulással arányos forgácsolóerő méréséhez induktív útdát (TR102) használok, melynek befogásához egy befogófejet (27. ábra) terveztem, amelynek rajzdokumentációja az M6. mellékletben található.

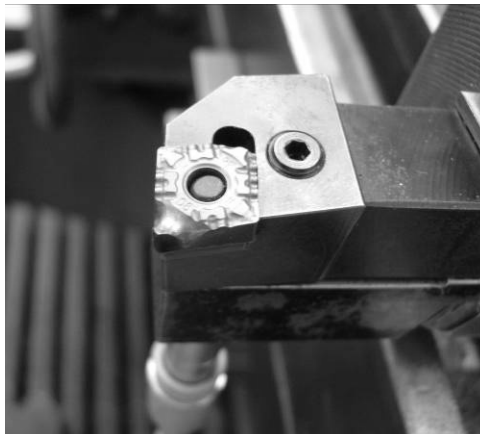


**27. ábra** Induktív útdát befogója

A befogó a szerszámmal együtt rögzítettem a késtartóba (28. ábra)



**28. ábra** Induktív útdó megfogása a késtartóba

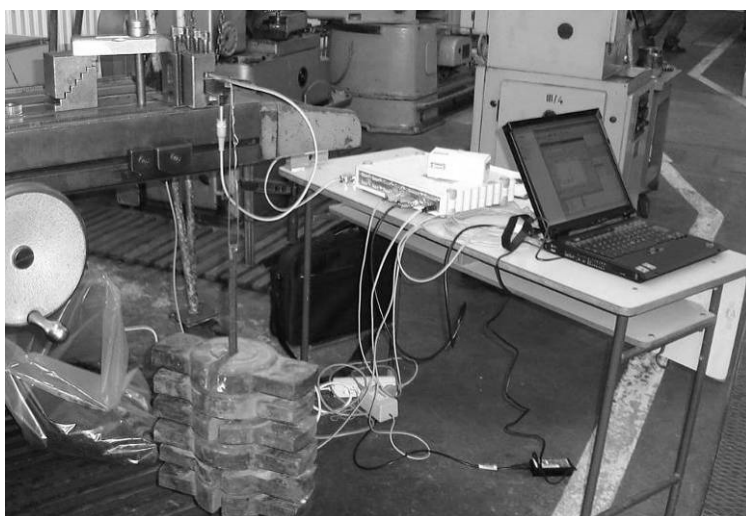


**29. ábra** A megmunkált lapka

Ahhoz, hogy a csúcsot tudjam tartani és a megfogás is kellően merev legyen a készszárból és a késtartóból is le kellett munkálni 2-2 mm-t.

A mérési rendszer kalibrálását a következőképpen végeztem el. Egy marógép asztalára megfelelően rögzítettem a késtartót, amelybe már befogtam az induktív útdó megfogóját is. A lapkára egy hornyot köszörültem (29. ábra), hogy a terheléskor a súlyok mindig a csúcs hatásvonalába essenek. A súlyokat tartó szár tömegét lemértem (0,75 kg), majd a lapkán elkészített horonyba tettem.

A következő lépésként beállítottam az induktív útdó felső síkja és a készszár közötti hézagot (hézagoló-lemezek segítségével – a hézagoló-lemezek vastagságát mikrométerrel mértem meg -, a beállított rész nagysága 0,39 mm). Az induktív útdót bekötöttem a mérő rendszerbe, majd elkezdtem terhelni a rendszert, fokozatosan tettem fel a 10 kg és 5 kg tömegű súlyokat. Az erőmérő karakterisztikájának felvételéhez hitelesített súlyokat alkalmaztam. A vizsgálatot a 30. ábra mutatja be.



**30. ábra** Az erőrendszer kalibrálása

A kapott eredményekből jól látható, hogy a forgácsoló erőmérő karakterisztikája a teljes mérési tartományban tökéletesen lineáris (M5. melléklet). Az erőmérő rendszer kalibrálása után a rendszer érzékenységét is meghatároztam. Az érzékenység méréséhez kisebb súlyokat használtam (0,01 kg, 0,1 kg, 0,2 kg, 0,5 kg). Az erőmérő rendszer érzékenység ezek után 0,13 kg/mV lett.

#### *A fordulatszám méréséhez szükséges eszközök*

A fordulatszám meghatározásához egy egyedi tervezésű számlálót készítettem, amelyet a szerszámgép főorsójára rögzített lemezzel tudtam mérni a frekvenciát, amelyet a mérőadatgyűjtő rögzített. Ez a számláló egy optikai jeladó, amely reflexiós elven működik.

A vizsgálat menete a következő volt. A főorsóra szerelt tárcsán egy 5 mm-es helyet szabadon hagytam, a többi részét teljesen befestettem a visszaverődés elkerülése miatt. Ezt követően a számlálót felszereltem az erre a célra kialakított tartóra (a távolság 5 mm volt), majd bekötöttem a mérőadat-gyűjtőbe (Spider 8). A rögzített adat a frekvencia ( $f$ ) volt, amelyet Hz-ben kaptam meg, ezzel az ismert összefüggés alapján lehet percenkénti fordulatszámot meghatározni.

A kerületi sebességet a  $v_{ker} = r \cdot \omega$  (15.) összefüggéssel számoljuk. A szögsebesség  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  (16.). A percenkénti fordulatszám és a szögsebesség kapcsolata

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}$  (17.). A (16.) és (17.) összefüggésből  $2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}$ , azaz

$f = \frac{n}{60}$  (18.) illetve  $n = f \cdot 60$  (19.).

#### *A hőmérséklet méréséhez szükséges eszközök*

A hőmérséklet méréséhez egy IGA 300 típusú infra hőmérőt használtam. Ennek a hőmérőnek a kalibrálását a gyártó cég elkészítette, ellenőrző lapját az M4. melléklet mutatja be. Ennek a mérőeszköznek a kalibrálását 2 évenként kell elvégezni (a kísérleteimet 2008. 05.29.-én kezdtem el).

#### **2.2.2. A vizsgálóberendezés működési megbízhatóságának ellenőrzése**

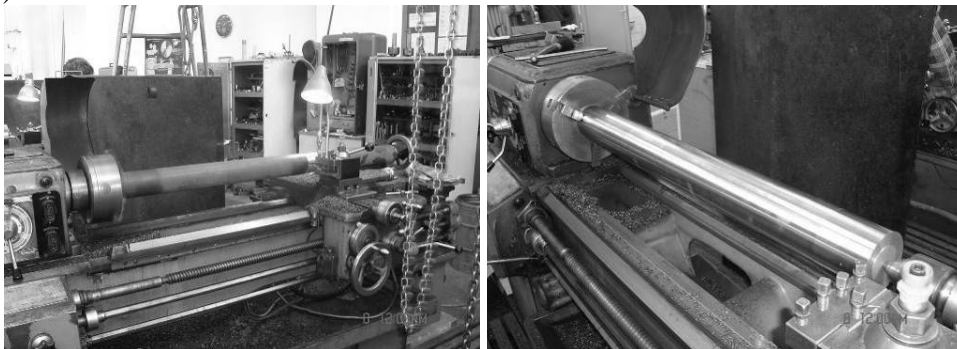
A kísérleti program megkezdése előtt 5 tf%-os emulzióval működési és megbízhatósági vizsgálatokat végeztem, ennek alapján az egyes vizsgálati eredményének reprodukálhatósági tartományát behatároltam. Az erről készült jegyzőkönyveket letétbe helyeztük. (EA-1: 5 tf%).

A munkadarabokat 1000 mm-es méretre darabolva szállították, mivel ez volt a gépbe még megfelelően befogható munkadarab hossza.

A szerszámgépbe (EU630-as esztergapad,  $n = 125 \text{ min}^{-1}$ , kézi előtolás) való befogás után a munkadarabokat állóbábbal megtámasztottam, az oldalfelületet tisztára oldalaztam, hogy a másik szerszámgépbe fogva megfelelően felfeküdjön, majd

központfuratot készítettem (B 5x18 HSS).

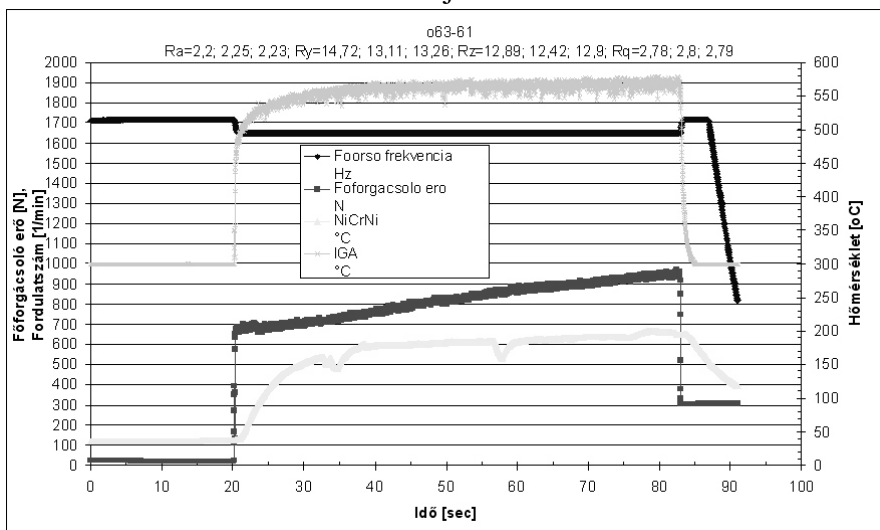
A központfurat elkészülte után a munkadarabot  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$  fordulatszámra, 1 mm-es fogásmélységgel és 0,174 mm-es előtolással eltávolítottam a felületi réteget a munkadarab palást felületéről (palástesztergálás). Erre azért volt szükség, mert a felületen jelentős mennyiségű oxidréteg (rozsdás, felületi korrózió, reves) volt. Ennek eredményeképpen látszólag sima fémes felületet kaptam. (31. ábra)



31. ábra A felület előkészítés előtt és után

A tengely megmunkálásánál a megmunkált hossz 500 mm lesz, mégpedig a következőképpen: az 1000 mm-es tengelybe 500 mm-nél beszúrás készítem, és így munkáltam meg a tengelyt, majd egy fordítás után a tengely másik 500 mm-es hosszát is veszteség nélkül meg tudom majd munkálni. A méréseket a HSS3 jelű lapkával végeztem el. A próbamérések során már együtt mértem a fordulatszámot, a hőmérsékletet és a forgácsolóerőt, valamint a felületi érdességeket is.

Az elvégzett mérések során, azonban a tengely közepe felé haladva az ütés nagy volt (beigazolódott a  $l/d$  viszony miatti rossz munkadarab-befogás), amelyre a forgácsoló erő változásából is lehetett következtetni. A próbamérések közül egyet kiragadva a 32. ábrán mutatom be a mért jellemzők változását.



32. ábra A vizsgált adatok a mérőeszközök beállítását után

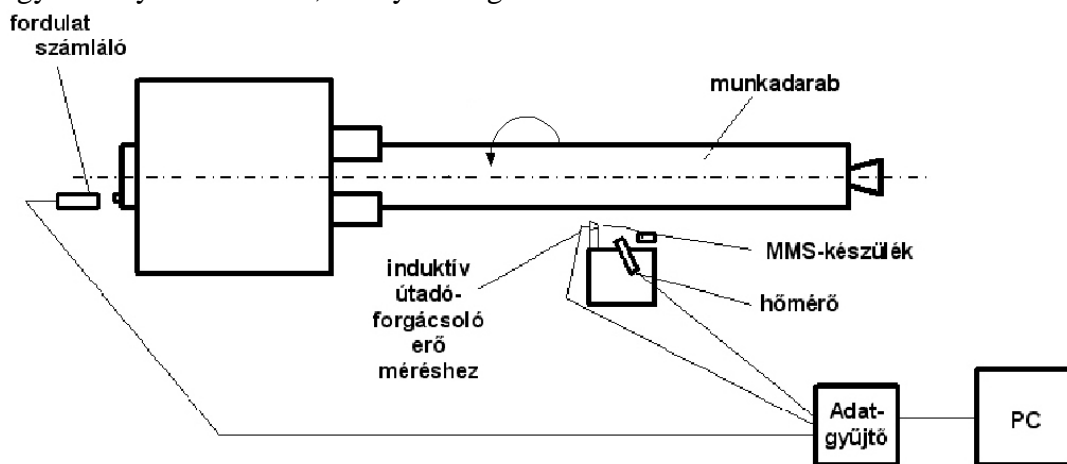
A felületi érdesség is jelentősen változott ( $R_a = 2,83 \mu\text{m}$ -ről az  $R_a = 4,65 \mu\text{m}$  lett) a tengely közepe felé haladva, így arra a következtetésre jutottam (az elméletet is figyelembe véve, Dudás 2000), hogy az 1000 mm-es tengelyt 2 x 500 mm-es darabba vágva, az ütés mértéke minimálható.

A felületi érdességeknél az átlagos felületi érdességet vettem elsősorban figyelembe. A vizsgálatokhoz a  $3,2 \mu\text{m}$ -es átlagos felületi érdességet választottam alapul, azért mert a szabvány ezen érték alatt adja meg a simított felület átlagos felületi érdességét. Az előkísérletek során a felületi érdességekkel kapcsolatban az is kiderült, hogy a kiindulási állapot után az értékek csökkennek, majd a bekövetkező szerszámkopás miatt a jellemzők romlanak.

Ezen megfontolás alapján a kísérleteknek akkor lesz vége, ha a szerszám forgácsolási megmunkálásra alkalmatlanná válik, vagy eléri a kísérleti határértéként kitűzött  $VB_{max} = 200 \mu\text{m}$  értéket. Amennyiben a felületi érdesség kb. 1 óra elteltével jelentősen nem változik meg, akkor az adott pillanatban vizsgálom meg a lapka állapotát.

Következő lépésként normál környezeti hőmérsékleten ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) megmértem a munkadarab átmérőjét szabványos mikrométerrel (MT 75-100 mm), majd a mérési eredményeket jegyzőkönyvekben rögzítettem.

A mérőkör felépítését a 33. ábrán mutatom be. A szerszámgép késtartójához egy állványt készítettem, amelyhez rögzítettem az aktivációs elemeket.



33. ábra A mérőkör elvi vázlata

*A méréseknél a következő aktivációs és hűtési módokat használtam*

**Spontán emissziót.** Ennek megfelelően az atom külső okok nélkül átmehet egy alacsonyabb energiájú állapotba. Erről tehát akkor beszélünk, amikor az atom a magasabb energiájú  $E_2$  állapotból egy  $\nu \approx \nu_0$  frekvenciájú foton kibocsátásával kerül az alacsonyabb energiájú  $E_1$  állapotba  $\left( \nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \right)$ .

Spontán emisszióval történő hűtés: ebben az esetben nem volt szükség semmilyen más egyéb eszközre, hiszen a Planck-féle együtthatók vizsgálatakor kiderült, hogy ez a hűtési mód mindig jelen van. Egy ilyen mérést mutat be a 34. ábra.



34. ábra A spontán emisszióval történő hűtési mód



35. ábra Az indukált emisszióval történő hűtési mód

**Indukált emisszióval<sup>2</sup>** történő hűtés: ebben az esetben egy párhuzamos fénysugarú eszközt (LED-es lámpát) és a lézert használtam, melyet egy állványon rögzítettem az esztergapad késtartóján. Ezt mutatja be a 35. ábra.

**Doppler-hűtés:** lézerekkel atomi szinten megvalósított energia-eltávolítás (hűtés). A sűrűlódás folyamán a hőmérséklet állandóan emelkedik, mivel a mozgó atomok amplitudója növekszik, ezt a hatást szabályozza le a lézer úgy hogy a szembejövő mozgó atomokat a lézer lefékezi.

A szabályozott állapot az állandóságig fokozható – pl.: pontos atomórák - . A Doppler-hűtésnél a késtartóra szerelt állványra egy lézert<sup>3</sup> szereltem fel, ahogy ezt a 36. ábra mutatja. A lézer ( $P < 1 \text{ mW}$ ,  $\lambda = 630 - 680 \text{ nm}$ ), amit használtam még nem roncsoló lézer (tehát vágásra nem alkalmas), amely két funkciót látott el egyrészt indukált aktivációt, másrészt az ún. Doppler-hűtést.

---

<sup>2</sup> Egy  $\nu$  frekvenciájú foton hatására egy ugyanolyan tulajdonságú „hasonmás” foton keletkezik, miközben az atom a magasabb energiájú  $E_2$  állapotból az alacsonyabb energiájú  $E_1$  állapotba kerül.

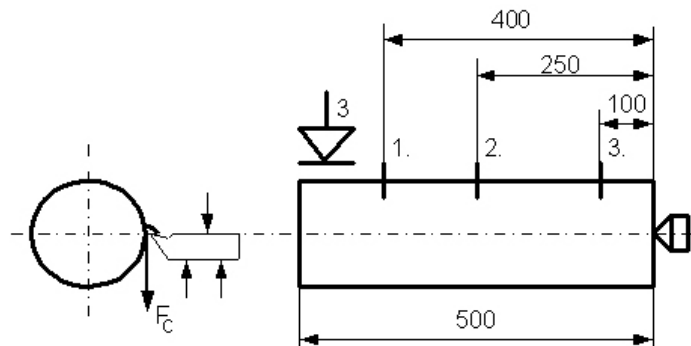
<sup>3</sup> A lézerben tulajdonképpen fotonokszorozás történik az indukált emisszió révén, mert a gerjesztett fotonok újabbakat hoznak létre és lavinaszerűen kerülhetnek az alapállapotba.



36. ábra A Doppler-hűtés alkalmazása

### *Mérési helyek, mérési kritériumok*

A munkadarab átmérőjét mikrométerrel (MT 75-100 mm) határoztam meg. A munkadarabon három mérési helyet jelöltem ki. (37. ábra) Az első mérési hely a véglaptól számítva 400 mm-re volt a második a munkadarab közepén a harmadik, pedig a véglaptól számítva 100 mm-re.



37. ábra A mérési helyek

A felületi érdességeket ( $R_a$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ,  $R_q$ ) szintén a kijelölt három helyen mértem meg, minden fogásvétel után. A mérések eredményeit átlagoltam és ezen adatokat rögzítettem a táblázatban. A mérések addig tartottak, ameddig a felületi érdesség jelentősen ( $R_a > 3,2 \mu\text{m}$ ) nem romlott illetve a szerszám forgácsolóéle kopottá vált, tehát elérte a kísérleti határértékként kitűzött  $VB_{max} = 200 \mu\text{m}$  értéket.

Az elvégzett próbamérések során, megfelelően beállítottam az infra-hőmérőt, amelynek fókusz távolsága 90 mm volt.



Következő lépésben a lapka tömegét határoztam meg és az eredményeket, amelyhez a kopást viszonyítottam a 10. táblázatban rögzítettem. A lapkák tömegét analitikai mérleggel mértem le. A mérleg pontossága: 0,001 g.

**10. táblázat** A TiN-lapkák tömege

A lapka jele	Tömeg (g)	A megváltozott tömeg (g)	
		08-Alsó oldal	PF-Felső oldal
TiN 1 (próba)	9,091	-	-
TiN 2	9,094	9,080	9,083
TiN 3	9,083	9,062	9,070
TiN 4	9,084	9,080	9,081
TiN 5	9,078	9,071	9,072
TiN 6	9,090	9,064	9,066
TiN 7	9,079	9,065	9,069
TiN 8	9,090	9,086	9,088
TiN 9	9,085	9,082	9,081
TiN 10	9,085	9,085	9,079

A táblázat első oszlopában a lapkák jele található (a kísérletek azonosítása érdekében), a második oszlop tartalmazza a kiinduló tömeget. A harmadik és negyedik oszlop a megmunkálás utáni kopott lapkák tömegét mutatja meg. (A lapkákat a kísérletek során forgattam.) A lapkánál azt tekintetem felső oldalnak, ahol a lapka oldalán látható számot el tudom olvasni, az alsó oldalnál - a lapka 180°-al el van forgatva - a szám takarva van.

A kísérlet végét a szerszámkopás határolja be. A kísérleti határértéket a hát-kopásra adtam meg:  $VB_{\max} \leq 200 \mu\text{m}$ , vagy ha a szerszám már megmunkálásra alkalmatlan. Jelzőszáma a felületi érdesség jelentős romlása volt.

A kísérletek elvégzéséhez a szerszámgépre a következő technológiai paramétereket határoztam meg a szakirodalom áttekintése után:

- előtolás: 0,25 mm
- fogásmélység: 1 mm
- fordulatszám: 2000  $\text{min}^{-1}$ .

A forgácskeresztmetszet meghatározása:

$$A = a \cdot f = 1 \cdot 0,25 = 0,25 \text{ mm}^2$$

A főforgácsolóerő meghatározása:

$$k_{c1,1} = 2500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad m = 0,26,$$

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{f^m} = \frac{2500}{0,25^{0,26}} = 3580 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = k_c \cdot A = 0,25 \cdot 3580 = 895 \text{ N}$$

A leválasztott forgácstérfogat meghatározása:

$$V_f = a \cdot f \cdot v_c \left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \right] \quad (20.)$$

A forgácsolás sebessége az átmérő függvényében csökken, mivel a gép fordulatszáma állandó. A próbamérések viszont azt is kimutatták, hogy a szerszámgépen beállított 2000  $\text{min}^{-1}$ -es fordulatszám értéke – a mérések szerint – valójában 1750  $\text{min}^{-1}$ . Én tehát a mért értékkel határozom meg majd a forgácsoló sebességet.

A forgácsoló sebességet az  $n = \frac{10^3 \cdot v_c}{D \cdot \pi}$  (21.) ( $\text{min}^{-1}$ ) összefüggésből a  $v_c = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{10^3}$  (22.) [ $\text{m/min}$ ] képlettel számoltam ki, a  $D$  (mm) értékét mindig a munkadarabon történt mért értékek átlagával vettem figyelembe.

A forgácsoló sebesség ( $v_c$ ) állandó tartománya:  $290 \frac{\text{m}}{\text{min}} \leq v_c \leq 450 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ . A megtett út hosszát ( $s$ ) a  $D \cdot \pi \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-3}$  (23.) összefüggéssel számoltam ki, ahol „ $l$ ” a vizsgált hossz jelöli. A forgácsolási teljesítmény a  $P_c = F_c \cdot v_c$  [W] (24.) összefüggéssel határozható meg.

A méréskor az adatokat a Spider 8 controll adagyűjtő és a Catman 4.5 program segítségével rögzítettem. A mért adatokat Excel táblázatokban tároltam el. A fordulatszám, a főforgácsolóerő nagyságánál valamint a hőmérséklet mérésekor kapott eredmények közül a mérési adatokból az Microsoft Office Excel 2003 program statisztikai függvényének segítségével határoztam meg a mért adatok átlagát.

A szerszám megmunkálási periódusát a fogásba lépéstől a kilépésig vettem figyelembe, és az átlagértéket az Excel 2003-as program matematikai függvényével határoztam meg.

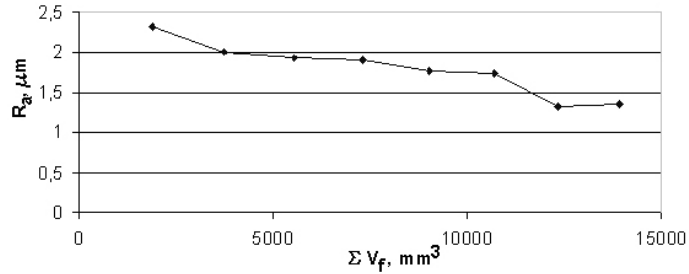
Az így kapott eredményt a táblázatban rögzítettem. Majd ezen táblázati adatok alapján készítettem el (szakirodalom alapján) a következő diagrammokat  $R_a - V_f$  (az átlagos felületi érdesség – a leválasztott forgácsmennyiség),  $VB - s$  (hátkopás mértéke – megtett út),  $VB - V_f$  (hátkopás mértéke - a leválasztott forgácsmennyiség).

Egy teljes sorozat mérést végeztem el (a legrosszabb esetet figyelembe véve), annak érdekében, hogy meg tudjam állapítani hol lesznek azon pontok – a forgácsolóél teljes tönkremenetelig arányosan elosztva – ahol meg kell mérnem a lapkák tömegét. A kísérlet alapján úgy döntöttem, hogy a lapka tömegének változását a 3., 5., 7. és 9. fogásvétel után mérem meg.

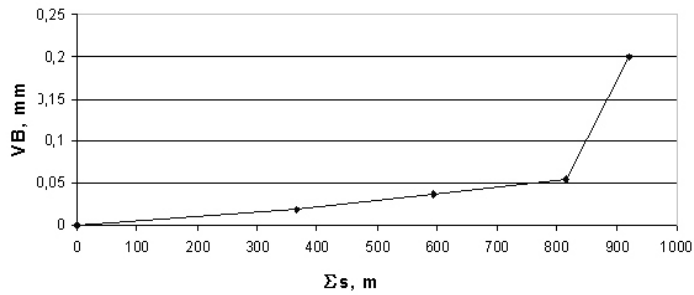
Amennyiben hosszabb lesz a forgácsolási ciklus úgy további 3 fogásonként mérem a lapka tömegét. A kísérlettől várt eredmény, a hátlaon merhető kopás értéke nagyobb, mint 0,2 mm, vagy a szerszám használhatatlanságának elérése.

A vizsgált hossz a munkadarabon  $l = 450$  mm. A vizsgálati eredményekből készült diagrammokból a következőkben mutatok be egy példát:

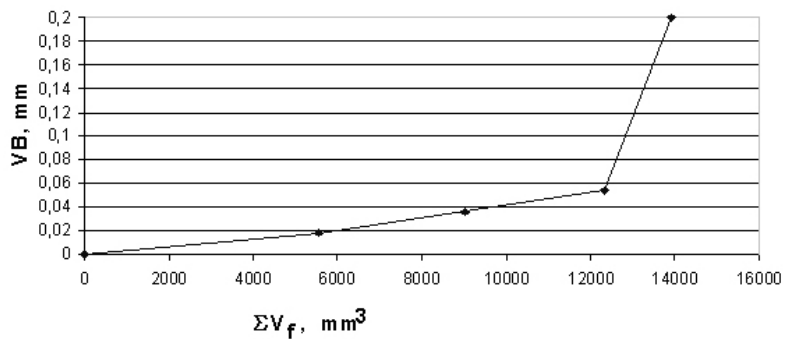
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



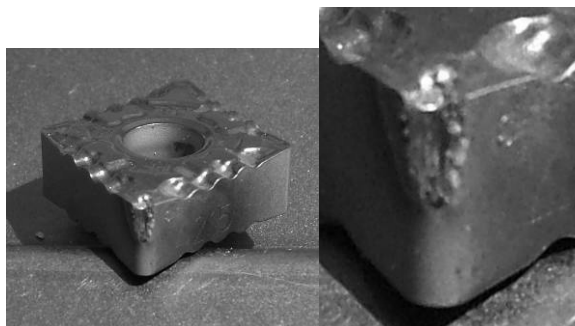
„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében



A következő 38. ábra mutatja be a lapkán történt változásokat.



38. ábra Az elhasznált lapka

Az eredmények elemzése:

- az átlagos felületi érdesség mérőszáma csökken a leválasztott forgácsmeny-

nyiség változásával, majd amikor a szerszám éle használhatatlanná válik, akkor romlik a felület minősége

- a hátkopás értéke folyamatosan emelkedik a megtett út függvényében, majd kb. 900 m megtétele után az értéke hirtelen emelkedik, ami jelzi a szerszám élének elhasználódását
- ugyanezt a folyamatot tapasztaljuk, a hátkopás-leválasztott forgácsolómennyiség függvényében is.

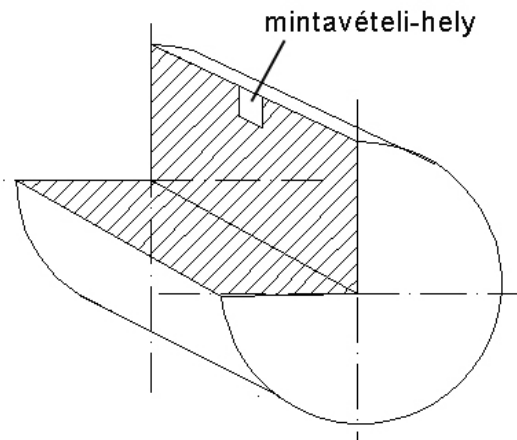
### *Krisztallit-módosulás vizsgálata csiszolatokon*

A próbadarab helyét úgy kell megállapítani, hogy az jellemző legyen a vizsgálandó termékre, mind összetétel, mind szövetszerkezet szempontjából. A próbavétel módja mindig függ:

- a darab alakjától
- nagyságától, helyzetétől
- a vizsgálat céljától.

A vizsgálati módszer leírás:

1. Minta kivétele (39. ábra) az elkészült munkadarabból metallográfiai gyorsdarabolóval vízhűtés alatt
2. A kivágott darab beágyazása (meleg beágyazással, bakelit alapú anyagba – 3 min, 160 °C -)
3. Előkészítés
  - a. csiszolás (nedves csiszolás SiC alapelegyével vízhűtéssel)
  - b. polírozás gyémánt szuszpenzióval (9 µm, 3 µm, 1 µm sorrendben)
  - c. végezetül 0,05 µm kolloid szilikával.
4. Maratás (alkoholos salétromsavval – NITAL – 3-5 %-os töménység)
5. Mikroszkópos vizsgálat (20x, 50x és 100x sajátnagyítású objektívvel) (Csizmazia 1999, Csizmazia, Fodor 1987)

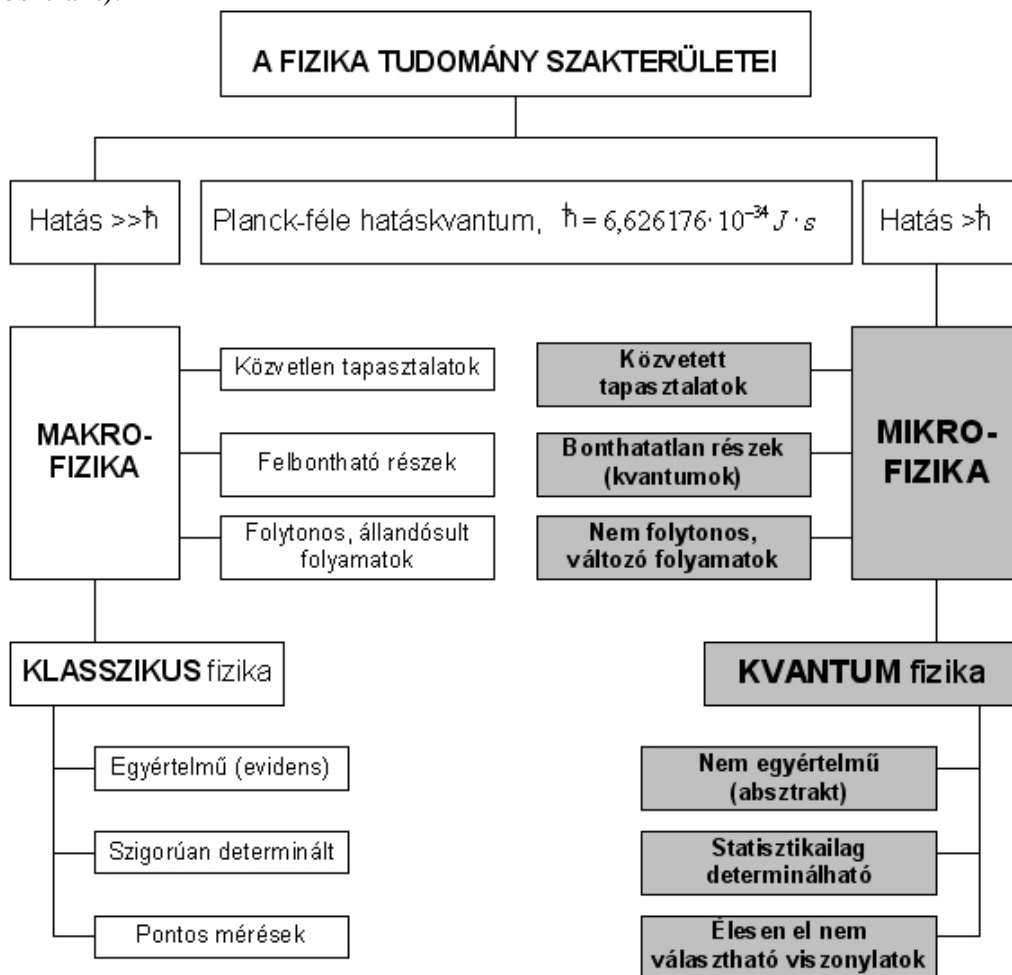


**39. ábra** Mintavételi hely a munkadarabon

### 3. A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK FELDOLGOZÁSA, ÉRTÉKELÉSE

A kísérleti eredmények feldolgozását megelőzően rá kell mutatni arra a megkerülhetetlen tényre, hogy az eredmények csak kisebb részben értelmezhetők a makrofizikai ismeretekkel, nagyobb részük mikrofizikai (kvantumfizikai) tudást igényelnek.

A makró- és mikrofizikai jelenségek mértékének meghatározása mellett a gondolkodásmódban is alapvető különbség van, ahogy az a 40. ábrán összehasonlítva szemlélteti. A 40. ábra nem szorul külön magyarázatra csupán a disszertáció szempontjából rendkívül lényeges két különbséget mutatom be. A rendszerek elemzése során a makrofizikában **minden felbontható részekre**, ezzel szemben a mikrofizikában a **részek bonthatatlanok** (kvantumok). Amíg a klasszikus fizikában a **rendszerek egyértelműek** (evidens) addig a kvantumfizikában **nem egyértelmű** (absztrakt).



40. ábra A fizika tudomány szakterületei

A kísérleti programot úgy állítottam össze, hogy a különböző kenőanyagok, technológiai jellemzők és molekulamanipuláció esetén hogyan változik a hátkopás értéke a megtett út függvényében. Vizsgáltam azt is, hogy a hátkopás mértéke hogyan alakul az átlagos felületi érdesség és az időegység alatt leválasztott forgácsmennyiség függvényében.

A megmunkált anyagból metszeteket készítettem, hogy értékelni tudjam a felszín közeli rétegében kialakuló krisztallit-módosulást és a transláció kialakulását a  $\tau_{\max}$  síkjában. A reprodukálhatósággal kapcsolatban az összes ismételt mérés esetében az eredmények  $\pm 5\%$ -os tartományban vannak.

A fémek alakítási technológiáinál az anyagdeformáció gyakran egy viszonylag keskeny sávra lokalizálódik, ahol a deformációs munka hatására a hőmérséklet közel adiabatikusan emelkedik. Ebbe a keskeny zónában deformáció hatására bekövetkező **alakítási keményedés** mellett **termikus-lágyulással** is számolni kell.

Az egyidejűleg jelen levő ellentétes hatások termoplasztikus instabilitáshoz vezetnek. Az 1200 °C alatt végrehajtott nagy forgácsoló sebességű száraz forgácsolás kivételével – mai ismereteink szerint – a hűtő-kenő folyadékok alkalmazásával csökkentjük vagy minimalizáljuk a forgácsleválasztás instabilitását.

A hűtés jelentőségére Dudás (2000) egy olyan kísérletsorozattal hívja fel a figyelmet, amely kísérletsorozat soha nem került gyakorlati alkalmazásba, nevezetesen, hogy különböző technikákkal száraz jéggel vagy „hőálló” folyadékokkal végzett kísérleteket mutat be, nyilvánvalóan nem azzal a szándékkal, hogy ennek alkalmazásban vételéről bárki is csak elgondolkodjon, hanem magának a hűtésnek a nélkülözhetetlenségére hívja fel a figyelmet.

A klasszikus megmunkálásoknál a kialakult hűtés és kenés technológiák mellett nagyon jól elkerülhetjük vagy elfogadható határok között tarthatjuk az alakítási keményedést, de a rendszer túlhűtésével a forgácsolási energiaszükséglet növekedhet.

Az MMS-kenés lényege ezen a ponton fogható meg, nevezetesen a nyírási síkban a termo-plaszticitás maximalizálható, de az alakítási felkeményedés csak a forgácsolás után a homloklapon meginduló csúszás előtt következzen be, vagyis elemi forgács keletkezzen.

### **3.1. Energiaszükséglet és – megoszlás a forgácsolási hőmérséklet nagysága és eloszlása alapján**

Az energia-felhasználás vizsgálatánál a Kienzle, Victor (1957), Victor (1969) és Dudás (2001) által elvégzett vizsgálatokra támaszkodva, különböző paraméterek változtatásával hajtottam végre a kísérleteimet.

A kísérleti eredmények feldolgozása előtt bizonyosságot akartam szerezni,

az elméleti alapon számított forgácsolási - és a kísérlet során kapott jellemzők között.

A kísérleti eredmények az ide vonatkozó bármely elméletnek megfelelnek, ugyanakkor szükségesnek tartottam a helyességüket – a vizsgálatok során mért másodlagos jellemzők felhasználásával – bizonyítani. Az eredményeket a 11. táblázatban foglaltam össze.

**11. táblázat** A fajlagos energifelhasználás

A kísérlet kód	A hűtés módja	A felhasznált kenőanyag mennyisége [g]	Mért adatok		Számított adatok		Eltérés $\Delta W_{sp1}$ [%]
			$W_{sp1}$ [Ws/mm <sup>3</sup> ]	$k_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$W_{sp1}$ [Ws/mm <sup>3</sup> ]	$k_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
száraz	spontán emisszió	-	3,196	3196	3,08	3080	- 3,63
száraz	indukált emisszió	-	3,376	3376	3,30	3300	- 2,25
száraz	Doppler-hűtés	-	3,252	3252	3,25	3250	- 0,061
E2-A	spontán emisszió	árasztásos	2,645	2645	2,56	2560	- 3,21
M1-32	spontán emisszió	50	3,628	3628	3,65	3650	+ 0,606
M1-32	indukált emisszió	50	3,124	3124	2,84	2840	- 9,09
M1-32	indukált emisszió	30	3,292	3292	3,19	3190	- 3,098
M1-32	Doppler-hűtés	50	3,668	3668	3,47	3470	- 5,39
M1-32	Doppler-hűtés	30	3,240	3240	3,34	3340	+ 3,086
M2-2	indukált emisszió	50	3,260	3260	3,47	3470	+ 6,44
M2-2	indukált emisszió	30	2,508	2508	2,47	2470	- 1,51
M2-2	Doppler-hűtés	50	3,160	3160	3,02	3020	- 4,43
M2-2	Doppler-hűtés	30	2,540	2540	2,52	2520	- 0,78
M3-2	spontán emisszió	50	2,548	2548	2,40	2400	- 5,808
M3-2	Doppler-hűtés	30	2,416	2416	2,40	2400	- 0,662

A legnagyobb eltérés az M1-32-es kísérleti kódszámú indukált emisszióval történő hűtésnél van, 50 g/h kenőanyag felhasználás mellett (- 9,09 %). A legkisebb eltérés az M3-2-es kísérleti kódszámú Doppler-hűtés ahol 30 g/h a kenőanyagfelhasználás (- 0,662 %).

A súlyozott átlagokat tekintve pozitív eredményt 3 esetben, míg negatívát 12 esetben kaptam.

Az elvégzett elemzés egyértelműen bizonyítja, hogy a mért és az elméletileg számított eredmények között a korreláció rendkívül erős, a tribológiai kísérleti rendszerekben határértékként megadott  $r > 0,9$  (DIN 50322).

A vizsgálataimban  $r > 0,95$ , rendkívül kedvező érték.

Az elmélet helyességét igazolta az elvégzett kísérlet sorozat és fordítva is, tehát a kísérlet helyességét igazolta az elmélet.

A mérések során a fajlagos forgácsolóerőre kapott eredményeket a jobb kezelhetőség szempontjából a következő táblázatokba foglaltam össze. (12. - 15. táblázat). A mérésekről készült jegyzőkönyveket az M8 – M14. sz. mellékletek tartalmazzák.

A táblázatokban szereplő  $k_{c1,1}$  fajlagos forgácsolóerő alapértékeket a (6.) összefüggéssel határoztam meg. A kísérleti esztergapadon beállítható legkisebb  $h = 0,067$  mm értékkel minden egyes kísérletnél egy ellenőrző mérést végeztem.

Extrapolált fajlagos forgácsolóerő értékhez a szórás  $\pm 5$  %-os tartományban volt, amiből valószínűsíthető, hogy több párhuzamos mérés esetén – a kutatásoknál is elfogadható -  $\pm 3$  % a szórás tartományban lennének az eredmények.

A száraz-hűtéssel az alkalmazott forgácsolási paraméterek mellett ( $a(b)=1$  mm,  $f(h)=1$  mm) előkísérletet végeztem forgácsolási erő mérésére. Erre azért volt szükség, hogy a referencia-egyeneset saját magam is ki tudjam mérni. Azonban ilyen paraméterek mellett a szerszám gép fordulatszáma folyamatosan csökkent, emiatt a kísérlet értékelhető eredményt nem adott.

**12. táblázat** A fajlagos forgácsolóerő [ $N/mm^2$ ] változása

Mérések száma	92 tf %-os C-14 –es n-paraffin + 8 tf%-os laurilalkohol					
	Kenőanyag mennyisége					
	50 g/h			30 g/h		
	Spontán emisszió			Doppler-hűtés		
	h, mm					
	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1
1.	3457	2455	1712	3364	2390	1666
2.	-	2535	1768	-	2399	1673
3.	-	2603	1815	-	2445	1705
4.	-	2575	1796	-	2432	1696
5.	-	2582	1800	-	2474	1725
<b>Átlag</b>	3457	2550	1778	3364	2428	1693
<b>Szórás</b>	-	58,5	40,7	-	34,3	24,01
<b>Hiba %</b>	-	2,29	2,29	-	1,41	1,41



13. táblázat A fajlagos forgácsolóerő [N/mm<sup>2</sup>] változása

Mérések száma	Zsíralkohol tartalmú, klórmentes aktivált ásványolaj, ISO VG 32														
	Kenőanyag mennyisége														
	50 g/h						30 g/h								
	Spontán emisszió			Indukált emisszió			Doppler-hűtés			Indukált emisszió			Doppler-hűtés		
	h, mm														
	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1
1.	5072	3602	2512	4358	3094	2158	5032	3573	2492	4537	3222	2247	4624	3285	2290
2.	-	3565	2486	-	3028	2112	-	3622	2526	-	3253	2269	-	3143	2192
3.	-	3675	2563	-	3143	2192	-	3696	2578	-	3315	2312	-	3220	2246
4.	-	3628	2530	-	3132	2208	-	3689	2592	-	3292	2296	-	3288	2293
5.	-	3418	2384	-	3203	2234	-	3760	2622	-	3368	2348	-	3264	2278
<b>Átlag</b>	5072	3628	2495	4358	3120	2180	5032	3668	2562	4537	3290	2295	4624	3240	2260
<b>Szórás</b>	-	97,7	68,0	-	64,6	47,01	-	72,1	52,3	-	56,3	38,9	-	60,6	42,2
<b>Hiba %</b>	-	2,70	2,72	-	2,07	2,15	-	1,96	2,04	-	1,71	1,69	-	1,87	1,86

14. táblázat A fajlagos forgácsolóerő [N/mm<sup>2</sup>] változása

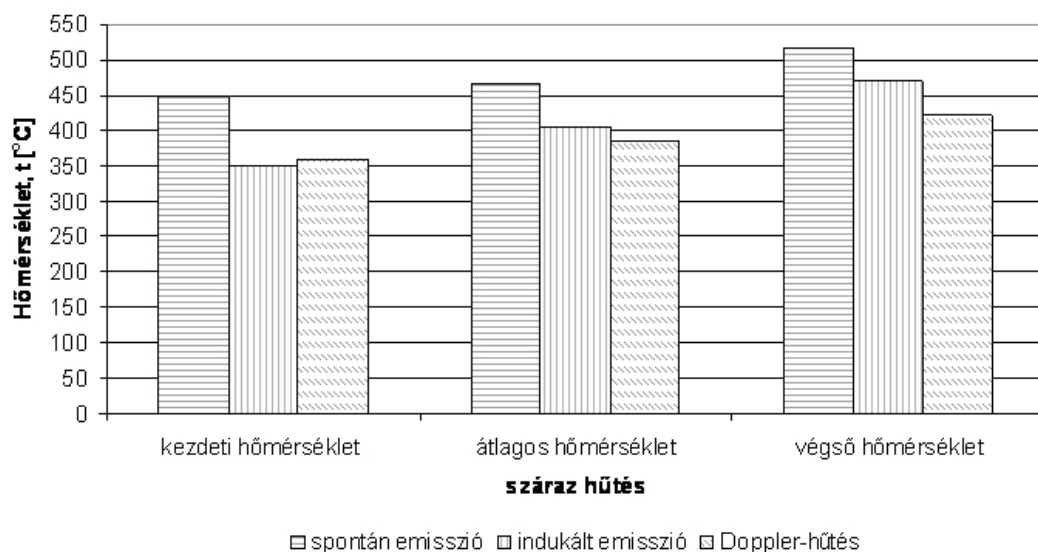
Mérések száma	C-14 –es n-paraffin, ISO VG 2											
	Kenőanyag mennyisége											
	50 g/h						30 g/h					
	Indukált emisszió			Doppler-hűtés			Indukált emisszió			Doppler-hűtés		
	h, mm											
	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1
1.	4616	3278	2286	4396	3122	2177	3491	2480	1729	3633	2581	1799
2.	-	3210	2218	-	3123	2178	-	2521	1758	-	2561	1786
3.	-	3218	2244	-	3221	2224	-	2555	1782	-	2496	1792
4.	-	3321	2316	-	3109	2168	-	2490	1734	-	2543	1774
5.	-	3273	2282	-	3225	2249	-	2504	1746	-	2519	1757
<b>Átlag</b>	4616	3260	2270	4396	3160	2200	3491	2510	1750	3633	2540	1781
<b>Szórás</b>	-	46,03	38,3	-	57,7	35,3	-	29,5	21,2	-	33,5	16,5
<b>Hiba %</b>	-	1,41	1,69	-	1,82	1,6	-	1,17	1,21	-	1,32	0,92

15. táblázat A fajlagos forgácsolóerő [N/mm<sup>2</sup>] változása

Mérések száma	Száras-hűtés									5 tf %-os emulzió		
	Spontán emisszió			Indukált emisszió			Doppler-hűtés			Spontán emisszió		
	h, mm											
	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1	0,067	0,25	1
1.	4500	3132	2184	4626	3285	2291	4469	3173	2213	3643	2586	1804
2.	-	3178	2216	-	3368	2348	-	3254	2269	-	2683	1871
3.	-	3219	2245	-	3338	2328	-	3222	2247	-	2679	1868
4.	-	3191	2225	-	3464	2416	-	3292	2296	-	2630	1834
5.	-	3280	2278	-	3425	2386	-	3319	2315	-	2647	1846
<b>Átlag</b>	4500	3200	2230	4626	3376	2354	4469	3252	2268	3643	2645	1845
<b>Szórás</b>	-	48,8	34,8	-	70,5	48,8	-	57,1	40,1	-	39,7	27,4
<b>Hiba %</b>	-	1,52	1,56	-	2,09	2,07	-	1,76	1,77	-	1,5	1,48

## A kísérleti eredmények részértékelése

A kenőanyag nélküli ún. szárazhűtés esetén végzett kísérletek hőmérsékleti értékeit szemlélteti a 41. ábra.



**41. ábra** Száraz hűtésnél a forgácsolási zóna hőmérséklete

A 41. ábra alapján elmondható, hogy a kezdeti hőmérséklet spontán emisszió esetén 450 °C a legmagasabb, az átlagos 460 °C vagyis növekvő, a végző hőmérséklet 515 °C. Az  $lg h - lg k_c$  koordináta rendszerben a fajlagos forgácsolóerő 10 %-kal vagyis szignifikánsan csökkent.

Indukált emisszió esetén a hőmérsékletek jelentősen csökkentek (kezdeti: 350 °C, átlagos: 400 °C, végző: 470 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~5 %-kal csökkent.

Doppler-hűtés esetén a hőmérséklet jelentősen csökkent (kezdeti: 360 °C, átlagos: 390 °C, végző: 420 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~10 %-kal tehát szignifikánsan csökkent.

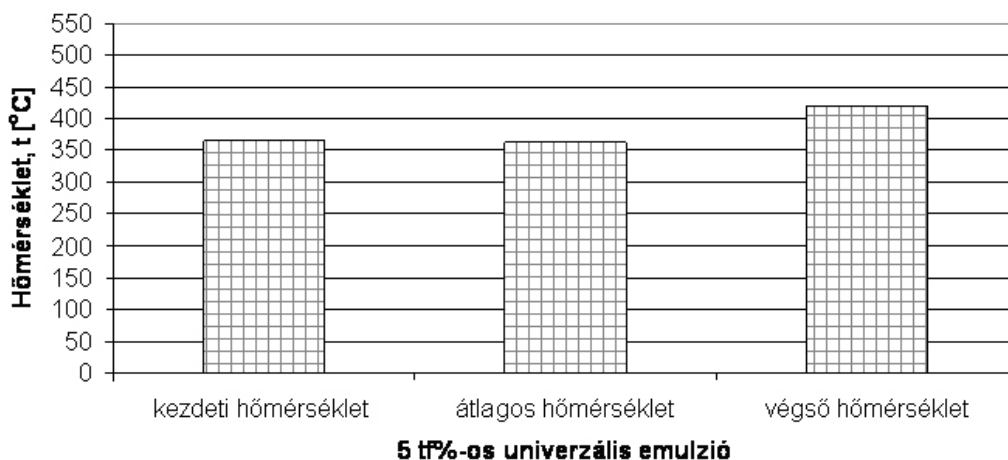
A szerszámkopás:

spontán emisszió:	kezdettől növekvő	$\Sigma_s \approx 740$ m
indukált emisszió:	fémátvitel	$a_c=420$ m, $\Sigma_s \approx 600$ m
Doppler-hűtés:	fémátvitel	$a_c=700$ m, $\Sigma_s \approx 900$ m

Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) a spontán emissziónál és a Doppler-hűtésnél egyenletesen javuló, míg indukált emisszió esetén  $a_c$ -ig javuló, ezt követően romló.

A szerszámkopásról elmondható, hogy indukált emisszióval és a Doppler-hűtéssel a kopási folyamat késleltethető.

Az 5 tf%-os emulzióval történő árasztásos hűtés esetén végzett kísérletek hőmérsékleti értékeit szemlélteti a 42. ábra.



42. ábra 5 tf %-os emulzió hűtésnél a forgácsolási zóna hőmérséklete

A 42. ábrán látható, hogy a kezdeti hőmérséklet spontán emisszió esetén 360 °C, az átlagos 360 °C vagyis nem változott, a végső hőmérséklet 418 °C-ra emelkedett. Az  $l_{gh} - l_{gk_c}$  koordináta rendszerben a fajlagos forgácsolóerő ~26 %-kal vagyis szignifikánsan csökkent.

A szerszámkopás:

spontán emisszió:	fémátvitel	$a_c=1100 \text{ m}, \Sigma s \approx 1210 \text{ m}$
-------------------	------------	---

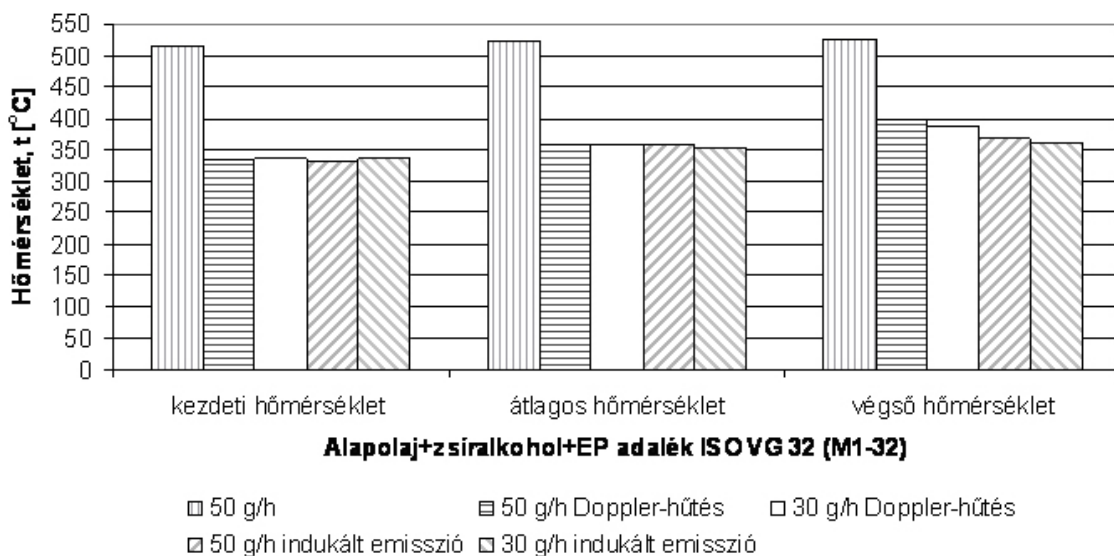
Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) a spontán emisszió esetén  $a_c$ -ig javuló, ezt követően romló.

A száraz hűtéssel mérhető és spontán emisszió alkalmazásakor a forgácsolási zónában a hőmérséklet kb. 510 °C kb. 100 °C-al több mint emulziós hűtés esetén.

Azonban tovább elemezve a száraz hűtést kijelenthető, hogy az alkalmazott hűtési módokkal (indukált emisszióval, Doppler hűtéssel) a zónában lévő hőmérséklet a spontán emissziós vizsgálathoz képest kb. 100 °C-al csökkent.

A 41. és a 42. ábra összehasonlításából az is kiderül, hogy a száraz hűtésnél, amikor a Doppler-hűtési módot használtam, akkor a forgácsolási zóna és véghőmérséklete megegyezik az emulziós hűtés véghőmérsékletével.

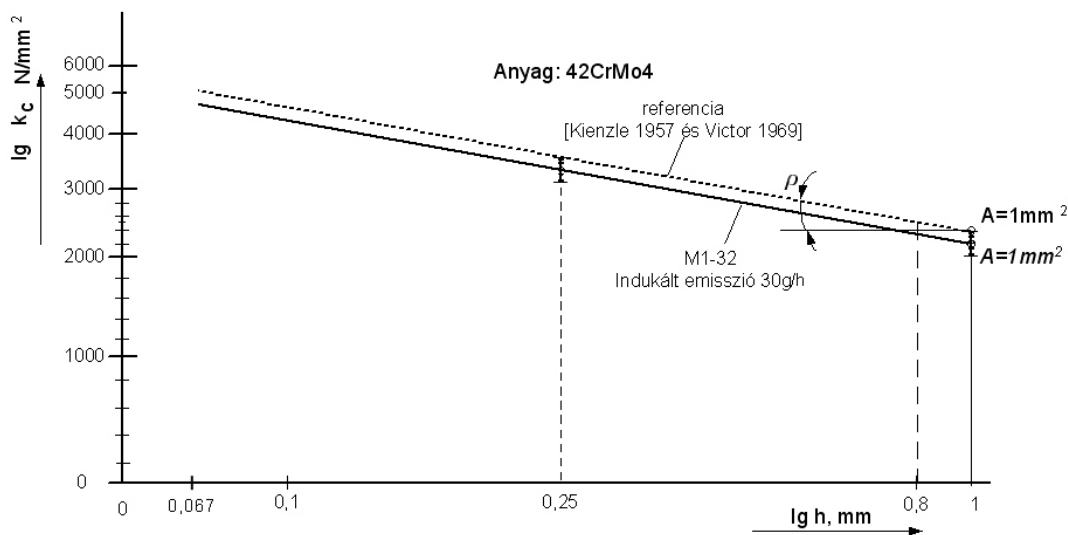
A kereskedelmi forgalomban kapható komplex adalékolású kenőolajjal végzett kísérletek hőmérsékleti értékeit szemlélteti a 43. ábra.



**43. ábra** A kereskedelemben kapható legjobb termék MMS-kenésénél a forgácsolási zóna hőmérséklete

A 43. ábra alapján kijelenthető, hogy a kezdeti hőmérséklet spontán emisszió (50 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén 510 °C a legmagasabb, az átlagos 522 °C vagyis növekvő, a végző hőmérséklet 525 °C. Az  $lg h - lg k_c$  koordináta rendszerben a fajlagos forgácsolóerő kb. 1 %-kal vagyis nem szignifikánsan nőtt.

Indukált emisszió (30 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérsékletek jelentősen csökkentek, a spontán emissziós hűtéshez képest (kezdeti: 336 °C, átlagos: 353 °C, végző: 360 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~8 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent. (44. ábra)



**44. ábra** M1-32 indukált emisszió, 30g/h

Indukált emisszió (50 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérsékletek

jelentősen csökkentek a spontán emissziós hűtéshez viszonyítva (kezdeti: 331 °C, átlagos: 357 °C, végső: 367 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~12 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.

Doppler-hűtés (30 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérséklet jelentősen csökkent, a spontán emissziós hűtéshez képest (kezdeti: 335 °C, átlagos: 357 °C, végső: 387 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~10 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.

Doppler-hűtés (50 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérséklet jelentősen csökkent a spontán emissziós hűtéshez képest (kezdeti: 335 °C, átlagos: 357 °C, végső: 396 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~2 %-kal nem szignifikánsan nőtt.

A szerszámkopás:

spontán emisszió (50 g/h):	kezdettől növekvő	$\Sigma_s \approx 510$ m
indukált emisszió (30 g/h):	fémátvitel	$a_c=400$ m, $\Sigma_s \approx 655$ m
indukált emisszió(50 g/h):	kezdettől növekvő	$\Sigma_s \approx 530$ m
Doppler-hűtés (30 g/h):	kezdettől növekvő	$\Sigma_s \approx 480$ m
Doppler-hűtés (50 g/h):	fémátvitel	$a_c=660$ m, $\Sigma_s \approx 680$ m

Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) a spontán emissziónál, indukált emissziónál (30 g/h és 50 g/h) és Doppler-hűtésnél (30 g/h) egyenletesen javuló, míg Doppler-hűtés esetén  $a_c$ -ig javuló, ezt követően romló.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a spontán emissziós vizsgálatokhoz képest jelentősen csökkent a forgácsolási zónában a hőmérséklet, amikor indukált emissziós vagy Doppler- hűtési módokat alkalmaztam.

A kísérletekhez használt kenőanyag mennyiségét figyelve elmondható, hogy a négy molekulamanipulációs kísérletsorozatnál a hőmérsékletek közötti különbség alig -, vagy egyáltalán nem mutatható ki. Az ábrából az is kiolvasható, hogy amikor indukált emissziós hűtési módot alkalmaztam, a hőmérséklet csak kis mértékben emelkedett (kb. 30 °C).

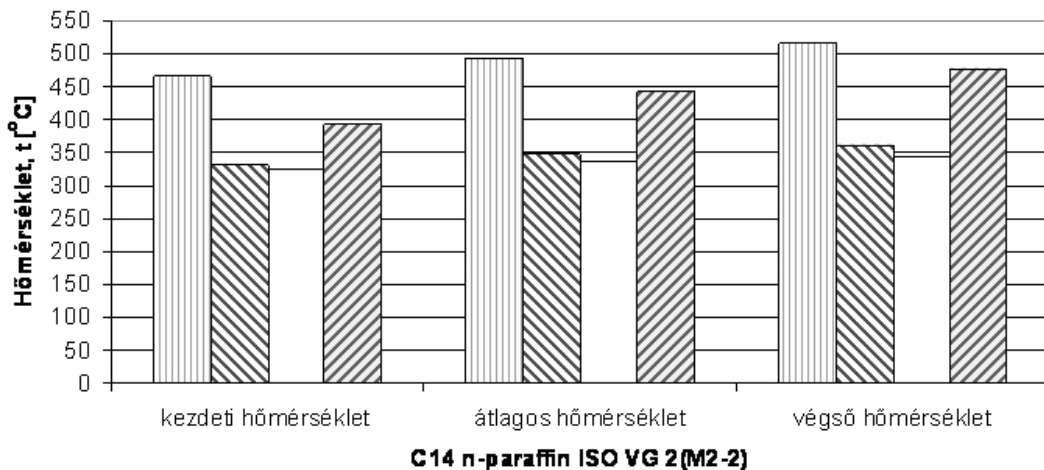
A 45. ábrán egy modell-folyadékkal (kísérleti kódja: M2-2) végrehajtott kísérletsorozat hőmérsékleti eredményei láthatóak.

Indukált emisszió (30 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérsékletek növekedtek a kereskedelmi forgalomban kapható komplex adalékolású kenőolajjal végzett kísérletekhez viszonyítva (kezdeti: 392 °C, átlagos: 443 °C, végső: 477 °C). A fajlagos forgácsoló erő 29 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.

Indukált emisszió (50 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérsékletek jelentősen csökkentek a 30 g/h kenőanyag-felhasználású kísérlethez képest (kezdeti: 325 °C, átlagos: 335 °C, végső: 343 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~9 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.

Doppler-hűtés (30 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérsékleti értékek jelentősen megnőtt (kezdeti: 466 °C a legmagasabb, átlagos: 493 °C, végső: 517 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~29 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.

Doppler-hűtés (50 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérséklet jelentősen csökkent a 30 g/h kenőanyag-felhasználású kísérlethez képest (kezdeti: 332 °C, átlagos: 347 °C, végső: 361 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~12 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.



□ 30 g/h Doppler-hűtés    ▨ 50 g/h Doppler-hűtés    □ 30 g/h indukált emisszió    ▩ 50 g/h indukált emisszió

45. ábra Kísérleti MMS-kenőanyag (M2-2) alkalmazásakor a forgácsolási zóna hőmérséklete

A szerszámkopás:

indukált emisszió (30 g/h):	fémátvitel	$a_c=660 \text{ m}, \Sigma_s \approx 900 \text{ m}$
indukált emisszió(50 g/h):	fémátvitel	$a_c=1100 \text{ m}, \Sigma_s \approx 1450 \text{ m}$
Doppler-hűtés (30 g/h):	kezdettől növekvő	$\Sigma_s \approx 760 \text{ m}$
Doppler-hűtés (50 g/h):	kezdettől növekvő	$\Sigma_s \approx 780 \text{ m}$

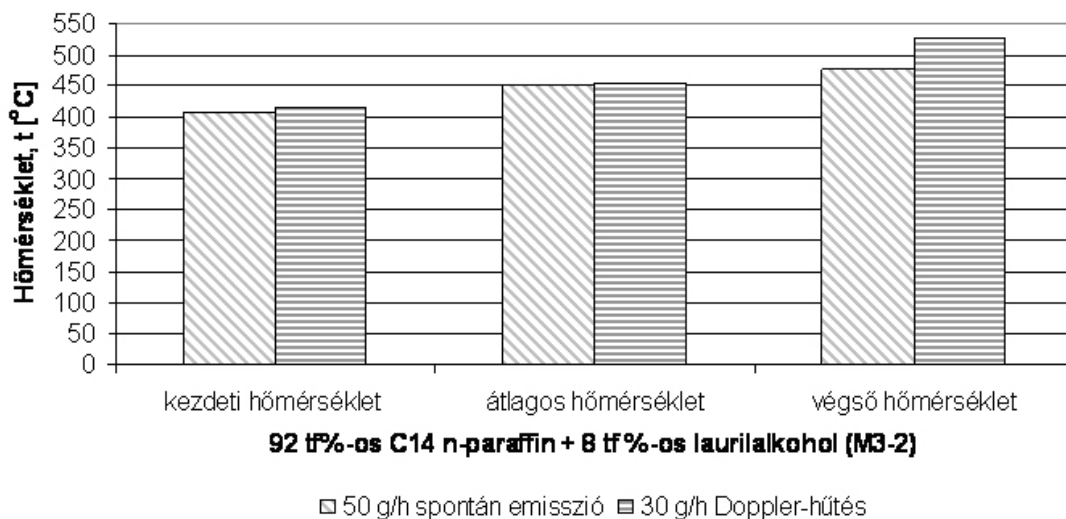
Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) az indukált emissziónál (30 g/h és 50 g/h) és Doppler-hűtésnél (30 g/h és 50 g/h) egyenletesen javuló.

A szerszámkopásról az indukált emissziós hűtéssel kísérletet lehet végezni.

Az eredmények alapján látható, hogy a jobb eredményeket ennél a kenőolajnál akkor kaptam, amikor 50 g/h kenőanyag-mennyiséget használtam. Ha összehasonlítjuk ennél a kenőanyag-mennyiségnél a Doppler-hűtést és az indukált emissziót, akkor elmondható, hogy az indukált emisszióval történő hűtésnél a hőmérséklet-különbség (végső hőmérséklet – kezdeti hőmérséklet) kisebb, mint a Doppler-hűtésnél.

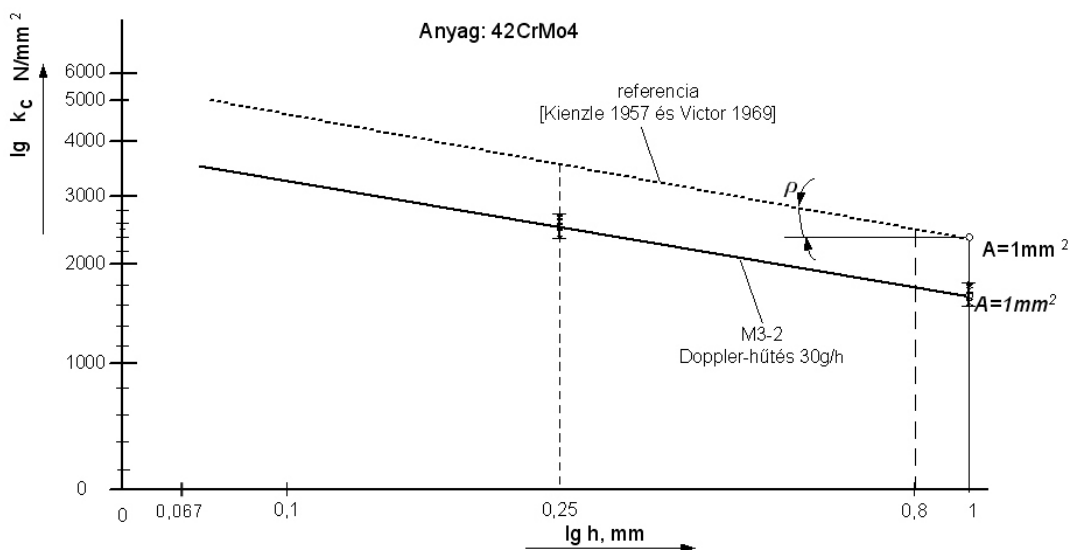
A 46. ábrán egy modell-folyadékkal (kísérleti kódja: M3-2) végrehajtott kísérletsorozat hőmérsékleti eredményei láthatóak.

A kezdeti hőmérséklet spontán emisszió (50 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a kezdeti hőmérséklet 406 °C, az átlagos 450 °C vagyis növekvő, a végső hőmérséklet 476 °C. Az  $I_{gh} - I_{gk}$  koordináta rendszerben a fajlagos forgácsolóerő ~28 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent.



46. ábra Kísérleti MMS-kenőanyag (M3-2) alkalmazásakor a forgácsolási zóna hőmérséklete

Doppler-hűtés (30 g/h kenőanyag-felhasználás) esetén a hőmérsékletek kis mértékben nőttek (kezdeti: 415 °C, átlagos: 454 °C, végső: 526 °C). A fajlagos forgácsoló erő ~32 %-kal, tehát szignifikánsan csökkent. (47. ábra)



47. ábra M3-2 Doppler hűtés, 30g/h

A szerszámkopás:

spontán emisszió (50 g/h):	fémátvitel	$a_c=660 \text{ m}$ , $\Sigma_s \approx 880 \text{ m}$
Doppler-hűtés (30 g/h):	fémátvitel	$a_c=650 \text{ m}$ , $\Sigma_s \approx 870 \text{ m}$

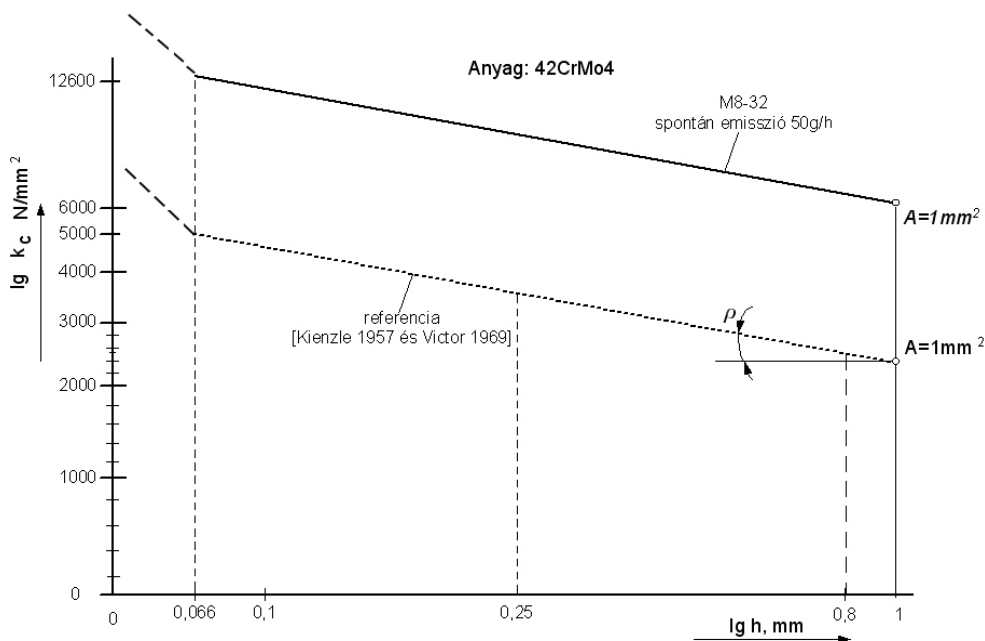
Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) a spontán emissziónál (50 g/h) és Doppler-hűtés (30 g/h) esetén  $a_c$ -ig javuló, ezt követően romló.

A szerszámkopásról elmondható, hogy a kísérleteknél alkalmazott modell-folyadékkal és hűtési módokkal a kopási folyamat késleltethető.



A 30 g/h-ás kenőanyag-mennyiség használatakor látható, hogy a megmunkálás végére a hőmérséklet jobban megnőtt, M1-32 és M2-2 kísérleti kóddal rendelkező kenőolajokkal összehasonlítva.

A 48. ábrán látható, hogy már a forgácsolás közben a homloklapon megindult a csúszás, tehát ebben az esetben a belső súrlódás mellett a külső súrlódás is megjelent.



48. ábra M8-32 spontán emisszió, 50 g/h

Ez az eset abban nyilvánul meg, hogy az elemi forgács helyett folyóforgács keletkezett. A fajlagos forgácsolóerő kb. 100 %-kal nőtt, amit túlnyomórészt a nulla homlokszögű ( $\gamma = 0$ ) szerszám felületén csúszó forgács idéz elő. A 48. ábra igazolja az elméletet (Kienzle, Viktor 1957, Viktor 1969, Dudás 2000). A  $f = 0,001$  mm előtolásnál kisebb értékekkel végzett megmunkálás nem tartozott szorosan a dolgozatom témájához, ezért ezzel a tartománnyal nem foglalkoztam bővebben.

### 3.2. Kenőanyagok szerepe az MMS-kenésben

A kenőanyagok összetett diszperz rendszerek, amelyek tulajdonságait, többek között a viszkozitás, a nagy molekulák átmérőjének és a mozgásuk közepes szabad úthosszának különbsége szabja meg; vagyis a viszkozitás a tér, a hőmérséklet és a molekulák közötti erő függvénye.

A molekulák aktivitásával az ütközési energia megnő, amelynek túlnyomó részét a molekula-szerkezet tárolja.

Az ütközési energia az alábbi két módon épülhet be a molekulaszerkezetbe:

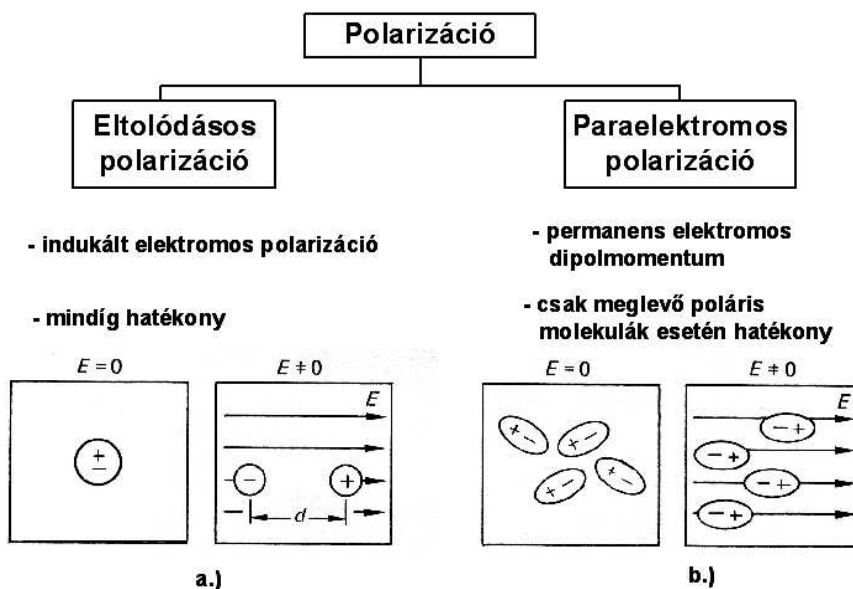
- a mozgékony (kis) molekulák szuperstruktúrákká alakulnak, majd aggregátummá állnak össze
- a kikényszerített rendszerekhez és viszonyokhoz a molekulák optimális szimmetriával (fázis-átmenetekkel) alkalmazkodnak, korlátozva a molekuláris mozgékonyt. A mozgás teljes akadályoztatása esetén az energia rezgést gerjeszt, amely túllépve az aktivitási küszöböt, a molekulák közötti kötések szakadásához vezet.

A zsírsavak, mint különböző részecskékből álló rendszerek szerkezetére következtetni lehet a belső töltés eloszlásukból, amely elektromágneses sugárzás hatására orientálódhat vagy eltolódhat:

- az irányulás az egyes dipólusok térbeli vektoriális összegzésének következménye (orientális polarizáció), amelyet kisfrekvenciájú váltakozó térben a dielektrikus állandóval ( $\delta$ ) lehet kifejezni
- ha a dipólusok a változó tér megnövelt frekvenciája miatt már nem tudnak átírányulni, akkor a kötések mentén dipólus változásokra kerül sor, ami eltolódásos polarizációt eredményez.

Az elektromos polarizáció lehetséges két módját mutatja a 49. ábra.

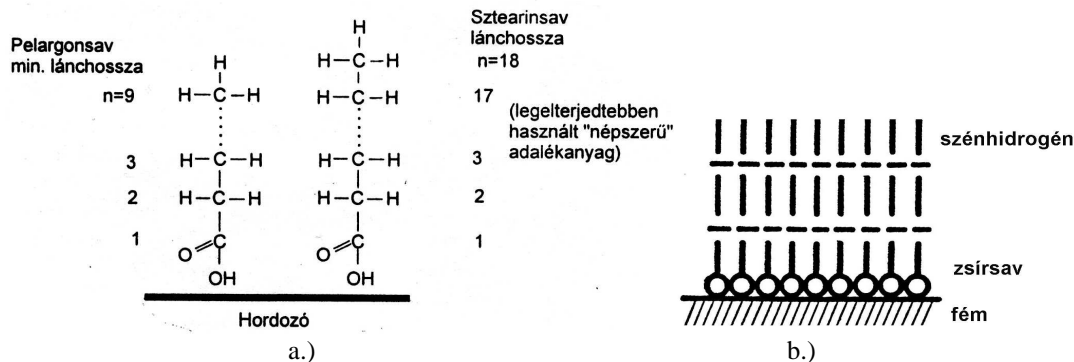
A zsírsavak aszimmetrikus molekulák, permanens dipólmomentummal. A dipol molekulák pozitív töltésű fémfelületen orientált adszorpciós réteget hoznak létre. Ha a zsírsav egy telített egyenes láncú inert (pl.: C14 lineár paraffin) szénhidrogénhez kapcsolódik, akkor ún. amfipatikus<sup>4</sup> molekula keletkezik.



49. ábra Elektromos polarizáció  
a.) eltolódásos polarizáció; b.)paraelektromos polarizáció

<sup>4</sup> Kolloid-kémiai kifejezés

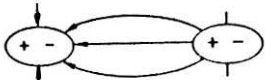
Az amfipatikus molekulák rendkívüli előnye, hogy a fémfelülethez adszorpcióval kötődnek, ugyanakkor a másik oldalán inert vagyis elektromágneses töltés nincsen. A felületet borító első rétegre már az inert szénhidrogén, - az 50. ábrán látható módon - orientáltódik és másodlagos vegyértékkel laza kötést hoz létre.



50. ábra Folyadékok adszorpciója fémek felületén  
a.) zsírsavak adszorpciója; b.) orientált polimolekuláris szerkezet

A zsírsavak a fém felületén van der Waals kötést hoznak létre, amelyek főbb jellemzőit a 16. táblázatban tartalmazza.

16. táblázat Kötési mód

Kötési mód	Erőhatások	Kötési energia eV/atom	Példák	Tulajdonságok
van der Waals	Két izolált atom között, permanens vagy indukált dipólmomenttel 	$E_b = \frac{1}{r^6}$ $10^{-2}$ -től $10^{-1}$ -ig	Nemesgázkristály: $H_2, O_2$  Molekulakristály, polimerek	Szigetelő, enyhén komprimálható, alacsony olvadáspont, az UV tartományban fényáteresztő

A polarizálhatóságot Lorentz-Lorenz-féle egyenlet definiálja. A törésmutatóból, a molekulatömegeből és a sűrűségből kiszámíthatjuk a molekuláris refrakciót (R), a fénytörést, mint a fényoptikai megfigyelés szerkezeti egységét.

$$\text{Az anyag szerkezeti sűrűsége: } \rho = \frac{V}{R} \quad (25.)$$

ahol:

- V – a molekula térfogata
- R – molekuláris refrakció.

Az összefüggés megadja az egy móltérfogatra jutó elemek számát. (Ásványolajokra  $R = 2,418 \text{ cm}^3/\text{mól.}$  )

Ha a Loschmidt-féle számmal ( $6 \cdot 10^{23}$ ) elosztjuk akkor az egy szerkezeti egységben (pl.: 1 cseppben) levő részecske számát kapjuk meg.

A  $6 \cdot 10^{23}$  szám reciproka megadja az „ $\alpha$ ” értéket, ami a polarizálhatóságot mutatja, ill. az energiafelvevő képesség értéket adja meg.  $\alpha \cong \frac{1}{6 \cdot 10^{23}} \approx 0,16 \cdot 10^{-23}$ .

A törésmutató<sup>5</sup> közvetlen összefüggést mutat a szerkezeti anyag jellege és a megvalósuló kenés között. Meghatározható az ASTM D 1218, D 1747 szabványos vizsgálati módszerekkel.

A törésmutatót Abbe-féle refraktométerrel határoztam meg és a kenőanyag sűrűségével összefüggő egyenlet a következő:

$$\frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} = \rho_1 \cdot c_1 \quad (26.)$$

ahol:

- $n_2$  - a kenőanyag törésmutatója
- $\rho_1$  - a kenőanyag sűrűsége
- $c_1$ - kenőanyagokra jellemző állandó (pl.: ISO VG 2 → 32 viszkozitás-tartományú anyagokra  $c_1 = 0,33$ ).

Általában a szénhidrogén alapú kenőanyagok atmoszférikus nyomáson mért törésmutatója 1,51. Ha a szénhidrogén-olajat zsírsavval adalékoljuk, akkor a térfogata kissé csökken vagyis sűrűsbbé válik. Ezt a kenési folyamatban rendkívül jól kihasználhatjuk, ugyanis a minimál-kenésnél a felületet jól nedvesítő folyadékok adják a legjobb kenéstechnikai eredményeket. Mivel a törésmutató rendkívül érzékeny a kenőanyag összetételére, ezért nagyon fontos jellemzője az MMS-kenés megvalósíthatóságának.

A kenőanyagok nedvesítő képességét az adhéziós és kohéziós erők aránya határozza meg.

#### *Folyadékok területe a szilárd testek felületén*

A folyadékok területe a szilárd felületen a csepp érintő szögének ( $\alpha$ ) nagyságával jellemezzük (17. táblázat).

Kis érintő szög → **jobb nedvesítés**, nagy érintő szög → **rosszabb nedvesítés**. Ha az alfa nagyobb 90 foknál, akkor a folyadékcsepp elkezd „**gyöngyöződni**” a felületen, lásd 17. táblázat 2.kép. A gyöngyöződött olaj a felületen gurul, tehát kenési funkciót nem lát el (makroméretekben nagyon jól látható ez a folyamat alumínium széles szalag meleghengerlésénél).

Az érintőszög nagysága, a szilárd test felületi feszültsége valamint a folyadékok felületi – és határfelületi feszültsége között összefüggést állapít meg a Young-féle képlet.

A zsírsavval adalékolt kenőolaj felületi területe jobb, mint az ásványolaj-

---

<sup>5</sup> a törésmutató egy adott hullámhosszú fény levegőben mért sebességének és a vizsgált olajban mért sebességének a hányadosa

oké, következésképpen az érintő szöge kisebb. A hő hatására bekövetkező változások miatt az olajcsepp mérete nő, amit az érintő szög csökkenésével határozhatunk meg. A felületek nedvesedése függ az olajok poláris és diszperziv rész arányától.

Mivel a szilárd testek és a folyadékok diszperziv energia hányada között erős a kötődési hajlam, ezzel szemben a szintetikus észterek túlnyomó részt apolárosak, tehát bennük a diszperziv energiahányad a nagyobb. Tapasztalat azt mutatja, hogy ha a szilárd test diszperziv része nagyobb, akkor javul a szilárd test nedvesedése,  $\alpha \rightarrow$  csökken.

**17. táblázat** Folyadékok területe szilárd felületen (Mózes, Vámos 1968)

Nedvesítési forma	Nedvesít	Nem nedvesít
Oka	Adhéziós erő $\gg$ kohéziós erő	Adhéziós erő $\ll$ kohéziós erő
Hatás	A folyadék elterülése a szilárd test felületén	A folyadék cseppszerű összehúzódása
Vázlat	<p>1. kép</p> <p>Gázalakú (1) Folyadék (2) Szilárd (3)</p>	<p>2. kép</p> <p>Gázalakú (1) Folyadék (2) Szilárd (3)</p>
Egyenlet	Young-féle képlet: $\sigma_{12} \cos \alpha = \sigma_{13} - \sigma_{23}$	
Tartomány	$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi$

Különösen nagy jelentősége van fizikai porlasztással (PVD) felvitt bevonatoknak, mivel az olajok tapadási stabilitása javul. A szilárd test polaritását a spontán epilamizálás is megváltoztatja, ronthatja és javíthatja is. Amint az ismeretes a szénhidrogén olajok krakkolódnak (hőbomlás) 260 °C-on megindul és már 300 °C-on gazdaságos technológiák alakultak ki.

A nyírási zónában a hőmérsékletek 400-500 °C-ot is elérik, amelyen olymértékben felgyorsul a hőbomlás, hogy a hétköznapi értelemben vett anyag alakilag is és mennyiségileg is megszűnik létezni.

Vannak olyan tulajdonság-, ill. funkció- javító adalékok, amelyek működése kimondottan hőmérsékletfüggő. Ha ezeknek az anyagoknak a részecskéi hamarabb eltávoznak, mint a maradványok hamumentes elége bekövetkezne, akkor káros lerakódások (epilamizálódás) következnek be. Az újonnan képződött anyag vastagsága 3-5 nanométer elég ahhoz, hogy a szerszám poláros energiahányada lecsökkenjen.

Az MMS-kenésnél ahol nincs folyamatos kenőanyagellátás – hanem csak 5-6 másodpercenként cseppen a szerszám felületére a kenőanyag – ott már jelentős szerepe van a szerszám poláros energiahányad csökkenésének (a kenőanyag területe és a tapadása is rolmik).

A kísérletek során a kenőanyag mennyiségét változtattam állandó technológiai paraméterek mellett. A száraz hűtést az MMS-kenést (egy a piacon kapható legjobb termék esetén – M1-32 -) és az 5 tf%-os emulziós kenést összehasonlítva

elmondható, hogy a száraz hűtéssel jobb mérési eredményeket lehet felmutatni (az átlagos felületi érdesség, a hátkopás és a fajlagos forgácsolóerő összefüggésében).

Az MMS-kenésnél, amikor egy a piacon kapható legjobb terméket alkalmaztam 50 g/h és 30 g/h mennyiségben akkor a fajlagos forgácsolóerő változásánál az irodalomban található alapdiagramhoz képest jelentős változás nem volt.

A másik MMS-kenéskor, egy C14-es n-paraffin volt a kenőanyag és szintén 50 g/h és 30 g/h mennyiségben használtam fel. A 30 g/h mennyiségénél a fajlagos forgácsolóerő kb. 30 %-kal csökkent.

A következő MMS-kenésnél egy 92 tf%-os C14-es n-paraffin+8 tf%-os laurilalkohol felhasználásakor először 50 g/h, majd 30 g/h kenőanyag mennyiség felhasználása után a szakirodalomban található referenciához képest a fajlagos forgácsolóerő nagysága kb. 33%-kal csökkent.

Megállapítható, hogy az alkalmazott kenőanyagok mennyiségének csökkentése mellett a fajlagos forgácsolóerő nagysága adott HKF, adagolási nagyság és kiegészítő hűtési mód (molekulamanipuláció) megválasztása mellett csökkenthető. Így belátható, hogy a nedves megmunkálásból kiindulva és a száraz megmunkálásig eljutva jelentős mértékben csökkenthető a forgácsleválasztás energiaszükséglete. Tehát a forgácsleválasztásnál egyidejűleg a felhasznált kenőanyag tömege fokozatosan 50 g/h → 30 g/h → 20 g/h stb. csökkenthető.

Ezt legjobban az M2-2 modell-folyadékkal elvégzett kísérletek eredményei bizonyítják, ahol M2-2 indukált emisszió 50 g/h kenőanyag-felhasználás esetén 8,93 %-os a fajlagos forgácsolóerő csökkenés, minden egyéb paraméter változatlanul hagyása mellett az M2-2 indukált emisszió 30 g/h kenőanyag-felhasználás mellett már 29,94 %-os fajlagos forgácsolóerő csökkenést eredményezett.

A jelentős eredmény (fajlagos forgácsolóerő csökkenés) mellett nagyon fontos megállapítani, hogy ez a tendencia egyben a jövő fejlesztésében iránymutató is. (Hiszen így juthatunk el a száraz kenéshez.)

#### *Az alkalmazott hűtőhatás értékelése*

A kísérletek során az egy mérésen belüli technológiai paramétereket (előtolás, fogásmélység, fordulatszám) állandó értéken tartottam, miközben változtattam a HKF-ok típusát és mennyiségét ill. a hűtés módját.

A hűtő-kenő folyadékok alaptípusai a következők voltak:

- száraz kenés
- 5 tf %-os emulzió
- MMS-kenés

A hűtési módok a következők voltak:

- o spontán emisszió
- o indukált emisszió
- o Doppler-hűtés.

A felhasznált kenőanyagok jegyzékét az M7. mellékletben mutatom be. Az első négy termék piacon kapható legjobb termék (kísérleti kódjaik: E1-A, E2-A, E3-S, M1-32), míg a többi kenőolaj csak törzsoldat (modell-folyadék), amelyek

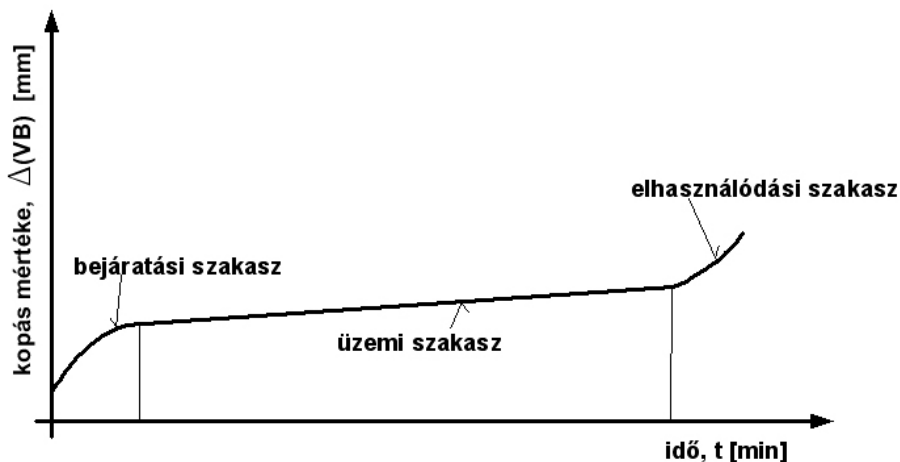
Almásfüzitőn a MOL-LUB kft. laboratóriumában készültek el. Innen származnak ezen kenőolajok vizsgálati jegyzőkönyvei is (M7. melléklet), amelyben a műszaki és biztonsági jellemzőiket adtam meg.

A kapott eredmények alapján a forgácsleválasztásnál alkalmazott hűtő-kenő folyadékokra az általam használt molekulamanipuláció jelentős hatással van. Azonban a piacon kapható (hagyományosan funkcionális adalékolású hűtő-kenő folyadékok) és az általam vizsgált hűtő-kenő folyadékokra ezen molekulamanipuláció pozitív hatását nem sikerült kimutatnom.

### 3.3. Szerszámkopás mechanizmusa

A súrlódó gépelemek között a kenőanyag teremt rugalmas kapcsolatot, ami befolyással van a súrlódási ellenállásra és a kopás<sup>6</sup> kialakulására. A klasszikus kopásgörbe három szakaszból áll, ahogy azt az 51. ábra mutatja.

Ettől a szerszámkopás általában eltérő. A szerszám és a munkadarab közötti kapcsolat rendkívül erős. Az utolsó szakasz esetenként eltérő lehet, ami azt jelenti, hogy a kopás intenzívebbé vált.



51. ábra Klasszikus kopásgörbe

A szerszámkopás mértékét – korszerű szerszámok esetén - a hátkopással lehet a legjobban jellemezni. A kísérletek során a lapkák tömegét mértem, majd ezen

<sup>6</sup> A kopást a DIN 50321-es szabvány definiálja. A definíció szerint a kopás mértékét a **kopás jellemző számmal** adhatjuk meg, ami függ

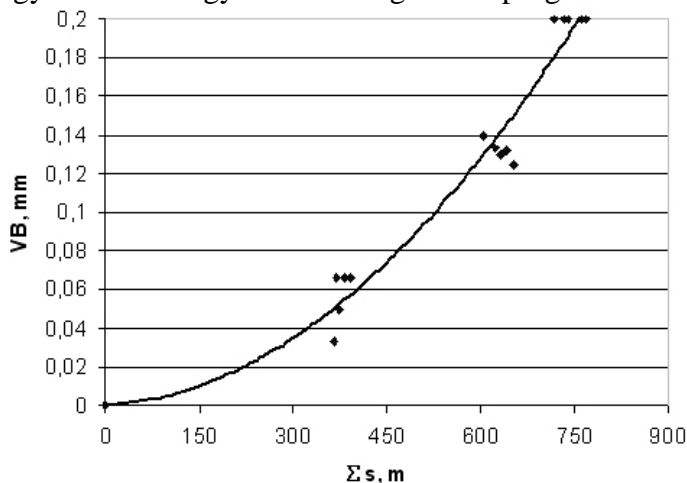
- a komplett igénybevételtől és
  - a tribológiai rendszer szerkezetétől
- tagozódik
- kopás megjelenési formákra és a
  - kopás nagyságára.

adatokból számoltam ki a hátkopás mértékét.

A hátkopás értékeit a hazai és nemzetközi irodalom után a forgácsoláskor megtett út és a leválasztott forgácsmennyiség függvényében ábrázoltam. Az elkészült diagramokat az M8. – M14. –es mellékletekben tartalmazzák.

A szerszámok hátkopása a hagyományos és az újabb korszerű szerszámok esetén három jellegzetes lefolyású lehet.

*Első típusú kopás lefolyás*, az 52. ábrán látható, hogy a megmunkálás megkezdése után nagyon hamar vagy azonnal megindul a progresszív szerszámkopás.

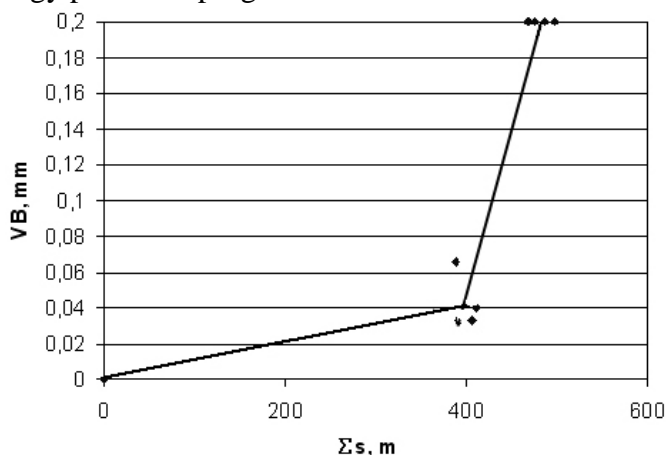


52. ábra Száraz hűtés

Ilyen eredményt kaptam:

- száraz hűtés, spontán emisszió
- M2-2 kísérleti kódszámú kenőanyagnál Doppler-hűtés esetén 30 g/h kenőanyag-felhasználáskor.

*Második típusú kopás lefolyás*, amely az 53. ábrán látható. A megmunkálás megkezdése után azonnal megindul a szerszámkopás, úgy hogy a kezdeti szakasz lineáris jellegű, majd egy pont után progresszívvé válik.



53. ábra M1-32, Doppler-hűtés, 30 g/h



Ilyen eredményt kaptam:

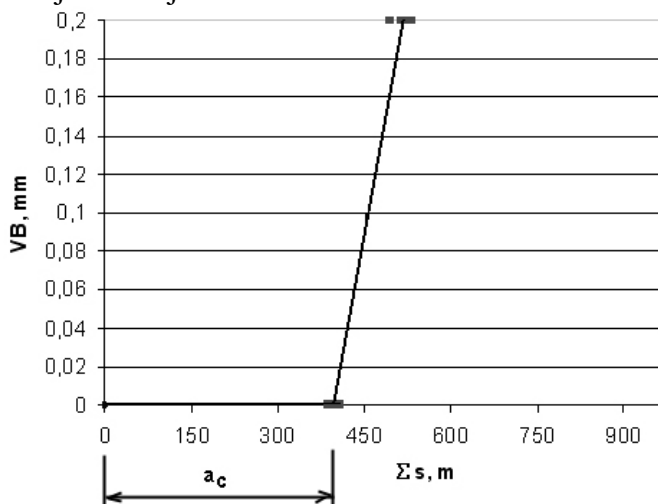
- M1-32 kísérleti kódszámú kenőanyagnál indukált emissziós hűtés esetén 50 g/h kenőanyag felhasználáskor
- M1-32 kísérleti kódszámú kenőanyagnál spontán emissziós hűtés esetén 50 g/h kenőanyag felhasználása esetén
- M1-32 kísérleti kódszámú kenőanyagnál Doppler-hűtés esetén 30 g/h kenőanyag felhasználáskor
- M2-2 kísérleti kódszámú kenőanyagnál Doppler hűtés esetén 50 g/h kenőanyag felhasználáskor.

### Harmadik típusú kopás lefolyás.

Bevonatolt keményfém szerszámoknál, ahol élszak nem képződhet, mert hőkaput képez a bevonat, ott az igénybevétel kezdetétől az adhéziós kopás kezdeti szakasza csak mint változás jön létre, amit **fémátvitelnek** nevezünk.

Vagyis molekula megy át a szerszámról a munkadarabra és fordítva (ezért nem lehet csak felületi kopásnyommal jellemezni az ilyen kezdeti kopás nagyságát, ugyanis gyakran előfordul, hogy bár kopásnyom van, de a kopóelem indulási tömege növekszik).

A fémátvitel az Európában leginkább elfogadott Csikós-féle kopási rendszertanban szerepel, de csak úgy, mint változás. Ez azt jelenti, hogy a technikai szinten rendelkezésre álló méret illetve tömeg meghatározás nem lehetséges. Ellenben a szerszámban az igénybevétel hatására energia akkumulálódik, ami egy adott szinten, véletlenszerűen a felületek közé kerülő 3. test hatására ún. Fridrik-féle törés következik be, amelynek törésképe rendkívül jellegzetes. Ezt követően intenzívvé válik a ridegtöréses kopás, amely nagy iránytangensű gyors lefolyású kopás. Ennek tipikus példáját mutatja az 54. és 55. ábra.



54. ábra Száraz hűtés indukált emisszió

Az 54. ábrán látható módon egy véletlenszerűen bekövetkező törési pont jelenik meg ( $a_c$ ), ezt a fajta diagramot több kísérletnél is fel tudtam rajzolni.

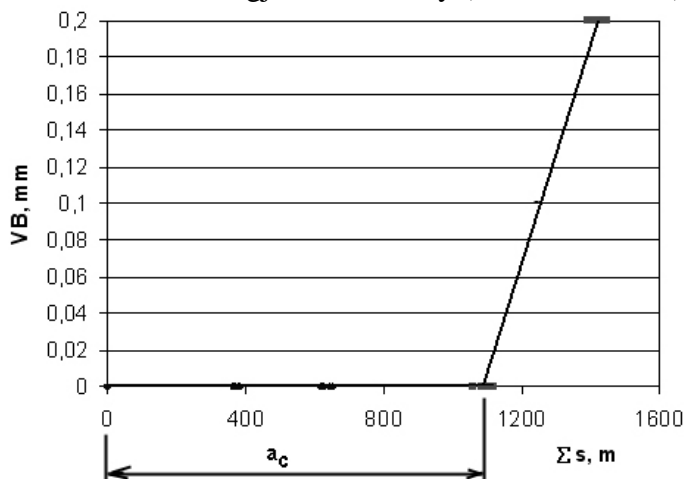
Roßmann (1999) által meghatározott  $a_c$  értékeit forgácsolási megmunkálásnál nem tudjuk a szerszámra, mint konstans tényezőt megadni.

A 20. ábrán látható jellegzetes a kísérleti eredmények értékelésénél a következő esetekben figyeltem meg (zárójelben az  $a_c$  törési pont megjelenése):

- száraz hűtés indukált emisszió (390 m)
- száraz hűtés Doppler-hűtés (657 m)
- E2-A 5 tf %-os emulzió (1102 m)
- M1-32 Doppler-hűtés 50 g/h kenőanyag felhasználás (655 m)
- M1-32 indukált emisszió 30 g/h kenőanyag felhasználás (400 m)
- M2-2 indukált emisszió 50 g/h kenőanyag felhasználás (1129 m)
- M2-2 indukált emisszió 30 g/h kenőanyag felhasználás (650 m)
- M3-2 spontán emisszió 50g/h kenőanyag felhasználás (658 m)
- M3-2 Doppler-hűtés 30 g/h kenőanyag felhasználás (650 m).

A felhasznált kenőanyag mennyisége nagyban nem befolyásolja a véletlenszerűen bekövetkező törési pontot, viszont azon kísérleteknél vettem fel az 53. ábrán látható diagramot, ahol Doppler-hűtést és indukált emissziót alkalmaztam.

A felsorolt eredményekből jól látszik, hogy egy modell-folyadékkal és megfelelő hűtési móddal elérhető el a legjobb eredmény ( $s = a_c = 1129$  m). (55. ábra)



55. ábra M2-2 indukált emisszió 50 g/h

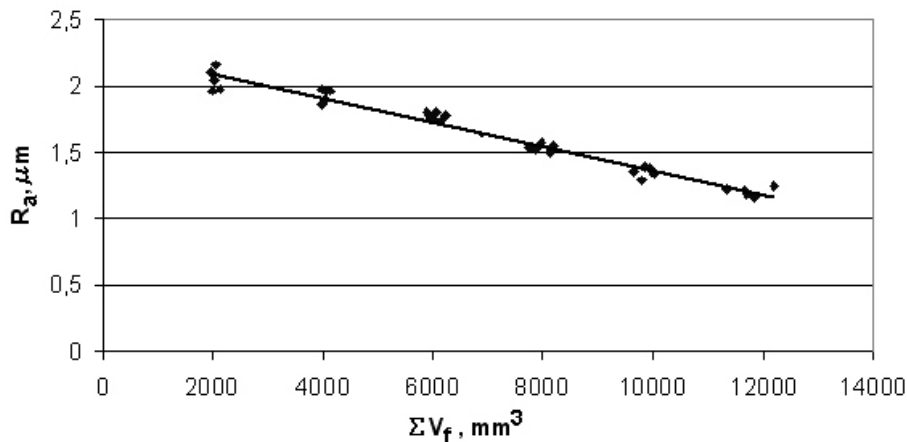
Tehát arra kell törekedni, hogy az  $a_c = s$  minél nagyobb legyen, de addig technikai szinten meghatározható kopás ne, csak változás következzen be. Mai ismereteink szerint olyan elmélet nem létezik, amely egységesen megadná az intenzív kopás megindulásáig eltelt időt.

A kísérletekben bizonyos jelek mutattak arra, hogy milyen tényezők hatnak az intenzív kopás megindulására.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a szerszám-kopásra legerősebb hatása a molekulamanipulációnak van (késlelteti a hátkopás létrejöttét).

### 3.4. Felületi érdesség és mérettartás

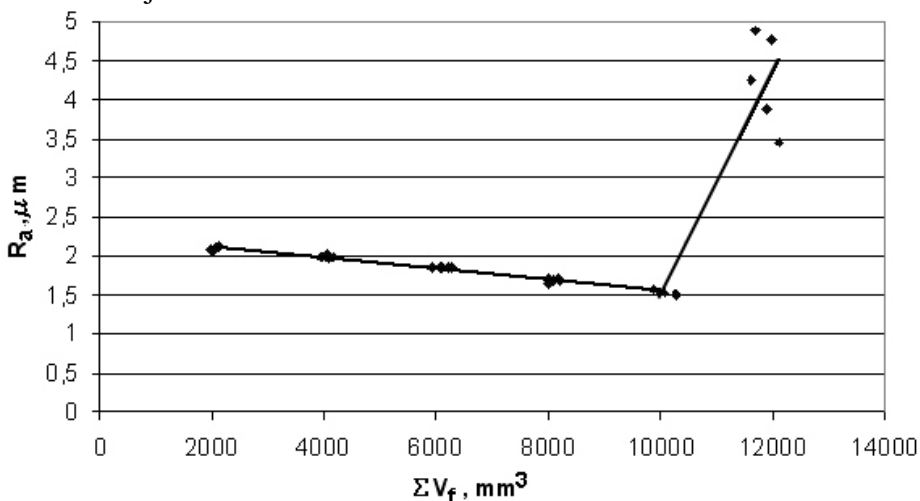
A mért adatok alapján ábrázoltam az átlagos felületi érdességet az időegység alatt leválasztott forgácsmennyiség függvényében. Valamennyi diagram az M8 – M14 –es mellékletben megtalálhatóak. Ebben a fejezetben az általam szélsőségesnek minősített eseteket mutatom be.



56. ábra M2-2, Doppler-hűtés 50 g/h

Az átlagos felületi érdesség változását a kísérletek során kétféle tendenciával lehet jellemezni. Az 56. ábrából kiderül, hogy az átlagos felületi érdesség folyamatosan javul az alkalmazott hűtéssel. Az alkalmazott kenőolajra (amely egy modell-folyadék) a molekulamanipuláció jó hatással van.

Egy piacon kapható termékkel - ugyanazon mennyiségnél és hűtési módnál - szintén javul a felületi érdesség, majd egy pont után rohamosan romlik, ahogy azt az 57. ábra mutatja.



57. ábra M1-32, Doppler-hűtés 50 g/h

Azonban itt egy jóval nagyobb szóródás figyelhető meg. Tehát elmondható,

hogy a molekulamanipulációval, valamint egy megfelelő kenőolajjal (55. ábra alapján:  $R_a = 1,24 \mu$ ) az átlagos felületi érdesség javítható az 5 tf %-os emulzióval történő árasztásos hűtéshez képest ( $R_a = 1,64 \mu\text{m}$ ).

A két diagram közti különbséget az adja, hogy a mérésnél a 3. mérési hely (37. ábra) előtt érte el a kés a hátkopás maximális értékét.

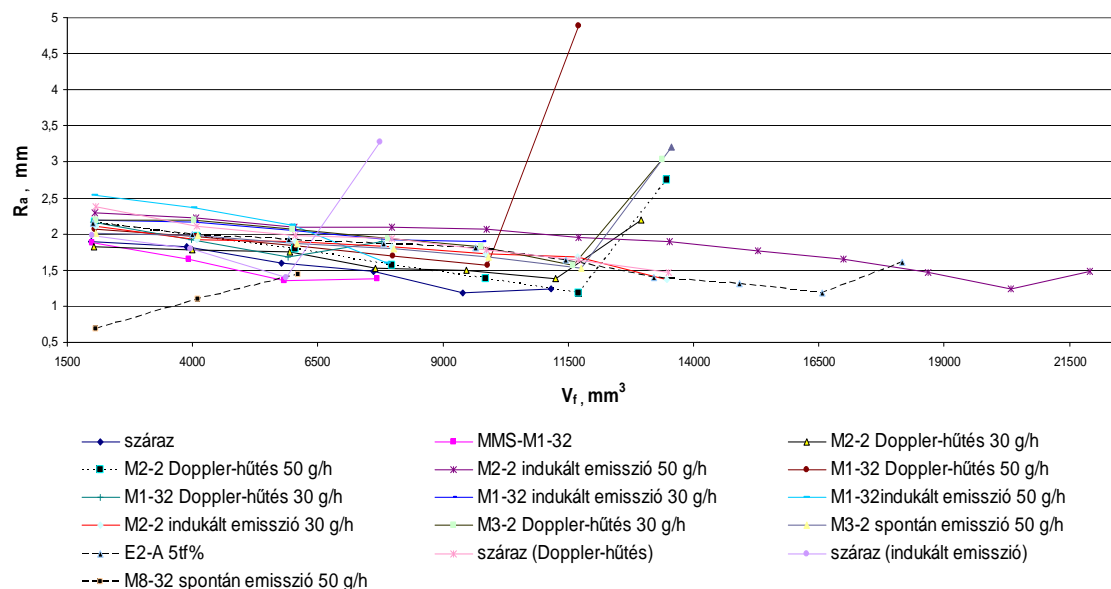
A felületi érdesség változásának matematikai összefüggése minden esetben a következő:

$$f(x) = \begin{cases} a_1x + b_1 & \text{ha } A \leq 100 \\ a_2x + b_2 & \text{ha } A \geq 100 \end{cases}$$

ahol: „A” a 36. ábrán a 3-as mérési pont távolságát jelöli.

Az összefüggés alapján az 57. ábra bemutatott diagramból látható, hogy a leválasztott forgácstérfogat függvényében az átlagos felületi érdességnek, létezik egy javuló és egy romló szakasza.

Az 58. ábrából kiderül, hogy az elvégzett kísérleteim során a C14-es n-paraffinnal (M2-2) és molekulamanipulációval (indukált emisszió) érhető el a forgácsleválasztás szempontjából a legjobb eredmény.



**58. ábra** Összesített diagram az átlagos felületi érdesség és a leválasztott forgácstérfogat között

A hatékony forgácsoló technológia fejlesztése a mérettartás és a felületminőség egyre fokozódó követelményeihez kapcsolódva az egyre növekvő forgácsolási sebesség és előtolás irányába halad.

A következő értékelési pont a gyártmányok (munkadarabok) mérettartására vonatkozott. Itt a vizsgálati helyeken mért átmérőkből átlagot számoltam, majd megállapítottam az átlaghoz képest a felső és alsó eltéréseket. Ezt követően megha-

tároztam a szabványból, hogy a kapott értékek milyen tűrésfokozathoz tartoznak.

Az idevágó számítások az M8. – M14. mellékletben található meg. Egy ilyen átmérő állandóság (mérettartás) meghatározására egy *példát* a következőkben mutatok be.

<b>1.</b> 92,22 <sup>+0,13</sup> <sub>-0,14</sub>	<b>2.</b> 90,23 <sup>+0,13</sup> <sub>-0,14</sub>	<b>3.</b> 88,33 <sup>+0,1</sup> <sub>-0,19</sub>	<b>4.</b> 86,30 <sup>+0,14</sup> <sub>-0,13</sub>
<b>5.</b> 84,44 <sup>+0,13</sup> <sub>-0,14</sub>	<b>6.</b> 82,59 <sup>+0,06</sup> <sub>-0,09</sub>		

Az átmérők pontossága megfelel az IT7-es pontosságnak.

Természetesen a már említett példán túl jobb, IT4-es pontossági osztályú mérettartás is előfordult. Ezen eredményt a következő kísérleteknél kaptam:

- száraz-kenés Doppler- hűtéssel
- MMS-kenés esetén a piacon kapható legjobb terméknel (kísérleti kód: M1-32) Doppler-hűtéssel 50 g/h kenőanyagmennyiségnél
- MMS-kenés esetén a piacon kapható legjobb terméknel (kísérleti kód: M1-32) indukált emisszió alkalmazásával 50 g/h kenőanyagmennyiségnél
- kísérleti MMS-kenőanyaggal (kísérleti kód: M2-2) indukált emisszió alkalmazásával 50 g/h kenőanyagmennyiségnél.

IT2-es pontossági osztályba sorolható eredményt egy esetben kaptam:

- MMS-kenés esetén a piacon kapható legjobb terméknel (kísérleti kód: M1-32) Doppler-hűtéssel 30 g/h kenőanyagmennyiségnél.

Az eredmények elemzése alapján kijelenthető, hogy az általam alkalmazott hűtési módok befolyással vannak a munkadarabok mérettartására, így megvalósul a kész munkadarab mérettartása is.

### 3.5. Krisztallit-módosulás értékelése

A forgácsolásnál bevitt energia nagy része a rendkívül bonyolult deformáció és feszültségi viszonyok kiegyenlítésére kell, a kisebb része, 3%-a pedig krisztallit-módosulást hoz létre (Dudás 2001). Az elkészített csiszolatokból a következő módszer alkalmazásával láthatóan mutatom be a krisztallit-módosulást.

Terjedelmi korlátok miatt csak a jellegzetes technológiákhoz tartozó 50 µm-es csiszolatok képét mutatom be egymással összehasonlítva. A többi fényképet az M15. és M16. melléklet tartalmazza. Az 59-64. ábrákon a sötétebb tartomány mutatja az alapréteget, a világosabb tartomány mutatja azt a réteget, ahol a megmunkálás hatása észlelhető.

Az 59. ábrához tartozó mérésnél árasztásos kenést alkalmaztam 5 tf %-os emulzióval és spontán emisszióval a munkadarab hűtésére. A szemcsék mérete nagy, az átmenetnél a szemcsék deformáltak, a translációs sík kismértékben látható.

A 60. ábrán száraz hűtéssel, spontán emisszióval hűtöttem a munkadarabot. A szemcsék mérete szintén nagy, az átmenetnél a szemcsék deformáltak, a translációs sík jól látható.

A 61. ábrán a száraz hűtés indukált emisszió használatával végzett kísérlet csiszolatát mutatom. A szemcsék mérete nagy, az átmenetnél viszont nagymérvű deformáció ill. a translációs sík nem látható.

A 62. ábrán a száraz hűtéssel a Doppler-hűtés használatával végzett kísérlet csiszolatát mutatom. A szemcsék mérete kisebb, mint az indukált emisszió használatánál, az átmenetnél viszont a szemcsék mérete kisebb és kisebb mérvű deformáció figyelhető meg, a translációs sík nem látható.

A 63. ábrán MMS-kenést használtam spontán emisszióval egy piaci csúcs-termékkel. A szemcseméret nagy, az átmenetnél szemcse-deformáció nem figyelhető meg. A translációs sík jól látszik.

A 64. ábrán egy az általunk készített törzsoldattal történő MMS-kenést használtam, indukált emisszióval. A kenőanyag felhasználás 50g/h volt. A szemcseméret kisebb, az átmenetnél nagymérvű deformáció figyelhető meg. A translációs sík enyhén látható. Sűrűdés és kopás szempontjából kedvező szövetszerkezet.

Elmondható, hogy az 59., 60. és 63. ábrákon a translációs sík látható és a sík közelében a szemcsék deformációja nagymérvű. Azonban amikor a molekulamanipulációt indukált emisszióval vagy Doppler-hűtéssel hoztam létre (61., 62. és 64. ábra), akkor a szemcsék finomabbak, a translációs sík nem, vagy alig látható és az átmenetnél a szemcsék deformációja kisebb mérvű.

Olyan esetekben, amikor a kristallit módosulás durva szemcsés és a felszín alatti rétegben –  $\tau_{\max}$  síkjában – diszlokáció jön létre, akkor a felszínről kiinduló anyagkifáradási idő – aminek megjelenési formája a kagyló alakú pitting – lecsökken.

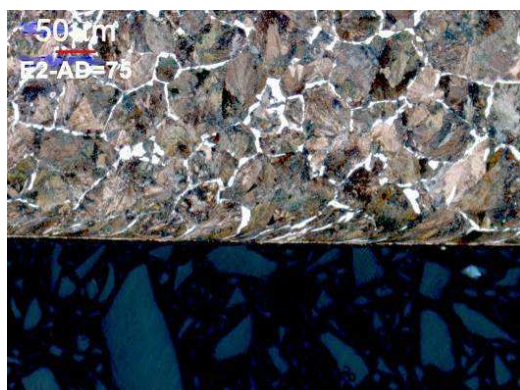
Felületi edzés esetén, amennyiben az átedzett réteg mélysége megegyezik a maximális  $\tau$  feszültség síkjával, akkor a felületi anyagkifáradás felgyorsul, bizonyos esetekben akár néhány 10 óra után teljes felületi pusztulás következhet be.

MMS-kenéssel optimális technológiai paraméterek mellett az anyagmódosulások káros hatásai teljes egészében kiküszöbölhetők.

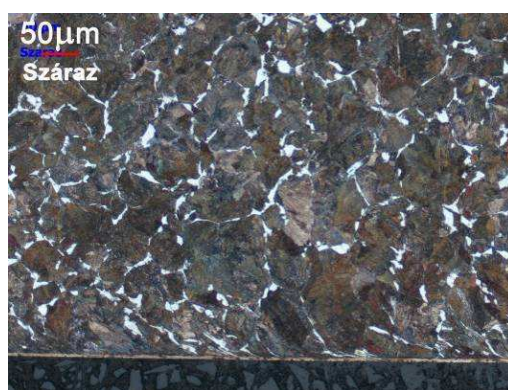
A forgácsolás közben bekövetkező kristálmódosulások nem feltétlen károsak, mivel ismert, hogy az irányított igénybevétel esetén egy nagyon jó sűrűdési tulajdonsággal és kopáscsökkentő hatással rendelkező dendrites szövetszerkezet alakulhat ki.

A kísérleteim azt is igazolták, hogy ha a felszín alatti réteg finomszemcsés módosuláson megy át, akkor kimutatható diszlokáció nem jön létre.

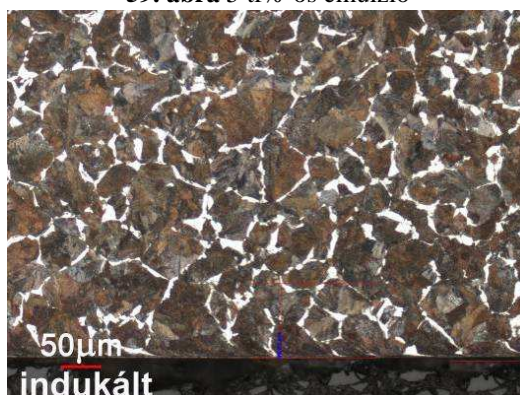




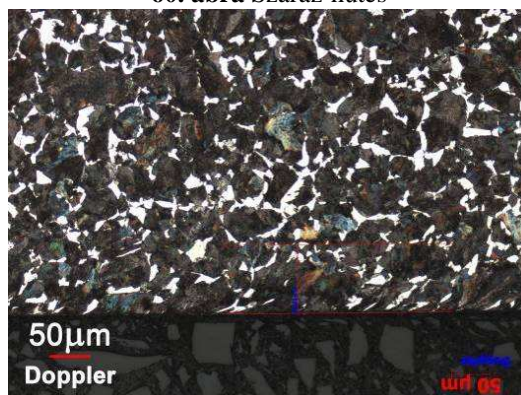
59. ábra 5 tf%-os emulzió



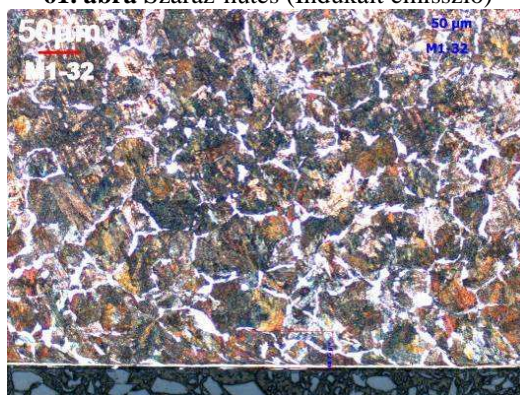
60. ábra Száráz-hűtés



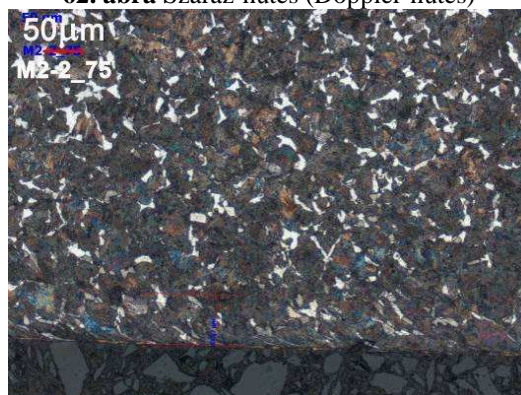
61. ábra Száráz-hűtés (Indukált emisszió)



62. ábra Száráz-hűtés (Doppler-hűtés)



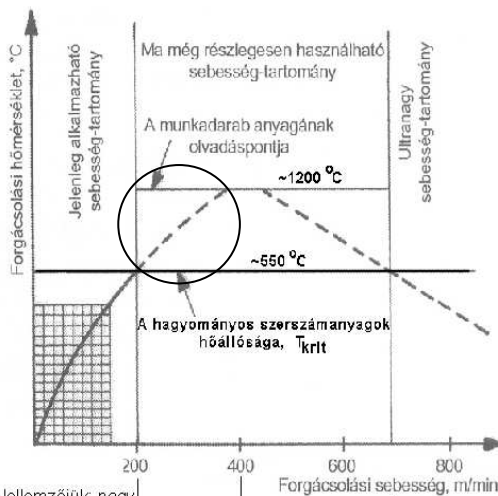
63. ábra MMS-kenés (50 g/h)



64. ábra MMS  
(M2-2, Indukált emisszió, 50 g/h)

### Véggözetkeztetés

Az új szemléletű kibővített forgácsolási megmunkálás koncepcióját a 24. ábrán fogalmaztam meg. A kísérleti eredmények feldolgozása után mint összefoglaló eredményt a 65. ábrán mutatom be. A 65. ábra három jól elkülöníthető részre osztható.



#### A hagyományos emulziók

Folyamatosan fejlesztett változata/ Jellemzőjük: nagy teljesítményűek, kiváló kolloidstabilitásúak, biostabilak, hosszú élettartamúak, átmeneti védelmet biztosítanak, többcélú és specifikus változatban

Ebben a tartományban lehet az MMS-kenést alkalmazni. A kenőanyag nem hagyományos termék csökkentett mennyisége, mivel ebben a tartományban valamennyi funkcionális adalék, de az alapolaj is megolvad és elgőzölög. Az MMS-kenésnél alkalmazott kenőanyagoknak nem a funkcionális tulajdonsága határozza meg az alkalmasságát, hanem a molekuláris viselkedése.

MMS-kenés tartománya

MMS-kenés csökkenő szerepe

#### Levegőkenés

A levegőben levő elektronok feszültség-különbség hatására elmozdulnak, kialakul az ún. elektromos-szél (pl.: Peltier-effektus). Az elektromos-szél hűtőhatása jelentős (1000 °C-nál ~300 °C hőt von el). Ebben a tartományban ez a hűtésintenzitás elégséges.

**65. ábra** Az új szemléletű forgácsolási megmunkálás koncepciója

Az első rész a hagyományos hűtési eljárással történő forgácsolást mutatja be. A forgácsoláshoz ennél a szakasznál emulziót alkalmazunk. A folyamatosan fejlődő emulziók legfőbb jellemzője, hogy környezetbarát, nagy teljesítményű, kiváló kolloidstabilitású, hosszú élettartamú legyen. Ebben a tartományban a forgácsoló sebesség max. 200 m/min.

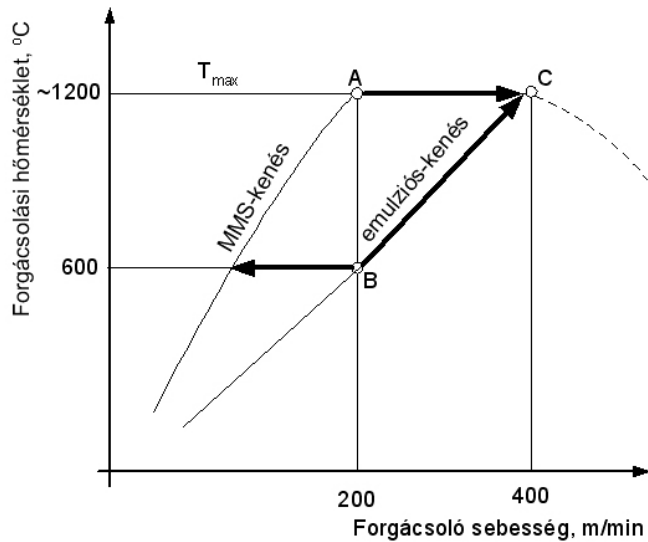
A következő tartomány az ún. átmeneti szakasz, ahol az árasztásos hűtés mellett már MMS-kenést alkalmazhatunk. Az MMS-kenőanyag viszont nem a hagyományos termékek csökkentett mennyisége, mivel ebben a tartományban valamennyi funkcionális adalék, de még az alapolaj is megolvad és elgőzölög.

Az MMS-kenésnél alkalmazott kenőanyagoknak tehát nem a funkcionális tulajdonsága határozza meg az alkalmasságát, hanem a molekuláris viselkedése. A forgácsoló sebesség tartománya  $200 < v_c < 400$  m/min között van.

A 66. ábrán az egymás mellett használt két hűtési eljárással milyen úton juthatunk el a jövő célkitűzésének megfelelően a száraz megmunkáláshoz.

Az ábrán jól követhető, hogy az MMS-kenés esetén az A ponton keresztül jutunk el a C pontba szabályozott hűtés mellett, emulziós kenést alkalmazva erősen túlhűtve a B pontból egyenes vonalon jutunk el a C pontba.





66. ábra A hűtési mód hatása a forgácsolási hőmérsékletre

Amint az közismert a relatív alakváltozások ( $\varepsilon$ ) – az anyagvizsgálatoknál előforduló értékeknek - a többszöröse.

( $0,035 < \varepsilon < 1,0$ ) anyagvizsgálatok  $1 < \varepsilon > 6$  forgácsolási tartomány ( $1 < \varepsilon \leq 6$ )

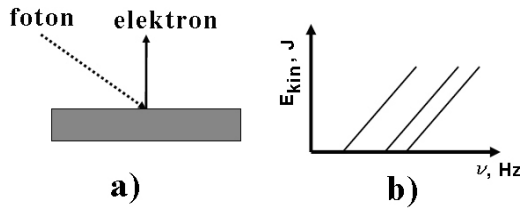
Az  $\varepsilon = 1$  értéknél adjuk meg a  $k_{c1,1}$  fajlagos forgácsoló erőt, ahogy ezt részletesen ismertetésre kerül az 1.1.2. fejezetben. A számításoknál alkalmazott összefüggések alapképlete:  $\tau_0 = \tau_1 \cdot \varepsilon^m$  (27.),

ahol:

- $\tau_1$  - anyagra jellemző csúsztatófeszültség [MPa]
- $\varepsilon$  - a relatív alakváltozás [-]
- $m$  – anyagfüggő kitevő [-], értéke 0,16 – 0,25 között változik, átlagos értéke 0,2.

Vagyis az elméleti fajlagos forgácsolóerő közvetetten az anyag szakítószilárdságától ( $\tau_1 = 0,8 R_m$ ), az „ $m$ ” kitevőtől és „ $\varepsilon$ ” –t alapvetően befolyásoló  $h$  forgácsvas-tagságtól, továbbá a forgácsoló sebességtől függ.

Kutatási eredményeim feldolgozásánál –már az előzőkben ismertetésre került –  $lgh - l g k_c$  koordináta rendszerben ábrázoltam  $k_c$  értékeket (amely egy egyenes) és ezt tekintem alaphelyzetnek. Ehhez viszonyítva adtam meg a változó paraméterek hatására bekövetkező fajlagos forgácsolóerőt. Az elvégzett sorozatvizsgálataim azt is bizonyítják, hogy az energia-felhasználásban bekövetkező változások egyértelműen összefüggésbe hozhatók a felületi energiaszinttel. Einstein megállapítása szerint viszont az energia lineárisan függ a elektromágneses frekvenciától ( $\nu$ ) a változások pedig „ $h$ ” függvényében párhuzamosak és valamennyi fémfelületre azonosak. Ezt a fotoeffektusi jelenséget az 67. ábrán mutatom be.



**67. ábra** Fotoeffektus jelenség fémfelületen

a.) foton adszorpció hatására bekövetkező elektronkilépés; b.) a frekvencia ( $\nu$ ) függvényében a fémfelületből kilépő elektronok energiája

Az  $E_{kin} = \hbar \cdot \nu - A_{ki}$  (28.) (ahol „ $A_{ki}$ ” a kilépési munka) az Einstein egyenletnek megfelelően egységesen „ $\hbar$ ” meredekségű egyenesek elektronmozgási energiája, amely  $E_{kin} = \frac{m \cdot u^2}{2}$  (29.) összefüggéssel határozható meg. A szűk frekvencia-tartományra korlátozódó látható fény, és az alkalmazott még nem roncsoló lézer frekvenciája is állandó. Ebből következik, hogy az új szemléletű forgácsolási megmunkálás energia szintje adott feltételek mellett azonos, tehát a különböző fémek  $k_c$  alapegyeneshez viszonyított változás %-os értéke is azonos.

Kimondható, hogy a **kibővített új szemléletű forgácsolási megmunkálás elmélete egyetemleges.**

Kísérleteim többségét ebben a tartományban végeztem el és a kenőolaj (amely nem a hagyományos adalékolású, hanem ún. modell-folyadék) mennyiségének csökkentése (50 g/h-ról 30 g/h-ra) mellett egyre jobban elértem a harmadik tartományt. A harmadik tartományban, már csökken az MMS-kenés szerepe, tehát a felhasznált kenőanyag-mennyisége minimálison keresztül nullára csökkenthető, vagyis a szárazmegmunkálás tartományba érhetünk.

Azt is mondhatom, hogy ezek a kísérletek hozzájárulhatnak a **forgácsolás paradigmaváltásához.**

## 4. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

**1. Tézis** A kísérleteimmel megalapoztam egy új módosított forgácsleválasztási elméletet és kiegészítettem az energiaátalakítási folyamat elemzésével.

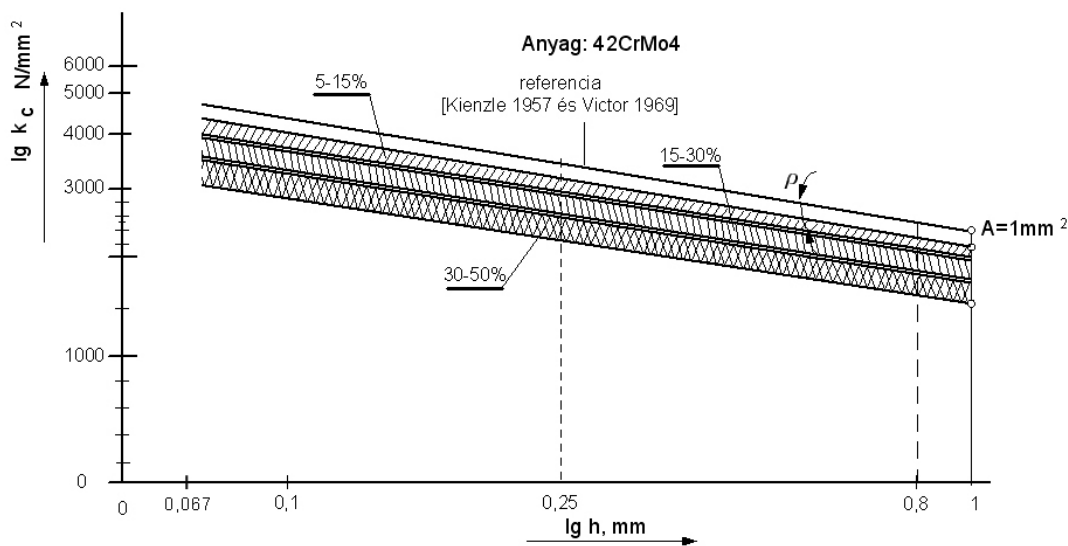
**1.a.)** A kísérletekkel bizonyítottam, hogy elektromágneses hullámokkal manipulálható az energiaátalakulás folyamata, ezt bizonyítja a mért és az elméletileg számított eredmények közötti rendkívül erős korreláció ( $r > 0,95$ ). A molekulamanipulációval lokálisan és egymástól függetlenül módosítható a termo-plaszticitás és az alakítási keményedés.

**1.b.)** Kísérleti úton bebizonyítottam, hogy a forgácsolási zónában lejátszódó energiaátalakulás adott, speciális hűtő-kenő folyadék alkalmazása esetén szabályozható, ha az indukált emissziót látható fényvel ( $\lambda = 10^{-6} m$  és a  $10^{14} < f < 10^{15} Hz$ ) hozzuk létre, illetve lézerrel ( $P < 1mW$ ,  $\lambda = 630-680 nm$ ) energia-elvonást (hűtést) valósítunk meg. Trendjelleggel az is bizonyítható, hogy a kisebb hullámhosszú ( $\lambda = 10^{-8} m$ ) és nagyobb frekvenciájú ( $f = 10^{17} Hz$ ) röntgen sugárzás alkalmazásával ( $\gamma$ -foton) az eredmények még fokozhatók. A kibővített új szemléletű forgácsleválasztási elmélet egyetemleges.

**2. Tézis** Kísérletekkel egyértelműen igazoltam, hogy 42CrMo4-es anyag esetén (az új eljárás valamennyi forgácsolható anyagra kiterjeszhető) a fajlagos forgácsolóerőt ( $k_c$ ) az MMS-kenéssel jelentősen csökkenteni lehet, ha  $k_c$  ( $k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^m} = \frac{F_c}{h \cdot b}$ ) összefüggésében az egyes jellemzők a megadott határok között változtak ( $230 < F_c < 920 N$ ;  $0,067 < h < 1 mm$ ;  $b \leq 1 mm$ ).

Az eltérő technológiai jellemzőkkel végrehajtott forgácsolási kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a forgácsolás során a fajlagos forgácsolási erő csökkenésében a következő jellemző tartományokat lehet elhatárolni (68. ábra):

2.	$k_c$ csökkenés [%]	hűtési mód	kenőanyag	viszkozitás [mm <sup>2</sup> /s]	kenőanyag-mennyiség [g/h]
2.a.)	5 - 15	indukált emisszió	vegyes bázisú, adalékolt ásványolajjal	2 - 32	50
2.b.)	16 - 30	spontán emisszió	5 tf%-os emulzióval (az emulzol a kereskedelmi forgalomban kapható legjobb termék)	emulzol viszkozitása >28	elárasztásos
2.c.)	31 - 50	Doppler-hűtés	92 tf%-os C14-es n-paraffin + 8 tf%-os laurilalkohollal	2 - 7	30



68. ábra A fajlagos forgácsolóerő csökkenés

**3. Tézis** Elemeztem a korszerű szerszámbevonatok energia-szintjét és megállapítottam, hogy a poláris energiahányaduk közel azonos, változásukat főleg a kenőanyag adalékból visszamaradó - kémiailag módosult – szennyeződések módosíthatják (általában rontják). A felület profilteljességi-tényezője  $K_h \sim 96\%$ -os, ami azt jelenti, hogy a felület ABBOTT-féle olajtároló képessége közel nulla. Ezeket a kedvezőtlen körülményeket kenőanyag minőséggel, technológiai paraméterek beállításával stb. kompenzálni kell. A kompenzáció azért szükséges, hogy a molekulamanipluláció által előidézhető hatások érvényre jussanak.

**4. Tézis** Többirányú kísérletek és elemzések ékesen bizonyítják, hogy az MMS-kenőanyag alap és járulékos követelményei jelentősen eltérnek a hagyományos emulziók és vágóolajok követelményeitől. Nem kell számolni a (4 – 6) s-os élettartamú olajok időfüggő tulajdonságaival.

**4.a.)** Megállapítottam, hogy az MMS-kenőanyagoknak nagyon jó terülő-, vagyis nagyon jó nedvesítő-képességgel ( $\alpha < 30^\circ$ ) kell rendelkeznie és erős kötéssel kapcsolódnia a szerszám felületéhez ( $\sigma = 32 \text{ mN/m}$ ).

**4.b.)** Bizonyítottam, hogy azok a kenőanyagok adnak MMS-kenés esetén jobb eredményeket, amelyek egy poláris fejből (-OH, -COOH, -NH<sub>2</sub> stb.) és hozzá kapcsolódó telített, azonos szénszámú, lineáris, apoláros szénhidrogénből állnak, vagyis amfipatikus molekulák. Ilyen kenőanyag alkalmazása esetén épül fel a felületen leggyorsabban és sérülésmentesen a szükséges orientált polimolekuláris kenőanyag-réteg.

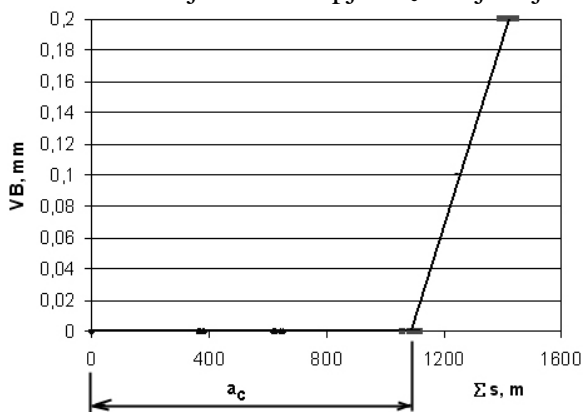
**4.c.)** Megállapítottam, hogy az MMS-kenés akkor a leghatékonyabb, ha 4 -5 s alatt párolgás és ionizációs úton maradék nélkül eltávozik a felületről.

4.d.) Kísérleteim során egyértelműen bizonyítható volt, hogy a kenőanyagok kezdőforrponájának ill. a desztillációs görbe jellegének van a legnagyobb jelentősége. Két alaptípust különböztetünk meg:

- ásványi alapolajok és
- észterolajok.

Az MMS-olajoknak stabil törésmutatóval kell rendelkeznie, nagysága  $n = 1,51$ .

5. **Tézis** Kutatásaim bizonyították, hogy a megmunkáló szerszámokon – a gépelemekre jellemző - három szakaszra osztható klasszikus kopási folyamat nem alakul ki. A megmunkálásnál keletkező szerszámkopás lefolyása párhuzamos a vízszintes tengellyel és erre az ún. **alapkopásra** szuperponálódnak a „forgácsoló sebesség függvényében” a különböző hatásmechanizmusú kopások (ilyenek pl.: adhéziós, revésedés és nagy forgácsoló sebességeknél diffúzió, stb.). Bevonatos keményfémszerszámokon az alapkopás molekuláris szinten, mint fémátvitel jelenik meg és 400 m/min forgácsoló sebességeknél – ha a szerszám és a munkadarab között kohászati affinitás van – diffúzió. Egyéb járulékos kopások nem alakulnak ki. A kopás megjelenési formája; a fényesedés. A szerszámban - folyamatos használat esetén - energia akkumulálódik, amely egy idő után „a harmadik” test iniciálásának hatására robbanásszerűen, törésés kopást idéz elő. Az addig megmunkálási hosszát (amit megadhatunk tömegben, időben stb.) tekinthetjük a szerszám élettartamának és a kerámiákra jellemző élettartam jelölése alapján  $a_c$ -vel jelöljük (69. ábra).



69. ábra Az  $a_c$  szakasz értelmezése

Az első törési pont után rendkívül intenzívvé válik a törésés kopás, ami már felületminőség romlásához és energia-szint emelkedéséhez vezet. Az első törési pont nem paraméterfüggő, hanem rendszer-jellemző, amely fordított arányban van a forgácsleválasztás megvalósulásának energia-szintjével.

6. **Tézis** Kísérletileg bizonyítottam, hogy a Hamiltoni-elvnek megfelelően, a forgácsleválasztás minimál-energia-szinten megy végbe. Ekkor a felszín közeli rétegekben finomszemcsés kristallit-módosulások jönnek létre, kialakul a kiváló sűrűlódási tulajdonsággal és kopáscsökkentő hatással rendelkező ún. dendrites szövet-szerkezet, továbbá a felszín alatt levő  $\tau_{max}$  síkban sem jön létre diszlokáció.



## 5. A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A disszertáció a forgácsoló megmunkálás három lehetséges irányának eredményeit mutatja meg.

Új „recycling”-technológia

A dolgozatban bemutatott új technológia lényege, hogy az emulzióellátó rendszer kialakításával külön beavatkozás nélkül biztosítjuk az emulziók stabilitást. Ezzel az emulziók "sebezhetősége" csökken, az egyenletes teljesítőképesség megtartása mellett. Újra kell értelmezni az emulziók élettartamát, amely nem a gépbe való betöltéstől a gépből való kivételig tart, hanem folyamatos.

Tehát az élettartamot ne a gyártási technológia határozza meg, hanem az anyag mérlegből kiszámítható használati idő. Ez lehetővé teszi az eddig külön alkalmazott – sok esetben a felhasználási helytől távol eső – főleg vegyszeres bontás elhagyását és helyben a folyamatos, gazdaságos vízelvétel megvalósításával az emulzió 92-98 %-át kitevő víz, mint értékes komponens visszanyerését.

Az új technológia lehetővé teszi, hogy az anyagok a lehetőségekhez képest az üzemben cirkuláljanak és felhasználás után ne kerüljenek ki az üzem területéről. A vizet ne utazzassuk többször is, hanem annak teljes körforgását valósítsuk meg az energiatakarékos víz-visszanyerő, környezetkímélő desztilláló berendezés technológiai folyamatba iktatásával.

Környezetvédelem

A komponensek elhelyezéséről gondoskodni kell. Vegyük pl. a vizet. Minőségi vizet vásárolnak az üzemek az emulziókészítéshez, beszállítják, felhasználják, majd az emulziókat szállítják a bontóba, ahol környezetszennyező savas technológiával megbontják, a kapott vizet még egy adszorpciós koagulációs technológiával a finoman diszpergált olaj- és zsiradékrezecskéktől megszabadítják, hogy megfeleljen a 28/2004.(XII.25.) KvVm rendelet szennyvizek kibocsátási követelményeinek, majd csatornába engedik. A legutolsó műveletben keletkező hidroxid iszapok rendkívül ártalmas és az ártalmatlanítási költsége igen nagy.

Az országban, egy évben kb. 400000 tonna elhasznált emulzió keletkezik, amelyet többször utazzatnak az ország közútjain, felhasználás közben folyamatosan és egyre drágább segédeszközökkel ellenőrzik a minőségi változást, költséges és erősen környezetszennyező technológiával megbontják, póttechnológiát iktatnak be, hogy a víz a csatornába engedhető legyen.

Ebből kiindulva az emulzió felhasználási helyén végrehajtható víz-visszanyerésre dolgoztuk ki egy energia-takarékos desztilláló berendezést, amellyel az elhasznált emulzióról helyben ledesztillálható lenne a víz, amely mint előkezelt

komponenst újra hasznosítható az emulziógyártáshoz. Ezzel az új eljárással az alkatrészek árában a jelenlegi ~17 %-kal szereplő emulzió + kezelési költségek közel harmadára, kb. 6 %-ra csökkenne.

### Új szemléletű forgácsolás

A forgácsleválasztási folyamatra kidolgozott egyetemleges elmélet kibővíthető más anyagokra is, mi több más súrlódó rendszerekre is mint pl.: a bevonatolt kerámia-tárcsás fékrendszerekre, motor szelepre, hidraulikák azon elemeire, amelyeknek tömítő funkciójuk is van és a vezérlő elemek sarkai nem kophatnak.

Valamennyi új ismeret, vagy régi ismeretek új értelmezése, minél előbb kerüljön be a szakterületi felsőszintű oktatásba és menjenek át a gyakorlatba, pl.: gép-tervezés, kenőanyag-fejlesztés stb..

A tudományos eredmények oly mértékben kapcsolódnak a gyakorlathoz, hogy azonnal konkrét technológiák dolgozhatók ki. Ilyenek:

- az alkalmazott MMS-kenés mennyiségének meghatározása
- optimális technológiai paraméterek meghatározása
- kenőanyag molekuláris viselkedésének alkalmazása
- átmenet a nedves kenésből a légkenésbe
- a forgácsolási technológiában bekövetkező paradigmaváltás alapirányát határoolja be és konkrét ismereteket ad a műszaki megoldásokhoz.



## ÖSSZEFOGLALÁS

A gépek, gépelemek kenési technológiákban már több mint 60 éve erős törekvés mutatkozik a kenőanyag-felhasználás minimalására. Jól definiált körülmények között már széleskörűen használják. A kenőkészülékek ellenben jelentős fejlődésen mentek át.

Jelenleg, mind a gyakorlatban, mind a tudományban, itthon és külföldön egyaránt keverednek a fogalmak. Misem bizonyítja jobban ezen állítást, mint az hogy néhány kutató kolloid rendszerekkel végez kísérleteket, holott az MMS-kenés lényegéből adódóan egységes molekula rendszerű anyagok alkalmazhatók eredményesen.

Az irodalmi összefoglaló alapján, a jelenleg alkalmazott és széleskörűen elterjedt forgácsolási technológiák hiányosságait fogalmaztam meg, elsőként a forgácsolási folyamatok energiapazarló jellegét. Ezt követően összefoglaltam a forgácsolási technológiák és kapcsolt elemeinek fő irányait, ebben a fejezetben többek között egy újszerű emulzió-kezelési technológiai kialakításának leírását adtam közre.

Az „Az MMS-kenés szükségessége és szerepe a forgácsolás fejlesztésében” c. alfejezetben pedig a 24. ábrán bejelölt átmeneti zónában zajló folyamatokra és e folyamatok felhasználására hívtam fel a figyelmet a forgácsolásban.

Kutatási munkám során megfogalmaztam a forgácsleválasztás új szemléletű alapjait, majd elkészítettem a kutatás elméleti kísérleti programját. Ezek után az elméleti kísérleti programot – a kísérleti feltételek korlátozottsága miatt – erősen szűkíteni kellett. A jelentős szűkítést azonban igyekeztem úgy végrehajtani, hogy az a kutatási program tartalmát kevésbé érintse. Ezért a rendszerjellemzők közötti kapcsolatok erősségének sorrendjében hajtottam végre a szűkítést. Egyidejűleg a párhuzamos kísérletek számát a „még elégséges” szintre redukáltam.

Bemutattam a kísérletbe bevont kenőanyagok műszaki és biztonsági jellemzőit, a kísérleti feltételeket, - eszközöket, méréseket (főforgácsolóerő, fordulatszám, hőmérséklet), a vizsgálatok hitelesítését és reprodukálhatóságát.

A 3. fejezet a kísérleti eredmények feldolgozását és értékelését tartalmazza. Elsőként az energiaszükséglet- és megoszlás a forgácsolási hőmérséklet nagysága és eloszlása alapján. Vizsgáltam a kenőanyagok szerepét az MMS-kenésben. A következő részben vizsgáltam a szerszámkopás mechanizmusát, értékeltem a kísérleti eredményeket a felületi érdesség és mérettartás alapján. végezetül értékeltem az elkészült csiszolatok felvételein a krisztallit-módosulásokat.

Az utolsó fejezetben pedig az elvégzett kísérletek eredményeinek feldolgozása és értékelése alapján új tudományos eredményeket fogalmaztam meg, amelyeket külön téziszüzetben is összefoglaltam. Végezetül javaslatokat tettem az elért eredmények gyakorlati hasznosítására.



## SUMMARY

There is a strong aspiration in the lubrication technologies of the machine and machine elements, to minimize the lubrication usage from the 60's years. These are wide used with well-defined circumstance. However the development of the lubrication sets is very significant. In these days the concepts are not clear; neither in the practice, nor in the sciences and the definitions are not so clear also in Hungary and abroad too. Some researchers make experiments with colloid systems, although the MQL would be used better. In base of the references I draw the definitions of the wide used machining technologies. First I showed the demand of energy of the machining processes.

Following in previously I summarized new directions of the machining technologies in connection with novel emulsion-treatment. I attracted attention for the process of the transient zone (it was shown in Fig.24.)

During my research I composed the base of machining in the new point of view. In the next I had to decrease the number of the experiments in the theoretical research program because the details of conditions.

Beside this I tried to keep the maximum measurements, how it was possible. I presented the technological and safety behaviours of the measured lubricant, the circumstances of the experiments, the tools and equipments, the measures (main cutting force, revolution and temperature), the calibration and the reproduction.

The third chapter contains the process of the measurements and the evaluation of results. At first the demand and distribution of the energy, and the connection with the value and distribution of the turning temperature was established. I investigated the rule of the lubricant in the MQL-system. In the next chapter I analysed the mechanism of the tool abrasion. I estimated the results in base of the surface roughness and the size keeping. Finally I estimated the modifications of the crystallites on their photos.

In the last chapter I presented the new thesis, the results and the conclusions. These are summed into the thesis booklet.

Finally I prepared the proposals for the utilizations of the results in the practice.



# MELLÉKLETEK

## M1. Hivatkozott irodalmak jegyzéke

1. Alaxender R., Varadarajan A.S., Philip P.K. (1998): Hard turning with minimum cutting fluid—a viable green alternative on the shop floor, in: Proceedings of the 18th All India Manufacturing Technology Design and Research Conference December 21–23, Kharagpur, India, vol. 1, 83–187. p.
2. Artinger I. (1993): Korszerű szerszámanyagok VIII. Nemzetközi szerszámkonferencia, Miskolc, 34-40.p.
3. Ávila R.F., Abrão A.M. (2001): The effect of cutting fluids on the machining of hardened AISI 4340 steel, Journal of Materials Processing Technology 119,21–26.p.
4. Bali J. (1985): Forgácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest
5. Bálint L. (1958): A forgácsoló megmunkálások tervezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
6. Bálint L. (1964): Gépgyártástechnológia III., Tankönyvkiadó, Budapest, (változatlan utánnymás)
7. Bálint L., Kardos L., Kazár L., Leskó B. (1972): Gépgyártástechnológiai enciklopédia, Tankönyvkiadó, Budapest, (változatlan utánnymás)
8. Bakondi K., Kardos Á. (1974): A gépgyártás technológiája I. Forgácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest
9. Bartz W.J. és 70 szerzőtárs (2000): Kühlschmierstoffe und Zerspanung, Remingen-Malmsheim, expert-verlag
10. Batolome. (1981): Ullmanns Enzyklopadie der technischen Chemie, Band 2, Verlag Chemie, Weinheim
11. Becher G. (1985): Erzeugung und Eigenschaften von Weichautomatenstahl aus Vorblokkstrangguss Stahl und Eisen,105.p.
12. Bouzakis K.D. et al. (1999): Quantification of properties modification and cutting performance of  $(Ti_{1-x},Al_x)N$  coatings at elevated temperatures. Surf. Coat. Technol. 120, 34–39. p.
13. Bonnet-Lebouvier A.S., Klapczko J.R. (2002): International Journal of Impact Engineering Vol. 27. 755-769.p.
14. Black J.T. (1972): Trans. Of the ASME. J. of Engineering for Industry. Febr. 307-316. p.
15. Brandt H., Reitz K. (1979): Bearbeitung korrosionsbeständiger und hochwarfester Stahle, Fertigungstechnik und Betrieb, XXIX. Évf. 6. sz., 353-366. p.
16. Brinksmeier E., Heinzl C. (1995): Aufgaben der Kühlschmierstoffe bei spanender Bearbeitung, DIF-Bericht,17/21/01
17. Bruni C. et al (2005): Effect of the lubrication-cooling technique, insert

technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B, Department of Mechanics, Polytechnic University of Marche, Via Breccia Bianche, 60131 Ancona, Italy, 2 November

18. Burns T.J., Davies M.A. (1997): Physical Review Letters Vol. 79. No.3. 447-450.p.
19. Czichos H. (1995): The role of tribology as science and technology — what are the essentials? Tribol. Int. 28 1, 15–16. p.
20. Csizmazia Ferencné (1999): Anyagvizsgálat, Győr
21. Csizmazia Ferencné, Fodor László (1987): Anyagismeret és Technológia gyakorlatok(anyagvizsgálatok), Tankönyvkiadó, Budapest
22. Csengeri Pintér Péter (1987): Mennyiségek, mértékegységek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 196-197 p..
23. Csurgay Á., Simonyi K. (1997): Az információtechnika fizikai alapjai - Elektronfizika, Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest ISSN 0865 3313, ISBN 963 431 795 2
24. Dhar N.R. et al. (2006): Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, Journal of Materials Processing Technology 172, 299–304. p.
25. Degner W., Lutze H., Smejkal E.(1987): Spanenden Formungen VEB Verlag- Technik, Berlin,
26. Diekho W.(1987): Anforderungen an moderne Kühlschmierstoffe, VDI-Z, , 9,12.,16-17. p.
27. Diniz A.E., Ferreira J.R., Filho F.T. (2003): Influence of refrigeration/lubrication condition on SAE 52100 hardened steel turning at several cutting speeds, International Journal of Machine Tools and Manufacture 43, 317–326. p.
28. DIN 1651 (1988): Automatenstahle, Technische Lieferbedingungen, Deutscher Normenausschuss
29. Dodd B., Bai Y. (1985): Materials Science and Technology. Vol.1. jan 38-40.p.
30. Dudás I.(2000): Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai, Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, 182, 183-187., 209. p.ISBN 963 661 3427
31. Dudás I.(2001): Gépgyártástechnológia II., Forgácsoláselemélet, technológiai tervezés, Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, ISBN 963 661 3427
32. Dudás I. (2005): Gépgyártástechnológia III., A) Megmunkáló eljárások és szerszámaik, B) Fogazott alkatrészek gyártása és szerszámaik, Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, ISBN 963 661 5721
33. Dudás I.(1993): A számítógéppel segített technológiai tervezés, VIII. Nemzetközi Szerszámkonferencia, Miskolc, 1993. VIII. 30 - IX. 1, 61-63. p. ISSN 1217-5927
34. Dudás I., Berta M., Cser I.(1993): Lösungen zur Werkzeugauswahlen den rechnergestützten Systemen der Fertigungsplanung, VIII. Internationale

- Werkzeugkonferenz, Universität Miskolc, Ungarn, Miskolc, 30. August - 1. September 1993. 654-662. p.
35. Dudás I., Csermely T., Varga Gy.(1993): Computerized metrology of experiments done by single point cutting tools. In: VIII. Nemzetközi Szerzőkötet : Miskolc, 1993. augusztus 30 - szeptember 1. Miskolc:ME, 519-526. p.
  36. Dudás I., Tisza M., Voith M.(1995): Development tendencies of manufacturing processes Publications of the University of Miskolc, Series C, Mechanical Engineering, Volume 45., 207-220. p.
  37. Dudás I., Szabó O., Gurzo J.(1997): Temperature Variation Due to the Sliding of Atomic Planes at Microcutting, 4<sup>th</sup> International Colloquium - Mikro- und Nanotechnologie, TU Wien, November 26, 41 – 46. p.
  38. Dudás I.(1999): Modern measuring technique as a device of effective quality assurance of machine production, SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, Boston, Massachusetts, USA, 19-22 September
  39. Du F., Lovell R., Wu T.W. (2001): Boundary element method analysis of temperature fields in coated cutting tools. Int. J. Solids Struct. 38, 4557–4570. p.)
  40. Eberly D.H., Shoemaker K. (2004): Game Physics. Elsevier-Morgan Kaufman Publishers
  41. Ebbrell S. et al(2000): The effects of cutting fluid application methods on the grinding process, International Journal of Machine Tools and Manufacture 40, 209-223. p.
  42. Einstein A. (1906): Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? Ann. Der Phys. 18, 639-641. p.
  43. Einstein A. (1905): Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Annalen der Physik 17, 549- 560. p.
  44. Einstein A. (1905): Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Annalen der Physik 17, 132-148. p.
  45. Einstein A. (1917): Zur Quantentheorie der Strahlung. Phys. Zeitschr. XVIII, 121-128. p.
  46. Einstein A. (1905): Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik 17, 891-921. p.
  47. Ernst H., Merchant M. E. (1940): Surface Friction of Clean Metals – A Basic Factor in the Metal Cutting Process, Proc. Of Special Summer Conference on Friction and Surface Finish, Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology
  48. Ernst H. (1951): Fundamental Aspects of Metal Cutting and Cutting Fluid Action, Annals of the New York Academy of Sciences 53
  49. Frisch R. (1933): Experimentelle Nachweis des Einsteinschen Strahlungsrückstoßes. Zeitschr. für Physik 86, 42-48. p.

50. Fridrik L. (1987): Válogatott fejezetek a gépjártástechnológiai kísérletek tervezése témaköréből, Tankönyvkiadó, Budapest
51. Glauber R. J. (1963): The quantum theory of optical coherence. *Physik Rev.* 130, pp2529-2539 (1963); 131, 2763-2788. p.
52. Gribovszki L. (1977): Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest
53. Grzesik W. (2001): An investigation of the thermal effects in orthogonal cutting associated with multilayer coatings. *Ann. CIRP* 50 1 53–56. p.
54. Hawking S., Penrose R. (1999): A tér és az idő természete, Kossuth Lajos Tudományegyetem Elméleti Fizikai Tanszék
55. Handbuch der Zerspanung.(1996) Hrsg. Sandvik Coromand. Sandviken
56. Hering E., Rolf M., Stocher M. (1997a): *Physik für Ingenieure*, 6. Auflage, 9.fejezet, Springer- Verlag Berlin, Heidelberg, New York
57. Hering E., Rolf M., Stohrer M. (1997b): *Physik für Ingenieure*, 7.kötet 6. Auflage, Springer-Verlag , Berlin, Heidelberg, New-York,
58. Hering E., Rolf M., Stohrer M. (1997c): *Physik für Ingenieure*, 9. Szilárdtest fizika 6. Auflage, Springer-Verlag , Berlin, Heidelberg, New-York
59. Horváth M., Markos S. (1995): Gépjártástechnológia. Műegyetemi Kiadó, Budapest
60. Holics L., Abonyi I., Beleznyay F. (1992): *Klasszikus fizika* 1.-2. kötet,
61. Homola Viktor (2002): Gázturbinás fejlesztés a Paksi Atomerőműben *Gazdaság és Energia*, 2.szám, 38-39. p.
62. Igaz J., Pintér J., Kodácsy J.(2007): Minimálkenés, *Gépjártás XLVII. Évfolyam*, 4. szám, 22-31. p., HU ISSN 0016 8580
63. Igaz J., Pintér J., Kodácsy J. (2007): Minimálkenés, *Gépjártás XLVII. Évfolyam*, 6. szám, 33-42. p., HU ISSN 0016 8580
64. Igaz J. (2004): Hűtő-kenő anyagok kezelése és visszanyerése, *Gépjártás XLIV. Évfolyam*, 4.szám, 28-33. p., HU ISSN 0016 8580
65. Janszky J., Domokos P. (2005): *Kvantumoptika és kvantuminformatika*, *Magyar Tudomány* 2005/2: 1550-1556, Budapest
66. Joksch S., Eggers L. (2000): Többfunkciós olajok alkalmazásának gyakorlati tapasztalatai a fémfeldolgozó iparban, III. ÜKKK Konferencia, Keszthely, 2000. október, 78-85. p.
67. Kaldos A. (1997): An Investigation into the Tribological and Environmental Aspects of Cutting Processes, World Tribology Congress, London, 901 p. (Abstracts of Papers)
68. Kálmán P., Tóth A.(2005): Atomfizikai bevezető/1 2005.09.19. 7-12. p.
69. KÁRI-HORVÁTH A. (2006): Fotonenergia alapon megvalósított minimálkenésű (MMS) forgácsolási jellemzők meghatározása (Abstrac) – SZIE TDK Előadásainak összefoglalói, Gödöllő, 133.p., ISBN-10: 963-9483-70-2, ISBN-13: 978-963-9483-70-5
70. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I. (2008): A minimál (MMS)-kenés elméleti alapjainak bizonyítása, MTA-AMB 2008. évi XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő, 2008. január 22. Kiadvány 189-194.p. ISBN 978-963-611-449-7



71. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I. (2009a): Energiatakarékos forgácsolás molekulamanipuláció alkalmazásával – Mezőgazdasági Technika, L. évfolyam 2009. március, 2-5.p. HU ISSN 0026 1890
72. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I. (2008): Forgácsolási segédanyagok, mint alattomos és rendkívül veszélyes környezetkárosító ágensek, VI. Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok, Mezőtúr, 2008. október 16-17. ISBN 978-963-87874-2-2 , ISBN 978-963-87874-1-5
73. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I. (2009c): Az üzemi emulziókezelési technológia felülvizsgálata és a gyorsvizsgálati módszerek alkalmazása, Gép, LX. évfolyam 4-5. szám, 105-111.p., ISSN 0016-8572
74. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I. (2009a): Machining: some new aspects, R&D Mechanical Engineering Letters, 75-87.p., HU ISSN 2060-3789, CD-ROM ISSN 2060-3797
75. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I. (2009b): Developing directions and utilization technology of cooling-oiling liquids from environmental effects, R&D Mechanical Engineering Letters, 324-331.p., HU ISSN 2060-3789, CD-ROM ISSN 2060-3797
76. KÁRI-HORVÁTH A., Valasek I., Zsoldos I. (2009): The effect of the molecule manipulation on the lifetime of the product, R&D Mechanical Engineering Letters, 34-42.p., HU ISSN 2060-3789, CD-ROM ISSN 2060-3797
77. Kienzle O., Victor H. (1957): Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung Werkstatttechnik und Maschinenbau 47., 224-225. p.
78. Kipp M.E., Riddle L.B. (1992): A Guide to the Development of Advanced Metalworking Lubricants, in: Proceedings of the Eighth International Colloquium, Vol. 2, Ostfildern, Germany, 18.1.1–18.1.14. p.
79. Klocke F., Krieg T., Lugschneider E., Bobzin K. (2001): Testing and design of tool coatings with properties adapted to the use of biodegradable cutting fluids. Ann. CIRP 50 1, 57–60. p.
80. Klocke F., Gerschwiler K. (1996): Trockenbearbeitung - Grundlagen, Grenzen, Perspektiven, in: VDI-Berichte, 1240, 1–43. p.
81. Klocke F. et al. (2000): Applications of minimal quantity lubrication (MQL) in cutting and grinding, in: Proceeding of the 12th International Colloquium Industrial and Automotive Lubrification, Technische Akademie, Esslingen, 11-13 January
82. Klocke F. et al (2000): Minimal Quantity of Lubrication (MQL) – Motivation, Fundamentals, Viztas, 12. Nemzetközi Kollokvium, Esslingen, 929-943. p.
83. Klocke F., Eisenblätter, G. (1997): Proceedings of the Opening Session of the Dry Cutting, Annals of the CIRP, vol. 46(2), 519–526. p.
84. Knotek G. (1985): Werkstoffkunde, Institute für Werkstoffkunde, Band I., Aachen
85. König W. (1990): Fertigungsverfahren, Band 1, VDI-Verlag, Düsseldorf
86. Kronenberg M. (1954): Grundzüge der Zerspanungslehre, Springer-Verlag,

Berlin

87. Kundrák J., Gyáni K.(2006): Szuperkemény szerszámokkal végzett precíziós megmunkálások kutatása, Gépgyártás XLVI. Évfolyam,3.szám, 3-9. p., HU ISSN 0016 8580
88. Lamb W. E. (1995): Anti-photon. Appl. Phys. B60, 77-84. p.
89. Lechner E. (1957): Gépgyártás, kézirat, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest, 53-54. p.
90. Lenard P. (1902): Ueber die lichtelektrische Wirkung. Annalen der Physik 8, pp149-198 (1902); Annalen der Physik 12, 469. p.
91. Lewis G. N. (1926): The conservation of photons. Nature 118, 874-875. p.
92. Lössl G. (1979): Beurteilung der Zerspanung mit der Wärmeeindringfähigkeit, Wt-Z ind. Fertig. 69, 692-698. p.
93. MaClure T.F., Adams R., Gugger M.D. (2006): Comparison of Flood vs. Microlubrication on Machining Performance, <http://www.unist.com/techsolve.html> (accessed Jan 23).
94. Mallock A. (1881-82): The action of cutting tools, Proc. R. Soc. London 33, 127–139. p.
95. Merchant M.E. (1945a): Mechanics of the Metal Cutting Process – I: Orthogonal Cutting and the Type 2 Chip, J. of Appl. Physics 16, 267.p.
96. Merchant M.E. (1945b): Mechanics of Metal Cutting and Type 2 Chip, J. Applied Physics 16. 267.p.
97. Merchant M.E. (1945c): Mechanics of the Cutting Process, J. Applied Phys. 16. 267 and 318.p.
98. Motta M.F., Machado A.R. (1995): Cutting fluids: types, functions, selection, application methods and maintenance, Metals and Machines Magazines (sept.), 44–56. p.
99. Mózes Gy., Vámos E. (1968): Reológia és reometria, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
100. Möller U. J., Boor U. (1986): Schmierstoffe im Betrieb, VDI-Verlag, Düsseldorf,
101. Müller J (2002).: Kühlschmierstoffe- Gesetze, Verordnungen und Regelwerke zum Arbeitsschutz. Mineralölrundschau-Zeitschrift für die Mineralölwirtschaft, Heft 11 und 12, November und Dezember
102. Müller J, Joks St.(2003):Multifunktionsöle für die Metallbearbeitung auf Basis nachwachsender Rohstoffe 8. Symposium „Nachwachsender Rohstoffe für die Chemie” Tübingen: Eberhard-Karls-Universität, 26. und 27. 03.
103. Niebel B. W., Draper A. B., Wysk R. A.(1989): Modern Manufacturing Process Engineering, McGraw-Hill Publishing Company, ISBN 0-07-046563-0
104. Oxley P.L.B. (1968): Applied Research in Plastic Deformation, Australian Machinery and Production Engineering, 21 12.p.
105. Palmer W.B., Oxley P.L.B. (1959): Mechanics of Orthogonal Machining, Proc. Inst. Mech. Engrs. 173., 623.p.

106. Pálmai Z. (1980): Fémek forgácsolhatósága, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
107. Pálmai Z., Dévényi M., Szőnyi G.(1991): Szerszáanyagok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 381. p. ISBN 963 10 8939 5
108. Pálmai Z. (2005): A gyártástechnológia elméleti megújulásáról, Gépgyártás XLV. Évfolyam, 3.szám, 14-17. p., HU ISSN 0016 8580
109. Pálmai Z. (2008): A modellezés néhány problémája a fémek gyors alakításánál, Gépgyártás XLVIII. Évfolyam, 1-2.szám, 40-44. p., HU ISSN 0016 8580
110. Piqué J. L., Vialle J.L. (1972): Atomic-beam deflection and broadening by recoils due to photon absorption or emission. Optics Comm. 5, 402-406. p.
111. Piispanen V. (1976): Wear, Vol. 38., 43-72. p.
112. Philip P.K., Varadarajan A.S., Ramamoorthy B. (2000): Influence of cutting fluid composition and delivery variables on performance in hard turning using minimal fluid in pulsed jet form, communicated to the Journal of the Institution of Engineers—India April
113. Planck M. (1901): Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum. Annalen der Physik 4, 553-563. p.
114. Raics P. (2002): Atommag- és részecskefizika, Jegyzet. (DE Kísérleti Fizikai Tanszék) 118-120. p.
115. Rakič R., Rakič Z. (1994): Influence of coolants for metalworking on erosion and corrosion of tribomechanical system elements, in: Book of Abstracts of Eighth International Conference on Erosion by Liquid and Solid Impact (ELSI VIII), No. 15, Cambridge, UK
116. Rakič R. (1995): The effects of maintenance of coolants for metalworking on tribological processes, in: Proceedings of the Symposium on YUNG 4P'95, Vol. P4, Vrnjačka Banja, Yugoslavia, 157–162. p.
117. Rakič R., Rakič Z.(1996): The influence of coolants for metal working on tribological processes, in: Proceedings of the International Manufacturing Engineering Conference, Storrs, CT, 540–542. p.
118. Rakič R., Rakič Z. (1998): The effect of the selection of the metalworking fluids on tribological processes, in: Proceedings of the 11th International Colloquium Industrial and Automotive Lubrication, Ostfildern, Germany, 57–62. p.
119. Rakič R., Rakič Z.(2002): Tribological aspects of the choice of metalworking fluid in cutting process, Journal of Materials Processing Technology, Volume 124, Issues 1-2, 10 June, 25-31. p.
120. Rech J., Djouadi M.A. (2001): Wear resistance of coatings in high speed gear hobbing. Wear 250, 45–53. p.
121. Rech J., Kusiak A., Battaglia J. L. (2003): Tribological and thermal functions of cutting tool coatings , 26 November
122. Roßmann A. (1999): Schadenuntersuchung und Schadenverhütung an Bauteilen der Ingenieurkeramik, expert verlag
123. Runge P.R.F., Duarte G.N. (1990): Lubricants in the Industries-

- Production, Maintenance and Control, Triboconcept-Technical Editions 71–99. p.
124. Sandvik Coromant (2007), Insert Technical Data,  
<http://www.coromant.sandvik.com>
125. Schey A. (1967): Purposes and attributes of metalworking lubricants. Lubr. Eng. 24 5, 193–198. p.
126. Schneider R., Walther H., Wöste L. (1972): Atomic beam deflection by the light of a tunable dye laser. Optics Comm. 5, 337-340. p.
127. Schulz J. (2002): Multifunktionsprodukte-eine neue spannende story. Proceedings Tribologie Fachtagung 2002 „Reibung, Schmierung und Verschleiß“, Gesellschaft für Tribologie 23.-25.09.2002, Göttingen. Verlag Gesellschaft für Tribologie: Moers
128. Schulz J.(2005): Minimalmengeschmierung- kostengünstiger aus Überflutung?, Mineralöl technik, február
129. Shaw M. C. (1984): Metal Cutting Principles, Clarendon Press, Oxford,
130. Sipos S., Bíró Sz.: Környezettudatos forgácsolás –green manufacturing 1.rész,  
[http://forgacsolaskutatas.hu/kornyezet/kornyezettudatos\\_forgacsolas\\_1.xml](http://forgacsolaskutatas.hu/kornyezet/kornyezettudatos_forgacsolas_1.xml)
131. Sipos S., Bíró Sz.: Környezettudatos forgácsolás –green manufacturing 2.rész,  
[http://forgacsolaskutatas.hu/kornyezet/kornyezettudatos\\_forgacsolas\\_2.xml](http://forgacsolaskutatas.hu/kornyezet/kornyezettudatos_forgacsolas_2.xml)
132. Sokovic M., Mijanovic K. (2001): Ecological aspects of cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes, Journal of Materials Processing Technology (109), 181-189. p.
133. Somfai K. (1996): A fémmegmunkáló hűtő-kenőanyagok fejlesztése követi az újfajta alapanyagok és a gyártó-technológia fejlődését, Gépgyártás 43. évf. 5. sz. (Közép- és Kelet-európai Gépgyártástechnológiai és Ipari Automatizálási Kongresszus) 30-32. p., ISSN 1587-4648
134. Somfai K. (2005): A technológia korszerűsítésének lehetőségei a forgácsolás és forgácsmentes alakítás területén, Gépgyártás XLV. Évfolyam, 2.szám, 37-40. p., HU ISSN 0016 8580
135. Somfai K., Szemjék A.(2000): Minimálkenés, mint a jövő egyik lehetséges kenési módja, III. ÜKKK Konferencia, Keszthely, 2000. október 10-12.
136. Spinting W. (1994): Gehartete Bauteile problemlos zerspanen, VDI-Seminar Rationalisierungspotentiale in der spanenden Fertigung, Hannover
137. Szemjék A., Somfai K. (1993): Száraz, elektrosztatikus hűtés alapelve, berendezés felépítése, alkalmazás vizsgálata, VIII. Nemzetközi Szerszámkonferencia, Miskolc
138. Szemjék A., Somfai K.(1998): Minimál kenéses fémforgácsolás, hűtő-kenő folyadékok kenéstechnikája és korrózióvédelme konferencia, Budapest, 1998. június. 9-10.
139. Szemjék A., Somfai K.(1996): Forgácsolás minimál kenéssel, Gépgyártás 43. évf. 1-2. sz. (MACH-TECH célszám) 11-13. p., ISSN 1587-4648
140. Szemjék A.(1996): A "száraz forgácsolás" megvalósításának egy lehető-

- sége, Gépgyártástechnológia 11-12 sz., 6-9. p.
141. Taylor F. W. (1901): On the Art of Metall Cutting, Transaction of the ASME, vol. 28.
  142. Taylor F.W. (1907): On the Art of Cutting Metals, Trans. Amer. Soc. Mech. Engrs. 28., 31.p.
  143. Tönshoff H. K., Roethel J. (1994): Kühlschmierstoffe zur Verbesserung der Prozess- und Produktqualität bei der Zerspanung von Aluminiumlegierungen, DGMK-Forschungsbericht, Hamburg
  144. Tönshoff H.K. (1995): Spanen, Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
  145. Valasek I. (1999): Megmunkálások, mint Tribológiai rendszerek, Tribotechnika Kft. Budapest, 43-46. p.
  146. Valasek I. (1996): Tribológiai kézikönyv, Tribotechnika Kft, Budapest ISBN 963 0298368
  147. Valasek I., Tóth I. (2003): Megmunkálás - tribológia, Budapest, Tribotechnik Kft., 2, 6, 12-14, 49- 51. p.
  148. Valasek I., Budinszki J. (2003): Gépelemek kenése, Budapest, Tribotechnik Kft. 40. p.
  149. Valasek I. (2002): A tribológia alapjai, Budapest, Tribotechnik Kft. 50,63.,68. p.
  150. Valasek I., KÁRI-HORVÁTH A. (2008): Az üzemi emulziókezelési technológia felülvizsgálata és fejlesztési irányának meghatározása – Gépgyártás XLVIII. Évfolyam, 2008. 1-2. szám (III. rész) 53-59. p., HU ISSN 0016-8580
  151. Valasek I., KÁRI-HORVÁTH A. (2007b): Az üzemi emulziókezelési technológia felülvizsgálata és fejlesztési irányának meghatározása – Gépgyártás XLVII. Évfolyam, 2007. 6.szám (II. rész) 26-33. p., HU ISSN 0016-8580
  152. Valasek I., KÁRI-HORVÁTH A. (2007a): Az üzemi emulziókezelési technológia felülvizsgálata és fejlesztési irányának meghatározása – Gépgyártás XLVII. Évfolyam, 2007. 5.szám (I. rész) 18-25. p., HU ISSN 0016-8580
  153. Valasek I., Pálffy A., KÁRI-HORVÁTH A.(2007): Minimálkenésű (MMS) forgácsolási jellemzők meghatározása – Gépgyártás XLVII. Évfolyam, 2007. 2-3. szám, 47-56. p., HU ISSN 0016-8580
  154. Varadarajan A.S., Philip P.K., Ramamoorthy B.(2000): Optimization of operating parameters for the cutting performance during Hard Turning with minimal cutting fluid, Proceedings of the International Conference on Intelligent Flexible Autonomous Manufacturing systems Jan.,717–725. p.
  155. Varró S. (2005): A foton 100éve, MTA SZFKI, Budapest
  156. Victor H. (1969): Schnittkraftberechnungen für das Abspannen von Metallen wt-Y.ind. Fertig. 59,Nr.7, 317-327. p.
  157. VDI-Richtlinie 3397 Blatt 1 (2007.05.): Kühlschmierstoffe für spanende und umformende Fertigungsverfahren


158. VDI-Richtlinie 3397 Blatt 2 (2005.09.): Pflege von Kühlschmierstoffen für die Metallbe- und -verarbeitung - Maßnahmen zur Qualitätserhaltung, Abfall- und Abwasserverminderung
159. VDI-Richtlinie 3397 Blatt 3 (2008.03.): Entsorgung von Kühlschmierstoffen
160. Walter A., Brinksmeier, E. (2002): Leistungsbeurteilung von Kühlschmierstoffen und Additiven in der Zerspanung. Härterei-Technische Mitteilungen 57 1, S. 57-66. p.
161. Walter A. (2001): Potenzial von Kühlschmierstoffen gezielt nutzen. Trocken oder nass-wohin geht die Metallbearbeitung? VDI-Berichte 1635. VDI-Verlag, Düsseldorf, , S. 33-47. p.
162. Walter A. (2002): Tribophysikalische und tribochemische Vorgänge in der Kontakzone bei der Zerspanung, Dr.-Ing. Diss. Universität Bremen. Aachen: Shaker Verlag
163. Walter A. (2001): Zerspanung Eisenhaltige Werkstoffe Durch Kühlschmierstoffanwendung, IWT, Bremen
164. Walter A. (2003): Bildung von Sorptions- und Reaktionsschichten durch KSS-Additive bei der Zerspanung, Mineralöl technik, június
165. Walter A. (2006): Wegw zur Ressourcen schonenden Metallbearbeitung, Mineralöl technik, március
166. Weinert K. (1999): Trockenbearbeitung und Minimalmengenkuhlschmierung, Springer, Berlin
167. Weinert K. et al(2004): Dry machining and minimum quantity lubrication, Annals of the CIRP 53/2, 1–23. p.
168. Wertheim R., Ber A., Rotberg J. (1992),: Influence of high pressure flushing through the rake face of the cutting tool. Annals of the CIRP 41 1 101–106. p.
169. Zrínyi M. (2004): A fizikai kémia alapjai I., Budapest, Műszaki Könyvkiadó,
170. Zrínyi M.(2006): A fizikai kémia alapjai II., Budapest, Műszaki Könyvkiadó
171. Zwingmann G. (1976): Kühlschmierstoffe für die spanende Metallbearbeitung, In: Werkstatt und Betrieb, X. évf. 6. sz., 409-414. p.
172. Zsidai L., Kakuk Gy., KÁRI-HORVÁTH A., Szakál Z. (2008): Gyártás-tervezés, NSZFI, NS 108 0276 06 005-1 Budapest
173. A 98/2001 (VI.15.) Kormányrendelet és a 16/2001 (VII.18.) KöM rendelet
174. A 25/2000.(IX.30.)EüM-SZCSM rendelet
175. Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK rendelete (2006.dec.18.)

## M2. Alapanyag minőségi bizonyítványa

### MANUFACTURER'S TEST CERTIFICATE

ЗАВОДСКОЙ СЕРТИФИКАТ



<b>Producer: Metallurgical Works Petrostal</b> Изготовитель ЗАО "Металлургический завод "ПЕТРОСТАЛЬ"		<b>Manufacturer's Test Certificate No. 154210</b> Заводской сертификат 3.1 EN 10204								
<b>Contract: 348/08844200/06007</b> Контракт <b>Customer ref.:</b> Номер заказа <b>Works ref.: 3505614</b> Заводской заказ		<b>Customer: Tranzit-Shped KFT by order Flansch-Tech</b> Заказчик <b>KFT Rakoci 16, Zahon, Hungary</b>								
Steel grade Марка	Dimintions, mm Размеры, мм	Melt No. Номер плавки	N. of bundles Кол. пак.	Weight, mt Вес, т	N. of pieces Кол. штук					
42CrMo4	Round 100	68805	4	9.520	30					
Analyse, % Химический состав	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti
	0.410	0.230	0.660	0.027	0.025	1.000	0.190	0.170	0.160	0.007
	V	W								
0.010	0.010									
<b>Mechanical tests:</b> Механические испытания					<b>Heat treatment:</b> Quench: 860°C, oil Tempering: 600°C, air					
Re N/mm2	Rm N/mm2	A %	Z %	KV(-20C) J	HB					
935.90	1 047.62	15.6	-	-	-					
<b>Note:</b> Примечание	Round 25 mm									
We certify that the above products conform to the contracted requirements: Удостоверяем, что продукция соответствует условиям контракта <b>348/08844200/06007</b> <b>Specification No. 2/0001; EN 10083-1,</b> Спецификация, <b>GOST 2590-88</b>					<b>Signature:</b> Подпись  <b>Date: 22.07.2007</b> Дата					

### M3. Alapanyag keménységmérési jegyzőkönyve

CSEPELLI HŐKEZELŐ KFT.

Kelt: 2008.02.08.

Rend. cég és rend. száma: Flansch Tech Kft.  
 Rend. tárgya és mennyisége: 6 100 x 1000 mm Köracél a. szám: 68805  
 Vizsgálati előírások: Hőkezelés nélkül min: 42CrMo4.  
 Átvételre jelentve: 1 db. 62 kg. kőteg fm

**Műbizonylat**

Sorszám: 147/2008.  
 Csepeli Hőkezelő KFT.

**Reklámáció esetén kérjük a műbizonylat számát és keltezését feltüntetni!**

Kémiai vizsgálat		Szártsági vizsgálat				Keménységi vizsgálat		Erich	Hajl	Csav.				
Adag-szám	Próba-szám	C	Si	Mn	S	P	Foly N/mm <sup>2</sup>	Szil N/mm <sup>2</sup>	Nyúlás %	Kontr. %	Ütöm. kg/mm <sup>2</sup>	Jegyzők száma	Brinell Vickers kg/mm <sup>2</sup>	Rock-well C. B.
													197	HBW.

Minősítés: .....

*Borbély*  
 Bojtos Lászlóné.

CSEPELLI HŐKEZELŐ KFT. Hőkezelő Kft. MEO



## M4. Az infra-hőmérő minőségi tanúsítványa



### Werksprüfschein / inspection sheet

Gegenstand / Object: **Infratherm IGA 300**

Messbereich / Range: **300 ... 1300 °C**

Artikel-Nr. / Model-No.: **3 856 530**

Fabrik-Nr. / Serial-No.: **02454**

#### Prüfungsergebnisse / Test results:

1. **Visuelle Prüfung und Funktionsprüfung:** in Ordnung  
**Visual test and operating test:** o.k.
2. **Genauigkeitsprüfung / Accuracy test:** entspricht Datenblatt  
corresponds to data sheet

**Referenzgeräte:** IMPAC IS2, Nr.0110, 2094PTB05  
**Reference Equipment:** , ...900°C: 0,4°C  
**Messunsicherheit:** ...1300°C: 0,8°C ...1600°C: 1,1°C  
**Measuring uncertainty:** ...1900°C: 1,6°C ...2500°C: 2,1°C  
**Letzte Überprüfung / Last verification:** 07.02.07

**Referenzgeräte:** Pt-100, Ser.-Nr. 212697/1;  
**Reference Equipment:** 983/DKD-K-190001/2007-01  
**Messunsicherheit:**  
**Measuring uncertainty:** ...600 °C: 0,2 °C  
**Letzte Überprüfung / Last verification:** 26.01.07

3. **Rückführbarkeit:** Internat. Temperaturskale ITS 90  
**Traceability:**
4. **Qualitätssicherung:** DIN EN ISO 9001:2000  
**Quality assurance:**

Qualitätssicherung  
Quality control

Prüfer:  
Tested by:

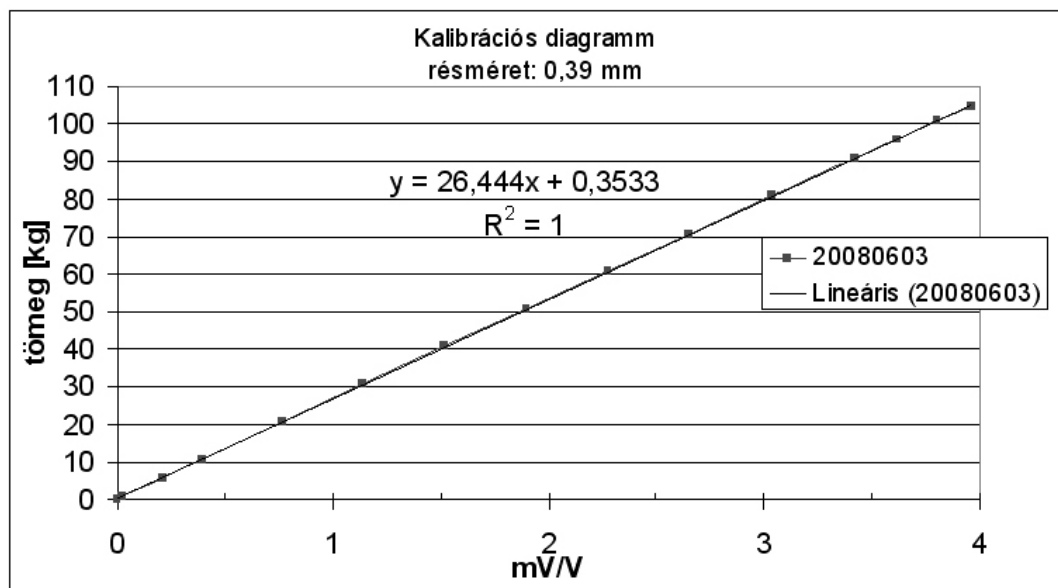
*Schwan*

Datum: 14. MAI 2007  
Date:

## M5. A forgácsolóerő-mérő kalibrációs jegyzőkönyve

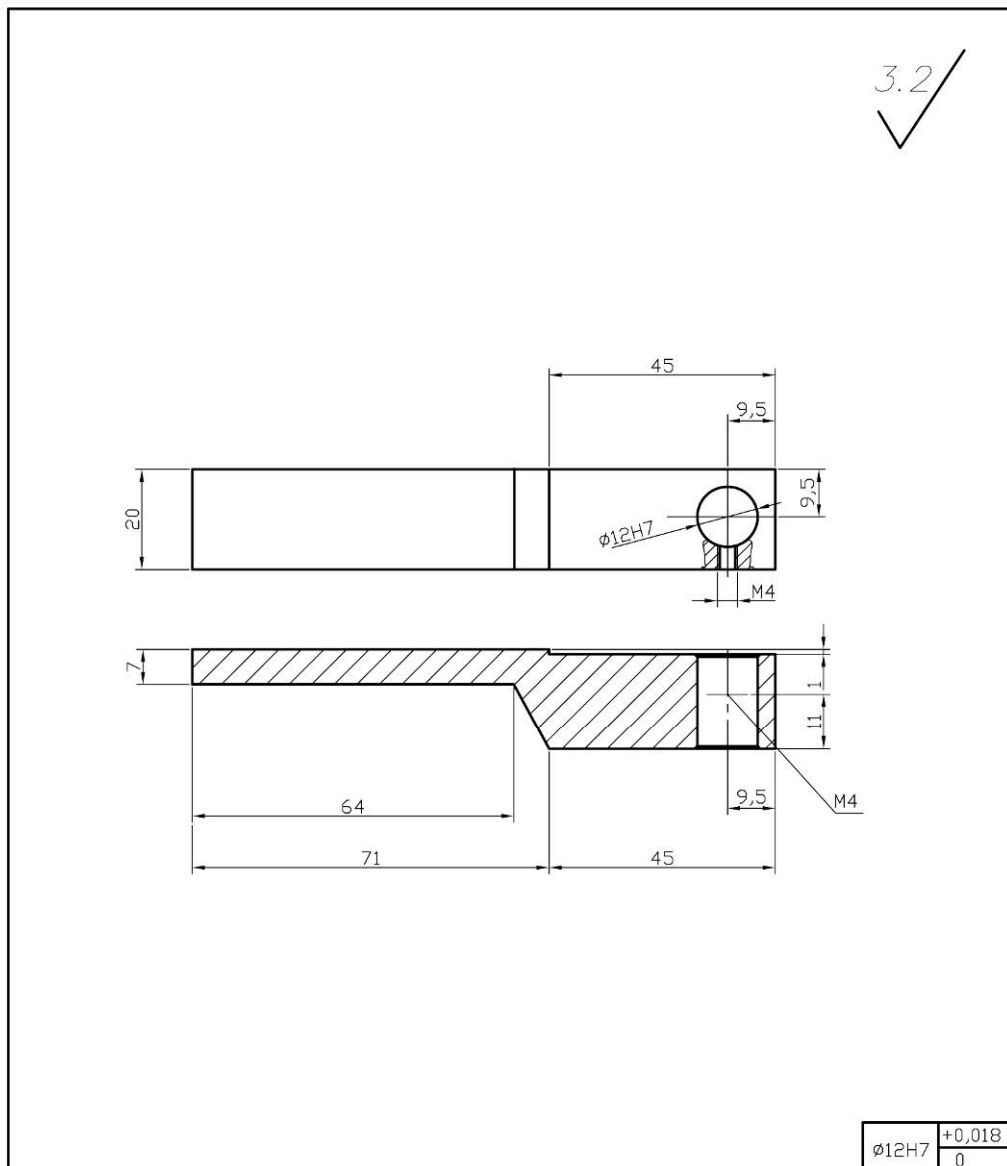
A forgácsoló erőmérő bemérésének adatai (1 = 9,81)

mV/V	tömeg [kg]	súly [N]
0	0	0
0,025	0,75	7,3575
0,21	5,75	56,4075
0,395	10,75	105,4575
0,765	20,75	203,5575
1,14	30,75	301,6575
1,515	40,75	399,7575
1,900	50,75	497,8575
2,275	60,75	595,9575
2,65	70,75	694,0575
3,035	80,75	792,1575
3,420	90,75	890,2575
3,615	95,75	939,3075
3,805	100,75	988,3575
3,960	104,75	1027,5975



A forgácsoló erőmérő karakterisztikája

## M6. Az induktív útdó befogójának műhelyrajza



		<table border="1"> <tr> <td>Ø12H7</td> <td>+0,018</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0</td> </tr> </table>		Ø12H7	+0,018		0
Ø12H7	+0,018						
	0						
Ellenőrizte:	Tárgy:	M.ar.:	Tantárgy:				
	Befogó	1:1	Kísélet				
		Súly:	Darabszám: 1db				
		0.1	SZIE GÉK				
Dátum: 2008.03.26.	Rajzszám: D 2008/01	Anyag: HS1801					

## M7. A kísérletek körébe bevont kenőanyagok kódjai, műszaki és biztonsági jellemzői

1. Kísérleti kód: **E1 - A**

Általános ásványolaj alapú emulzol műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,906
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	35,100
Emulzió (5% (V/V)/12nK°)		
Stabilitás (cm <sup>3</sup> krém/cm <sup>3</sup> olaj)	MSZ 11790-1	nyom/mentes
pH	DIN 51369	9,3
Habzási jellemzők - habtérfogat azonnal (cm <sup>3</sup> ) - habmegsemmisülés ideje(s)	IP 312	70 60
Korróziós hatás - rézlemezen - alumíniumlemezen	MSZ 11790-4	negatív negatív
Korróziós tulajdonság szürkeöntvényen - szűrőpapír teszt (4% (V/V, desztvíz)), fok,	DIN 51360-2	1

### Az emulzol összetétele

Komponens	%-os arány
Alapolaj (ISO VG 15)	64,8
KOH-val és DGA-al semlegesített borostyánkősav félészter, emulgeátor+korróziógátló	8,0
Na-szulfonát, emulgeátor	6,5
Zsír-sav-poliglikolészter, emulgeátor	12,0
Tridekanol, oldásközvetítő	6,5
Habzásgátló	0,2
Biocid	2,0

### Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, klórt, PCA-t, PCB-t és szekunder aminokat.

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24, S26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

EINECS/ELINCS 268-640-5

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály:10

### Összetevő Figyelendő határérték

Ásványolaj ACGIH (USA): TWA ≤ 5 mg/m<sup>3</sup> (8 h); STEL ≤ 10 mg/m<sup>3</sup> (15 min)

Borát ACGIH TLV (USA,2006/1): TWA ≤ 2 mg/m<sup>3</sup> (8 h); STEL ≤ 6 mg/m<sup>3</sup> (15 min)

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

2. Kísérleti kód: **E2 - A**

**HYSOL RD univerzális emulzol műszaki adatai**

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	DIN 51757	0,990 – 1,040
Kinematikai viszkozitás, 20 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	DIN 51562	154
Emulzió (3% (V/V), deszt. víz)		
pH	DIN 51361	9,2
Habzási jellemzők - habtérfogat azonnal (cm <sup>3</sup> ) - habmegsemmisülés ideje(s)	IP 312	60 50
Korróziós tulajdonság szürkeöntvényen - szűrőpapír teszt (4%(V/V, desztvíz)), fok,	DIN 51360-2	0

**Az emulzol összetétele**

Komponens	%-os arány
Alapolaj (ISO VG 15)	58
Zsírsavak, tallolaj, etanolamin	Σ 8,0
Alkoholetoxilat	5
Aminol semlegesített karbonsavval	8
2-(2-(2- butoxi)etoxi)etanol	4,5
(Z)-Docos-13-ensav+2- aminoetanol vegyületek 1:1 arányú keveréke	12,0

**Biztonsági adatlap:**

Nem tartalmaz nitritet, klórt, PCA-t, PCB-t és szekunder aminokat.

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24, S26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

EINECS/ELINCS 268-640-5

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály:10

3. Kísérleti kód: **E3 - S**

SYNTILO XPS szintetikus vízdoldható HKF-ék műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	DIN 51 757	1,100
Kinematikai viszkozitás, 20 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	DIN 51 562	178
Emulzió (5% (V/V); desztillált víz)		
pH	DIN 51361	8,5 – 8,7
Habzási jellemzők - habtérfogat azonnal (cm <sup>3</sup> ) - habmegsemmisülés ideje(s)	IP 312	~ 60 50
Korróziós tulajdonság szürkeöntvényen - szűrőpapír teszt (7%(V/V, desztvíz)), fok,	DIN 51360-2	0

Az emulzol összetétele

Komponens	%-os arány
Ásványolaj	0
Clor-vegyület	0
Poli-alkilén-glikol	42,0
Borátok, tetra-nátriumsók	25
Alkoholetoxilát	8
Teljesítménynövelő adalékok (EP/AW, PEP)	12
Polikvaterner ammónium klorid	2,5
Trietanol amin	7,5
Biocidok	1,5

Biztonsági adatlap:

Megfelel a TRGS 6 11 követelményeknek.  
Nem tartalmaz szekunder aminokat, nitritet, PTBB-t, PCB-t, PCT-t.

Veszélyjel: Xn (PKAC: 0,1 ....1%)

R-mondat: R20, R50/53

S-mondatok: S2, S24, S26, S29, S61

CAS-szám: 31075-24-8

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály:12

Figyelendő határértékek:

Trietanol amin: TWA ≤ 5 mg/m<sup>3</sup> (8 h)

Borát : TWA ≤ 2 mg/m<sup>3</sup> (8 h)

: STEL ≤ 6 mg/m<sup>3</sup> (15 min)

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 10; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 12 01 10

4. Kísérleti kód: **M1 - 32**

**HYSPRAY A 1536** vízzel nem keverhető megmunkáló olaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Szín/kinézet	-	szintelen
Sűrűség, 20 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	DIN 51 757	1,000
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	DIN 51 562	29,300
Viszkozitási-index	-	107,0
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	ISO 2592	186
Folyáshatár, (°C)		-20
Forráspont, (°C)		324
Gőznyomás, 20 °C-on, (kPa)		0,1 alatt
Vízoldhatóság	Hideg vízben oldhatatlan	

Magas zsíralkohol tartalmú, klórmentes aktivált adalékokat tartalmazó, vízmentes vágóolaj.

Összetétel: alifás alkoholok

Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: -

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: -

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály: 10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 07; Csomagolás: EAK 12 01 10

5. Kísérleti kód: **M2 - 2**

Vízzel nem keverhető ásványolaj alapú kísérleti megmunkálólaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,7663
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	2,108
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	0,973
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	120

Összetétel: C14-es n-paraffin

Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály:10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10



6. Kísérleti kód: **M3 - 2**

Vízzel nem keverhető ásványolaj alapú kísérleti megmunkálóolaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,766
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	2,220
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	0,971
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	118

Összetétel: 92 tf% C14-es n-paraffin + 8 tf% laurilalkohol

Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktározástály:10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

7. Kísérleti kód: **M4 - 5**

Vízzel nem keverhető ásványolaj alapú kísérleti megmunkálólaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,860
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	4,301
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	1,112
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	125
Szerkezet csoportelemzés	ASTM D 2140-3	
-aromás szénhidrogének, C <sub>A</sub> %		8
- nafténes szénhidrogének, C <sub>N</sub> %		60
- paraffinos szénhidrogének, C <sub>P</sub> %		32

Összetétel: szénhidrogén keverék

Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály: 10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

8. Kísérleti kód: **M5 - 5**

Vízzel nem keverhető ásványolaj alapú kísérleti megmunkálóolaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,870
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	5,000
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	1,263
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	136
Korróziós tulajdonság/A, fokozat	ISO 7120	0
Négygolyós vizsgálat	IP 239	
- hegedési terhelés, (kg)		3200
- kopásátmérő (1 h, 400N)		0,340

**Összetétel:**

Komponens	%-os arány
Alapolaj (összetétel M4-5-el azonos)	94,2
Növényi olaj	3,0
Kéneezett észter	1,4
EP-adalékú (szeperbázikus szulfonát)	1,0
Zn-dialkil-difiofoszfát	0,2
BHT oxidációgátló	0,2

**Biztonsági adatlap:**

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály:10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

9. Kísérleti kód: **M6 - 15**

Vízzel nem keverhető ásványolaj alapú kísérleti megmunkálólaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,866
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	14,64
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	3,233
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	194
Szerkezet csoportelemzés	ASTM D 2140-3	
-aromás szénhidrogének, C <sub>A</sub> %		7
- nafténes szénhidrogének, C <sub>N</sub> %		60
- paraffinos szénhidrogének, C <sub>P</sub> %		33

Összetétel: szénhidrogén keverék

Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

MAK szám: ≤10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály: 10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

10. Kísérleti kód: **M7 - 32**

Vízzel nem keverhető ásványolaj alapú kísérleti megmunkálólaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 15 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,872
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	32,1
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	5,32
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	220
Szerkezet csoportelemzés	ASTM D 2140-3	
-aromás szénhidrogének, C <sub>A</sub> %		5
- nafténes szénhidrogének, C <sub>N</sub> %		33
- paraffinos szénhidrogének, C <sub>P</sub> %		62

Összetétel: szénhidrogén keverék

Biztonsági adatlap:

Nem tartalmaz nitritet, PTB-t, PTBB-t, vagy PCT-t.

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R36/38

S-mondatok: S2, S24/26, S29

CAS-szám: 68132-47-8

MAK szám: ≤ 10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály: 10

Figyelendő határértékek: -

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

11. Kísérleti kód: **M8 - 32**

Vízzel nem keverhető szintetikus kísérleti megmunkálóolaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 20 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,830
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	31,340
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	5,932
Viszkozitási index, -	MSZ ISO 2909	135
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	min. 230
Folyáspont, (°C)	MSZ ISO 3016	max. 54

Összetétel: PAO 6 (poli – (α) - olefin)

Biztonsági adatlap:

Megfelel a TRGS 6 11 követelményeinek.

Tiltott anyagot nem tartalmaz.

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R20, R50/53

S-mondatok: S2, S24/26, S29, S61

CAS-szám: 31075-24-8

MAK szám: ≤ 10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály: 10

Figyelendő határértékek: -

M8 – 32 vízben nem oldható, M9 – 46/68 vízben oldódik

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

12. Kísérleti kód: **M9 – 46/68**

Szintetikus kísérleti megmunkálólaj műszaki adatai

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 20 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,990
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	55,000
Kinematikai viszkozitás, 100 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	10,000
Viszkozitási index, -	MSZ ISO 2909	180
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	nem gyúlékony
Folyáspont, (°C)	MSZ ISO 3016	- 45

Összetétel: Polyglykol B 01/40 (poli – (alkilén-glikolok))

Biztonsági adatlap:

Megfelel a TRGS 6 11 követelményeinek.

Tiltott anyagot nem tartalmaz.

Veszélyjel: Xi

R-mondat: R20, R50/53

S-mondatok: S2, S24/26, S29, S61

CAS-szám: 31075-24-8

MAK szám: ≤ 10 mg/m<sup>3</sup>

VCI-raktárosztály:10

Figyelendő határértékek: -

M8 – 32 vízben nem oldható, M9 – 46/68 vízben oldódik

Vízveszélyességi besorolás: WGK-1 (enyhén vízveszélyes anyag)

Hulladékód: Friss: EAK 12 01 07; Használt: EAK 12 01 09; Csomagolás: EAK 15 01 10

13. Kísérleti kód: **M10 – 32**

Biológiailag gyorsan lebomló HETG jelű triglicerid

Jellemzők	Vizsgálati módszerek	Követelmény
Sűrűség, 20 °C-on, (g/cm <sup>3</sup> )	MSZ EN ISO 3675	0,92
Kinematikai viszkozitás, 40 °C-on, (mm <sup>2</sup> /s)	MSZ EN ISO 3104	32,000
Viszkozitási index, -	MSZ ISO 2909	210,0
Lobbanáspont, (Cleveland) (°C)	MSZ EN ISO 2592	180,0

Ökológiai követelmény: RAL UZ 79

## M8. Száraz - kenés mérési jegyzőkönyvei

<b>I/1. Száraz</b>	Mérés ideje: 2008.06.25. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 2 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: -	
Megjegyzés: spontán emisszió	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	92,35	92,24	92,08	1,9	8,84	2,23	9,79	1630,81	794,47	447,95
2.	90,36	90,24	90,09	1,83	8,39	2,13	9	1627,70	793,86	464,85
3.	88,42	88,43	88,14	1,59	7,97	1,87	8,51	1628,07	792,26	473,81
4.	86,44	86,31	86,17	1,48	7,76	1,78	8,01	1626,18	822,40	451,27
5.	84,58	84,45	84,30	1,18	6,21	1,45	6,78	1625,82	791,10	473,59
6.	82,65	82,63	82,50	1,24	7,95	1,77	8,86	1617,37	895,21	515,45
									Σ: 3994,09	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
92,22	472,47	130,37	1968,62	-	6,25
90,23	461,39	127,55	3841,08	-	6,1
88,33	451,78	124,87	5773,49	0,066	5,96
86,30	440,22	122,00	7607,74	-	6,03
84,44	430,57	119,37	9401,78	0,133	5,67
82,59	419,65	116,75	11150,32	0,2	6,26
		Σ: 740,91			

$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{3994,09}{5} \cong 799 \text{ N},$$

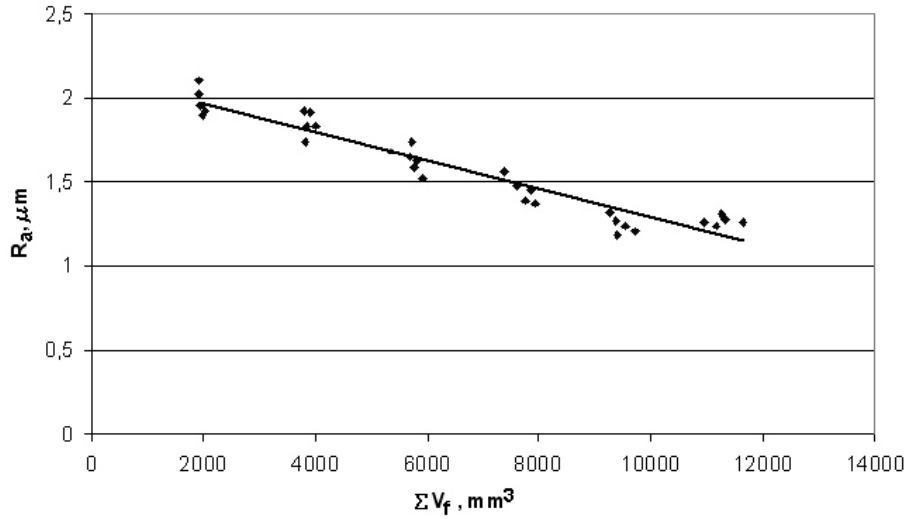
$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{799}{1 \cdot 0,25} = 3196 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 3196 \cdot 0,25^{0,26} = 2228,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

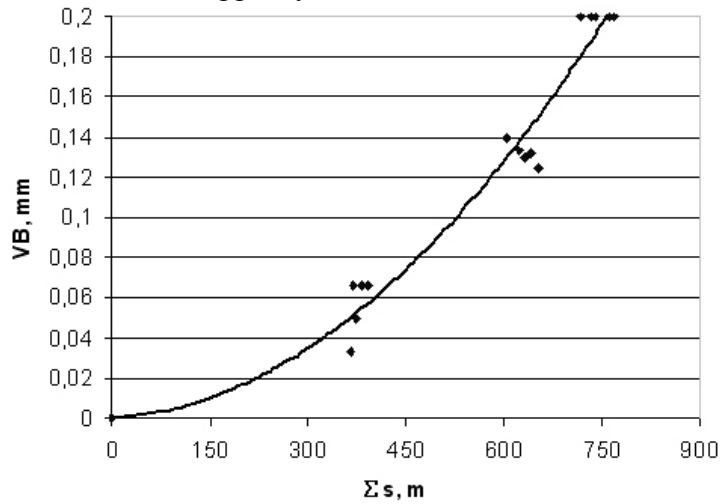


I/1-2

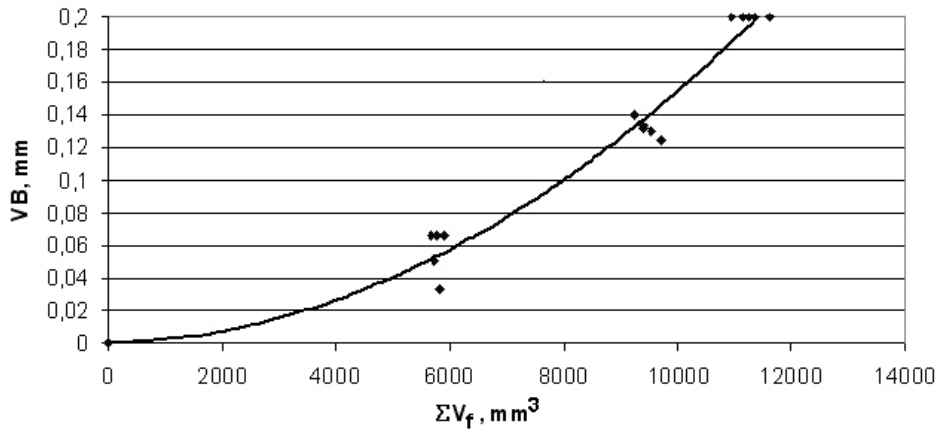
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

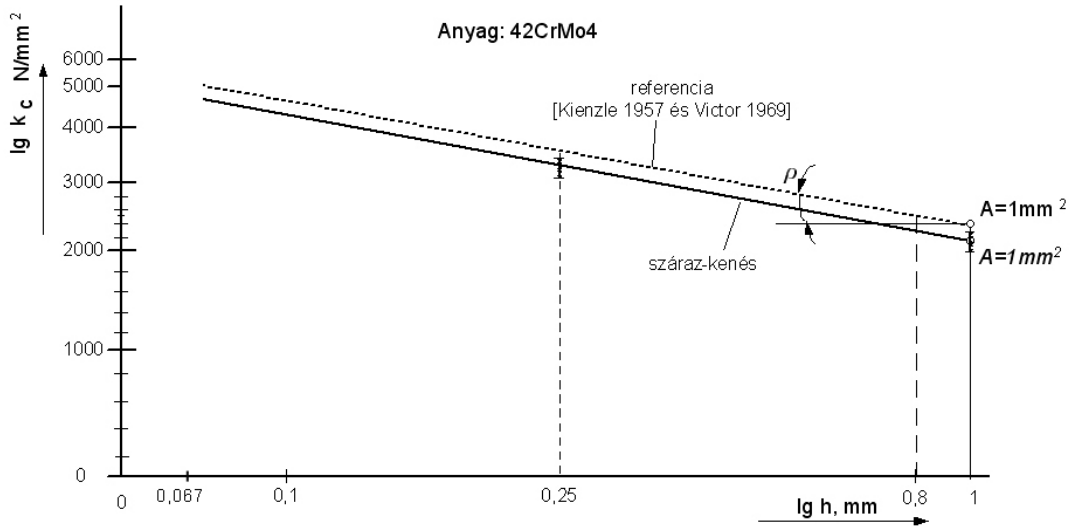


I/1-3

Az átmérő állandósága:

1.  $92,22^{+0,13}_{-0,14}$     2.  $90,23^{+0,13}_{-0,14}$     3.  $88,33^{+0,1}_{-0,19}$     4.  $86,30^{+0,14}_{-0,13}$   
 5.  $84,44^{+0,13}_{-0,14}$     6.  $82,59^{+0,06}_{-0,09}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT7-es pontosságnak.



<b>I/2. Száraz</b>	Mérés ideje: 2009.01.28. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 10 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: -	
Megjegyzés: Indukált emisszió	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	94,1	94,17	94,23	1,98	8,16	2,25	8,6	1626,12	819,67	349,96
2.	92,07	92,13	92,18	1,79	7,31	2,01	8	1622,22	831,82	399,99
3.	90,05	90,09	90,13	1,40	6,72	1,65	7,39	1619,26	828,23	409,48
4.	88,2	88,17	88,24	3,28	15,02	3,87	16,81	1614,6	895,93	470,02
									Σ: 3375,65	

A számított adatok:

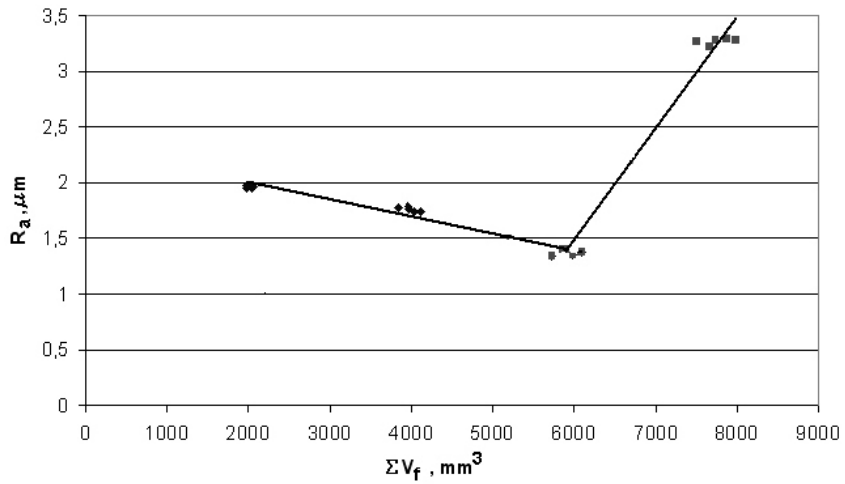
D <sub>á</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
94,16	481,02	133,11	2004,25	-	6,57
92,12	469,47	130,23	3960,37	-	6,50
90,09	458,29	127,36	5869,91	-	6,32
88,2	447,38	124,68	7733,99	0,2	6,68
		Σ: 515,38			

$$F_{c,\text{átlag}} = \frac{3375,65}{4} \cong 844 \text{ N},$$

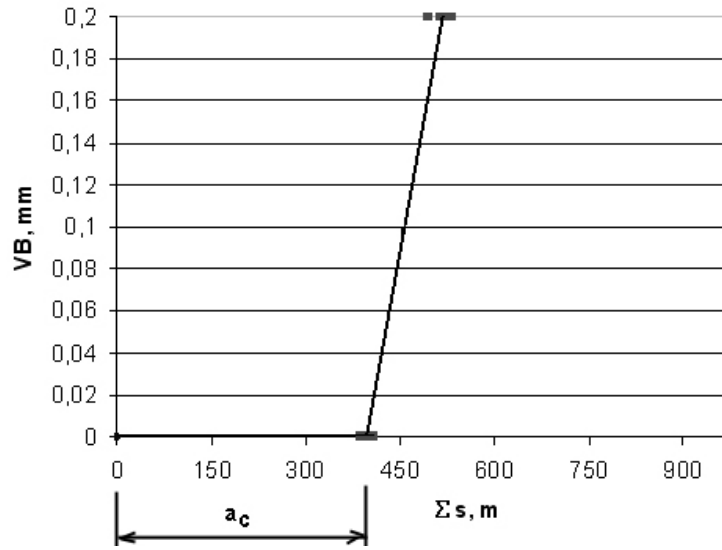
$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{844}{1 \cdot 0,25} = 3376 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 3376 \cdot 0,25^{0,26} \cong 2354 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

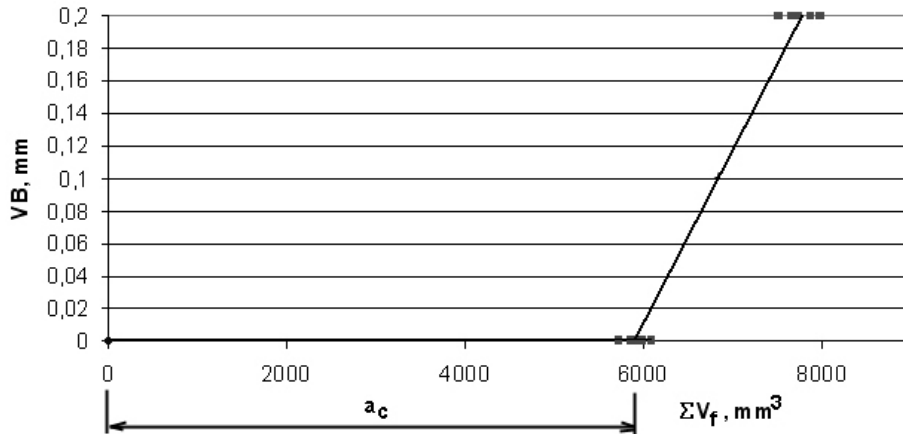
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

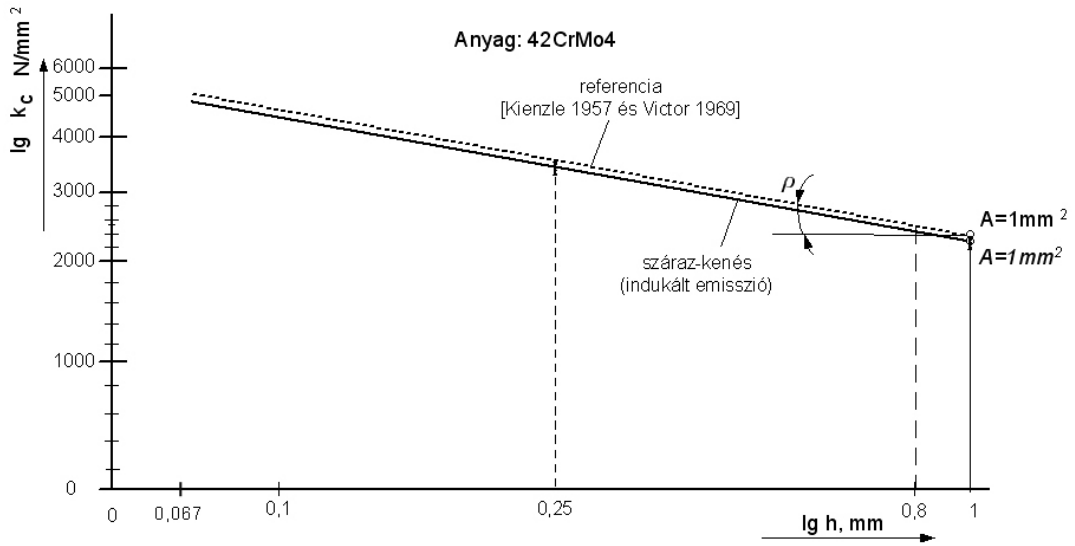


I/2-3

Az átmérő állandóság:

1.  $94,16^{+0,07}_{-0,06}$     2.  $92,12^{+0,06}_{-0,05}$     3.  $90,09^{+0,04}_{-0,04}$     4.  $88,2^{+0,04}_{-0,03}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT5-ös pontosságnak.



<b>I/3. Száraz</b>	Mérés ideje: 2009.01.28. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 9 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: -	
Megjegyzés: Doppler-hűtés	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,9	96,96	97	2,38	13,07	2,80	14,06	1629,88	761,57	360,2
2.	94,93	94,98	95,02	2,11	10,11	2,44	10,72	1624,28	783,45	379,3
3.	92,87	92,92	92,95	1,98	9,31	2,29	10,31	1617,3	815,40	383,6
4.	90,93	90,98	91,01	1,94	8,98	2,24	9,51	1622,56	812,35	385,02
5.	88,97	88,02	89,04	1,78	9,08	2,14	9,37	1618,38	817,73	388,3
6.	87,02	87,06	87,08	1,64	8,50	2,01	9,51	1615,95	832,22	393,1
7.	85,05	85,12	85,15	1,47	7,34	1,77	7,96	1614,55	867,86	420,59
									Σ: 5690,58	

A számított adatok:

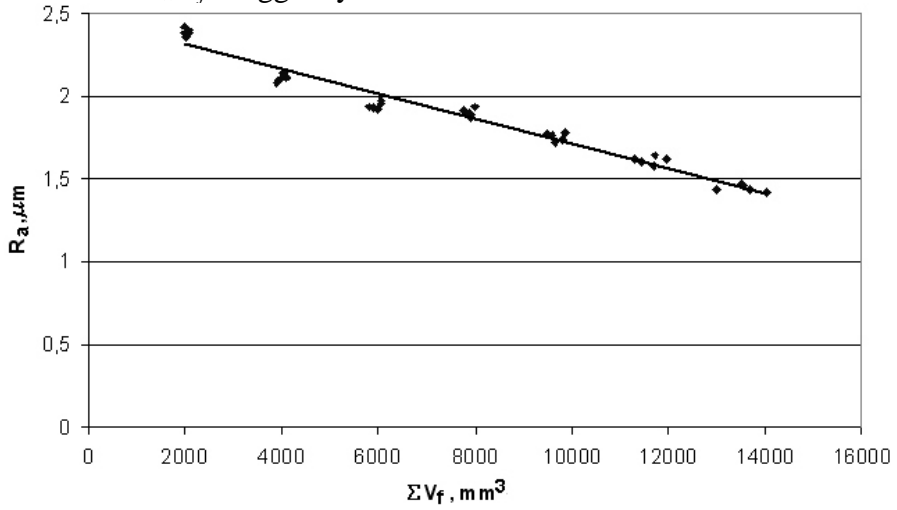
D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,95	496,42	137,06	2068,41	-	6,3
94,97	484,61	134,27	4087,61	-	6,32
92,91	472,06	131,35	6054,52	-	6,41
90,97	463,71	128,61	7986,64	-	6,27
89,01	452,55	125,83	9872,26	-	6,16
87,05	441,92	123,06	11713,59	-	6,12
85,10	431,64	120,31	13512,09	0,2	6,24
		Σ: 900,49			

$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{5690,58}{7} \cong 813 \text{ N},$$

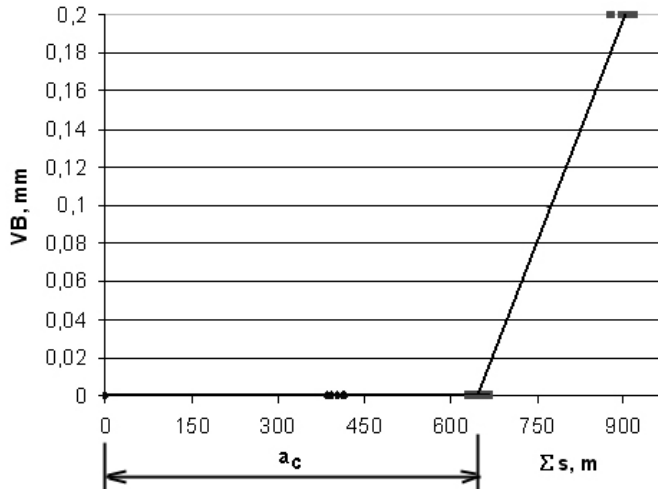
$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{813}{1 \cdot 0,25} = 3252 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c,1} = k_c \cdot h^m = 3252 \cdot 0,25^{0,26} \cong 2268 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

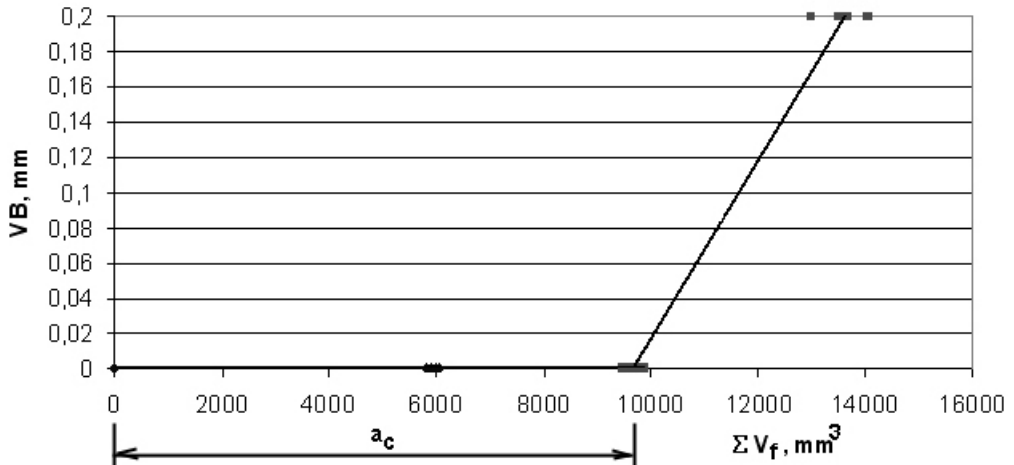
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

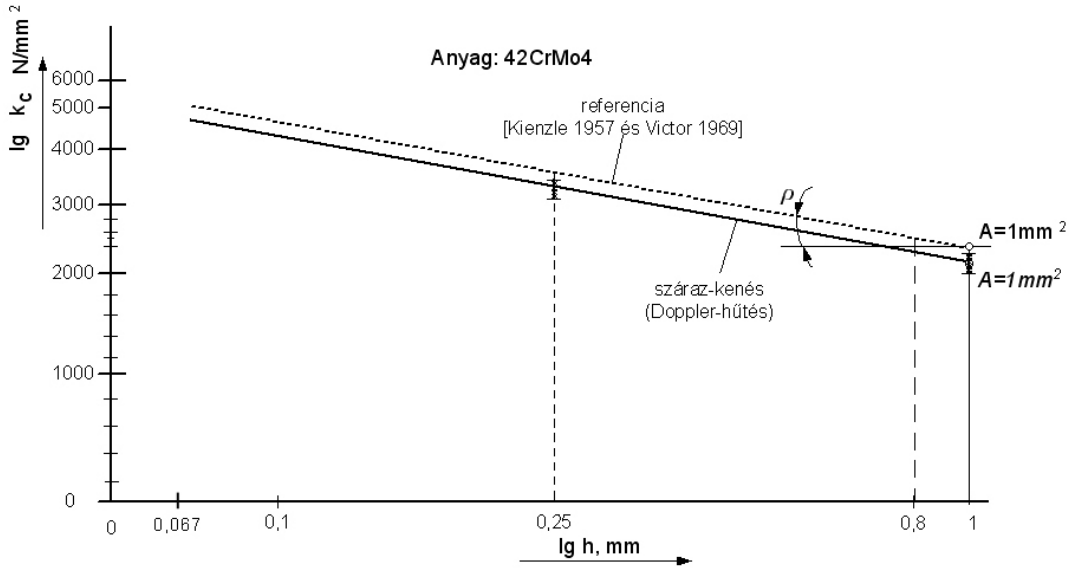


I/3-3

Az átmérő állandósága:

1.  $96,95^{+0,05}_{-0,05}$     2.  $94,97^{+0,05}_{-0,04}$     3.  $92,91^{+0,04}_{-0,04}$     4.  $90,97^{+0,04}_{-0,04}$   
 5.  $89,01^{+0,03}_{-0,04}$     6.  $87,05^{+0,03}_{-0,03}$     7.  $85,10^{+0,05}_{-0,05}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT4-es pontosságnak.





## M9. 5 tf%-os emulzió mérési jegyzőkönyve

<b>II. 5 tf%-os emulzió</b>	Mérés ideje: 2008.11.06. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 8 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>E2-A</b>	
Megjegyzés: spontán emisszió	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	94,53	94,61	94,68	2,15	8,86	2,46	9,23	1630,19	711,52	364,70
2.	92,57	92,65	92,72	2	8,06	2,26	8,52	1629,53	665,31	352,03
3.	90,50	90,58	90,65	1,93	8,03	2,18	8,36	1623,40	642,11	348,44
4.	88,53	88,62	88,70	1,87	8,06	2,2	8,72	1626,91	629,24	351,99
5.	86,56	86,65	86,72	1,81	7,61	2,04	8,23	1626,02	619,03	343,88
6.	84,57	84,65	84,72	1,64	7,29	1,87	7,85	1625,03	630,37	358,17
7.	82,59	82,67	82,73	1,4	6,3	1,59	6,57	1621,41	646,55	372,23
8.	80,63	80,69	80,75	1,31	6,12	1,52	6,62	1615,49	624,03	371,93
9.	78,57	78,64	78,71	1,18	6,25	1,41	6,69	1602,96	641,22	402,86
10.	76,65	76,75	76,97	1,61	7,85	1,94	9,72	1596,16	804,39	418,97
									Σ: 6610,25	

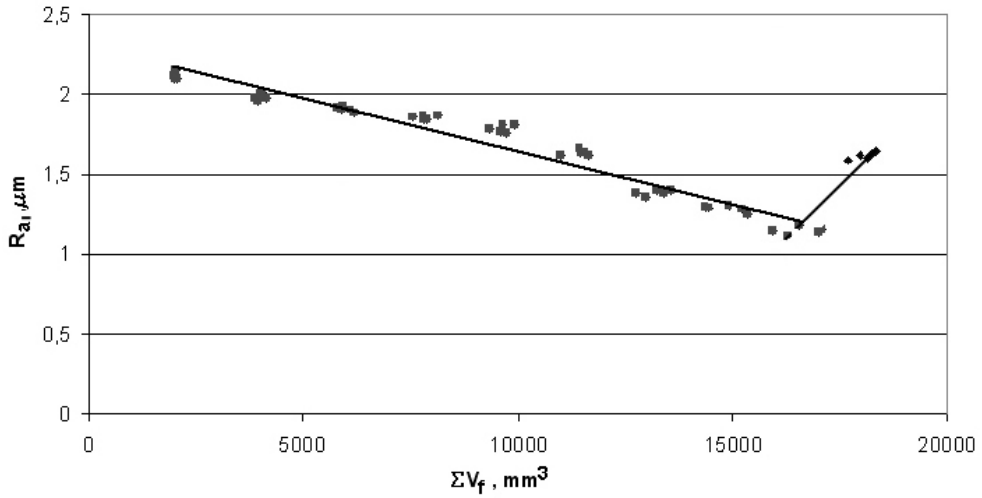
A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
94,60	484,48	133,74	2018,68	-	5,74
92,64	474,25	130,97	3994,73	-	5,25
90,57	461,91	128,04	5919,36	0	4,94
88,61	452,89	125,27	7806,41	-	4,74
86,64	442,58	122,48	9650,5	0	4,56
84,64	432,10	119,66	11450,92	-	4,53
82,66	421,05	116,86	13205,31	-	4,53
80,69	409,51	114,07	14911,63	-	4,25
78,64	396,01	111,17	16561,7	0	4,23
76,79	385,06	108,55	18166,12	0,2	5,16
		Σ: 1210,81			

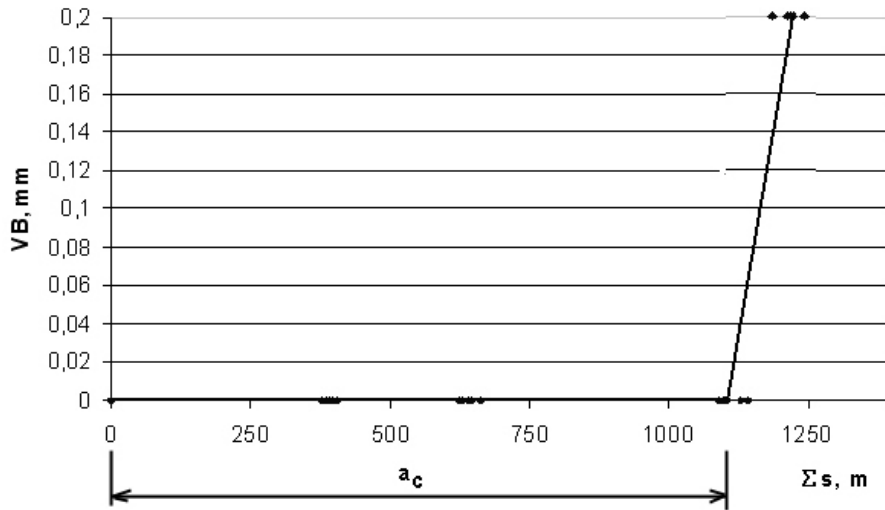
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{6610,25}{10} \cong 661 \text{ N}, k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{661}{1 \cdot 0,25} = 2645 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 2645 \cdot 0,25^{0,26} = 1845 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

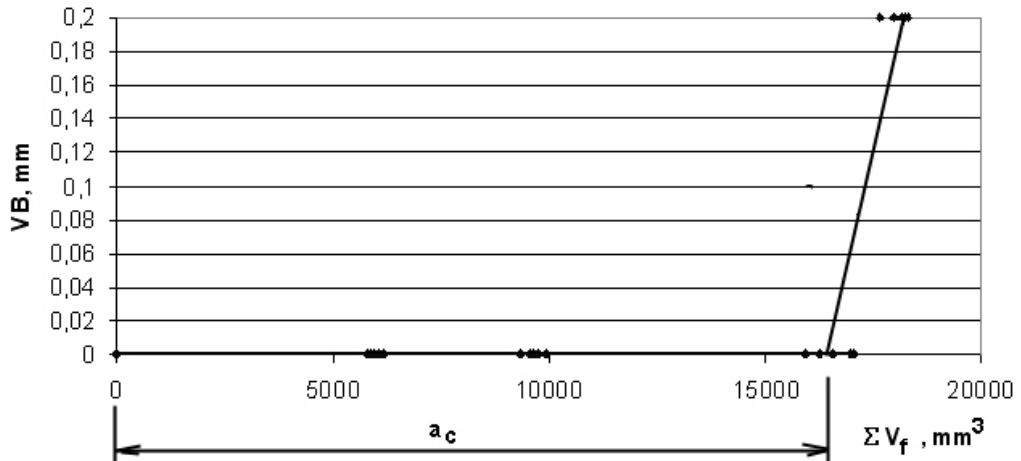
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

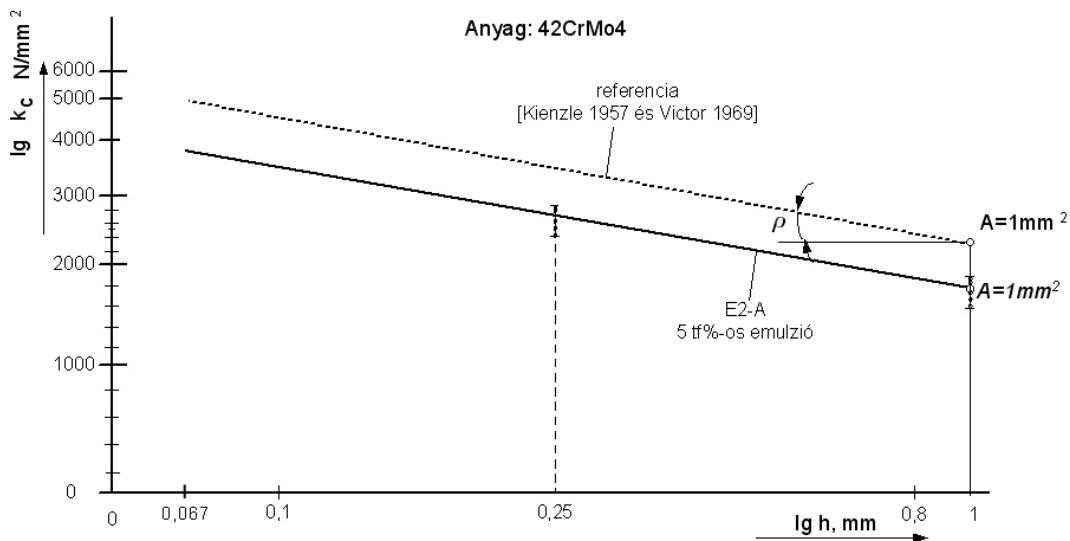


## II/3

Az átmérő állandósága:

- |                            |                             |                            |                            |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1. $94,60^{+0,08}_{-0,07}$ | 2. $92,64^{+0,08}_{-0,07}$  | 3. $90,57^{+0,08}_{-0,07}$ | 4. $88,61^{+0,09}_{-0,08}$ |
| 5. $86,64^{+0,08}_{-0,08}$ | 6. $84,64^{+0,08}_{-0,07}$  | 7. $82,66^{+0,07}_{-0,07}$ | 8. $80,69^{+0,06}_{-0,06}$ |
| 9. $78,64^{+0,07}_{-0,07}$ | 10. $76,79^{+0,18}_{-0,14}$ |                            |                            |

Az átmérők pontossága megfelel az IT7-es pontosságnak.



### M10. Az MMS-kenés mérési jegyzőkönyve

<b>III. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.07.01. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 3 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M1-32</b>	
Megjegyzés: spontán emisszió 50 g/h	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	93,36	93,24	93,09	1,88	8,68	2,23	8,89	1629,04	1094,81	512,82
2.	91,34	91,21	91,05	1,66	7,59	1,91	8,11	1627,05	835,46	521,41
3.	89,38	89,25	89,08	1,35	6,2	1,57	6,70	1624,44	913,6	523,15
4.	87,35	87,26	87,15	1,39	7,16	1,57	7,19	1630,86	782,38	525
									Σ: 3626,25	

A számított adatok:

D <sub>á</sub> [mm]	v <sub>c</sub> fm/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
93,23	477,13	131,8	1988,62	-	8,7
91,2	466,17	128,93	3930,41	-	6,49
89,23	455,37	126,14	5827,78	0,0153	6,93
87,15	447,02	123,34	7690,38	0,2	5,82
		Σ: 510,21			

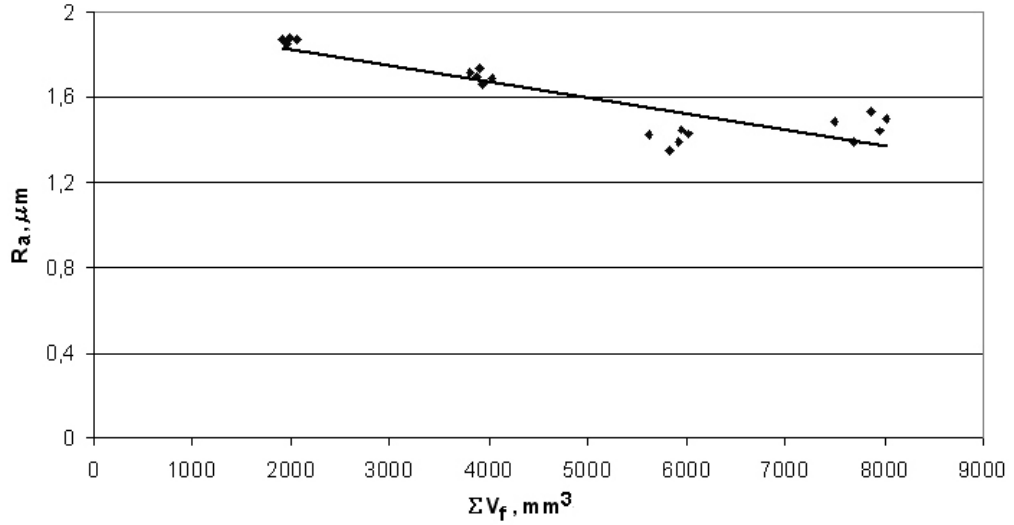
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{3626,25}{4} \cong 907 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{907}{1 \cdot 0,25} = 3628 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

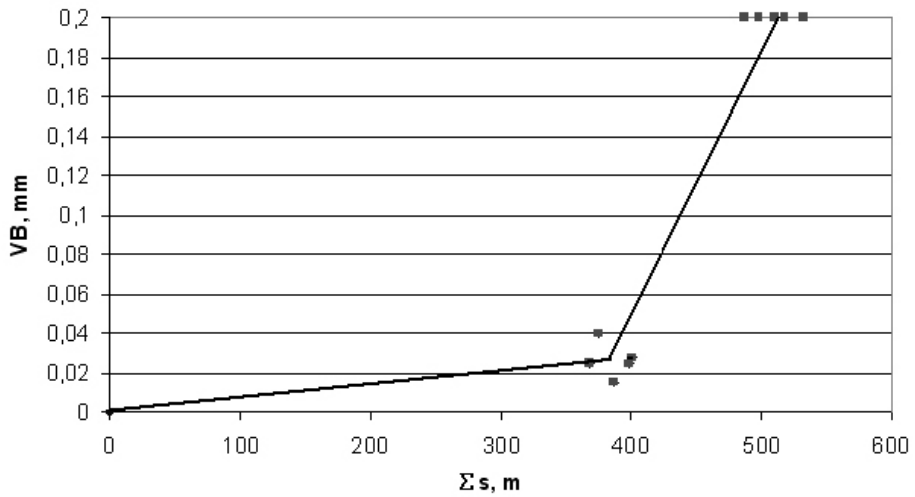
$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 3628 \cdot 0,25^{0,26} = 2530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

III/2

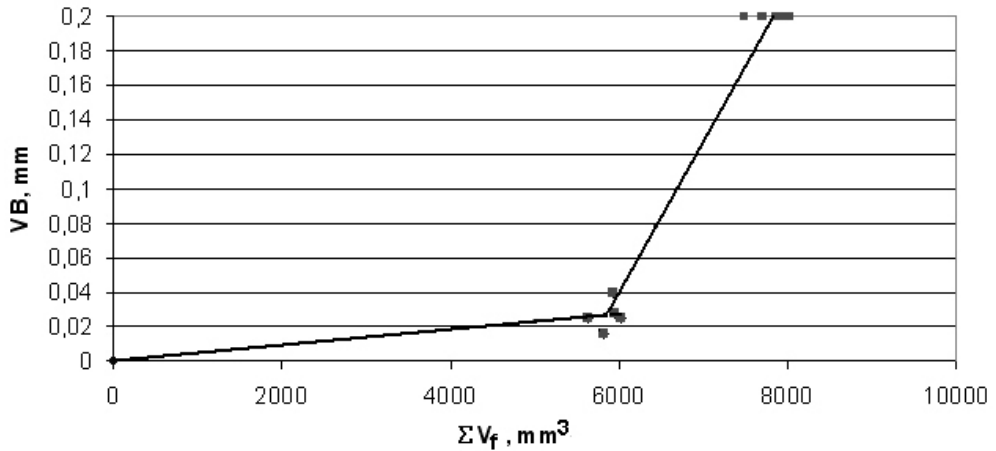
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

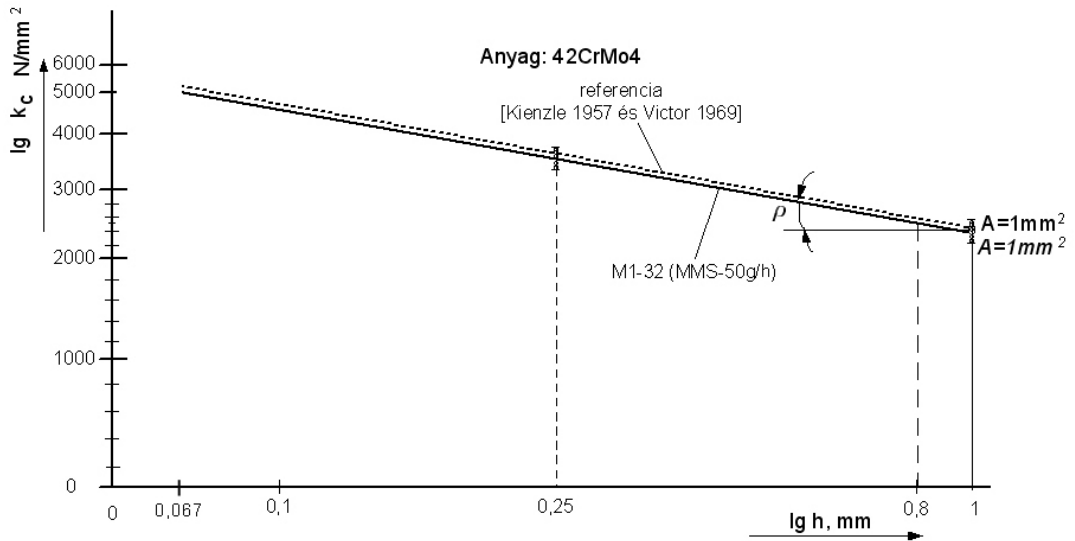


### III/3

Az átmérő állandóság:

1.  $93,23^{+0,13}_{-0,14}$     2.  $91,2^{+0,14}_{-0,15}$     3.  $89,23^{+0,15}_{-0,15}$     4.  $87,15^{+0,20}_0$

Az átmérők pontossága megfelel az IT7-es pontosságnak.



## M11. Az MMS-kenés (M1-32) mérési jegyzőkönyvei

<b>IV/1. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.09.25. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 4 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M1-32</b>	
Megjegyzés: Doppler-hűtés (50 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,76	96,73	96,69	2,07	9,11	2,42	9,68	1622,05	1376,35	334,60
2.	94,86	94,83	94,80	1,96	8,64	2,27	9,15	1626,04	974,14	339,23
3.	92,81	92,78	92,74	1,84	8,11	2,13	8,55	1615,38	889,10	351,97
4.	90,87	90,84	90,80	1,7	7,51	1,94	8,11	1620,52	871,62	360,77
5.	88,86	88,82	88,79	1,57	7,5	1,82	8,09	1615,71	707,40	378,40
6.	86,94	-	-	4,88	22,62	5,71	23,81	1605,72	688,43	396,10
									Σ: 5507	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,72	492,86	136,75	2053,61	-	11,30
94,83	484,42	134,06	4072,04	-	7,86
92,77	470,79	131,15	6075,97	0	6,97
90,83	462,41	128,40	8002,7	-	6,71
88,82	450,84	125,56	9881,2	0	5,31
86,94	438,57	21,85	11708,57	0,2	5,03
		Σ: 677,77			

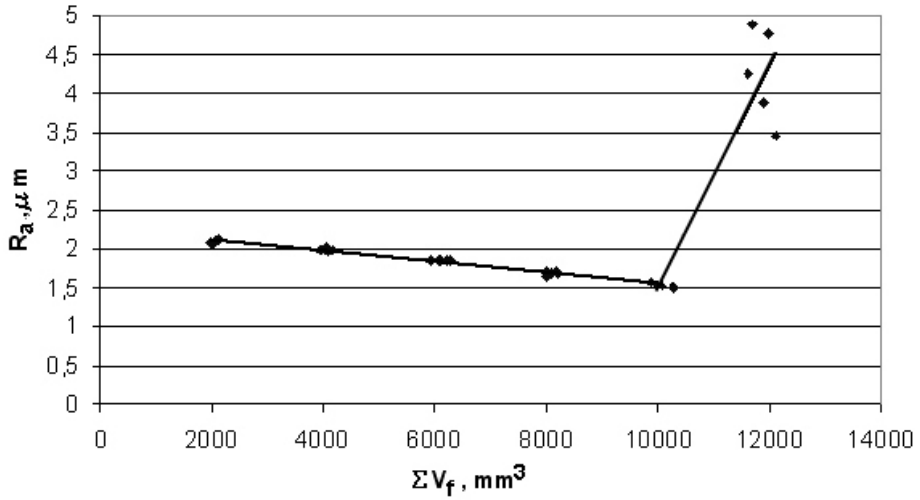
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{5507}{6} \cong 917 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{917}{1 \cdot 0,25} = 3668 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

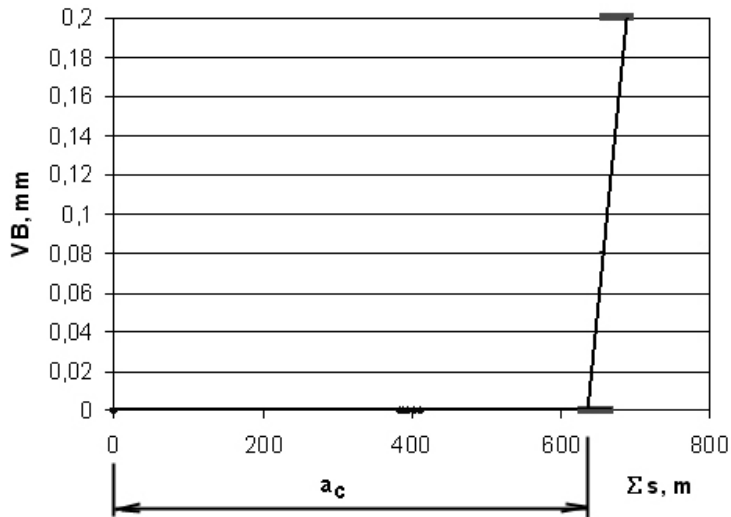
$$k_{c,1} = k_c \cdot h^m = 3668 \cdot 0,25^{0,26} = 2558 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

IV/1-2

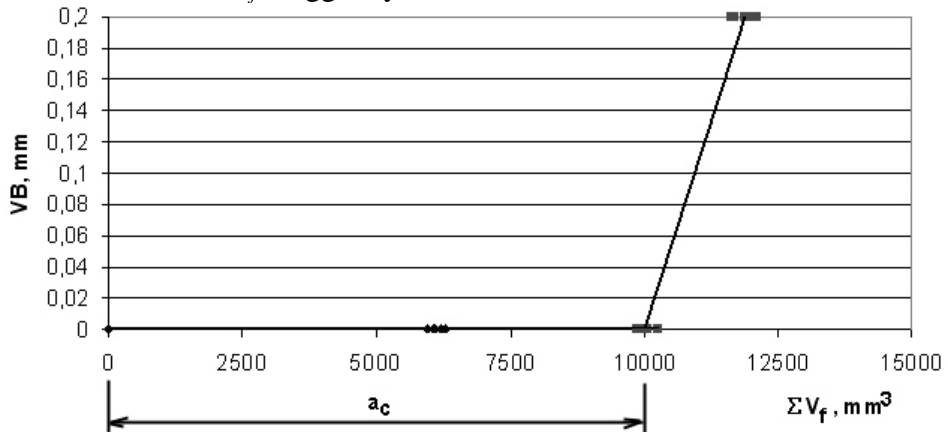
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében





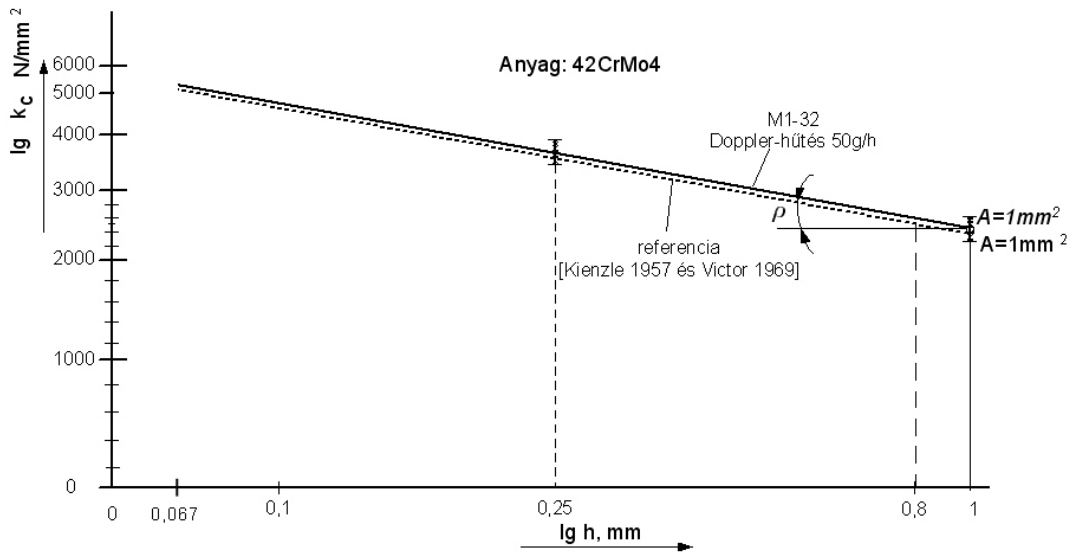
### IV/1-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,72^{+0,04}_{-0,03}$     2.  $94,83^{+0,03}_{-0,03}$     3.  $92,77^{+0,04}_{-0,03}$     4.  $90,83^{+0,04}_{-0,03}$

5.  $88,82^{+0,04}_{-0,03}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT4-es pontosságnak.



<b>IV/2. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.09.25. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 5 azonosító: Pf felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M1-32</b>	
Megjegyzés: Doppler-hűtés (30 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	94,70	94,70	94,66	2,16	8,83	2,41	9,94	1625,47	757,20	335,16
2.	92,73	92,72	92,70	1,92	8,99	2,18	10,69	1620,42	882,86	354,64
3.	90,79	90,78	90,77	1,68	8,15	1,87	9,03	1618,11	838,28	359,60
4.	-	88,76	88,77	1,89	9,84	2,25	12,79	1610,30	759,23	387,34
									Σ: 3238	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
94,68	483,48	133,85	2014,53	-	6,10
92,71	471,95	131,06	3981,02	-	6,94
90,78	461,47	128,33	5903,83	0,033	6,44
88,76	449,02	83,65	7774,78	0,2	5,68
		Σ: 476,89			

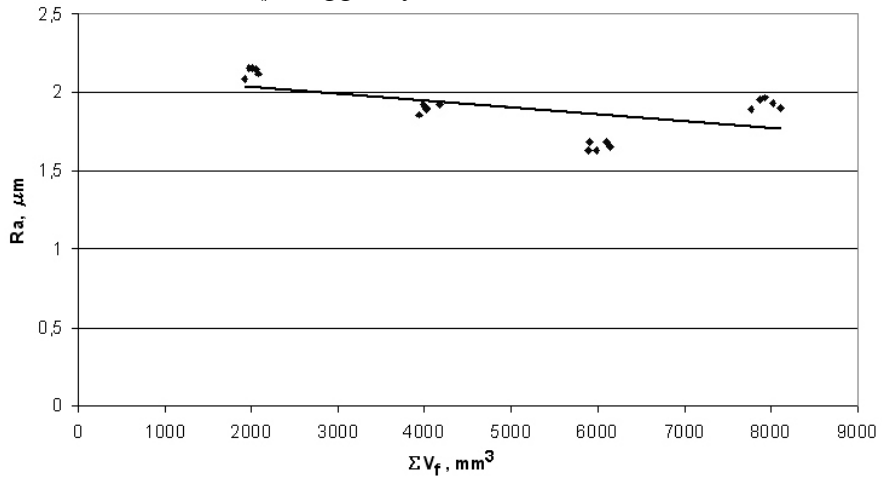
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{3238}{4} \cong 810 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{810}{1 \cdot 0,25} = 3240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

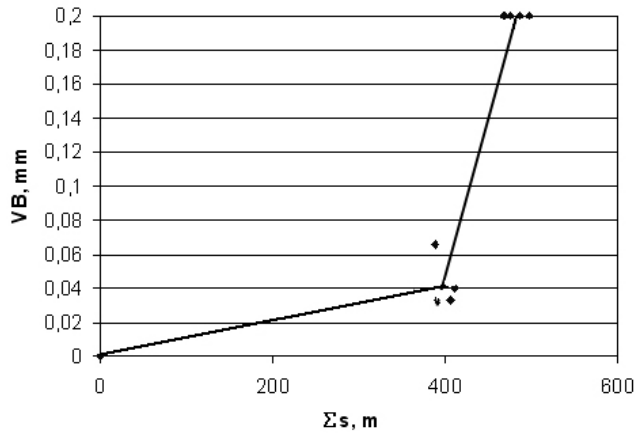
$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 3240 \cdot 0,25^{0,26} = 2259 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

IV/2-2

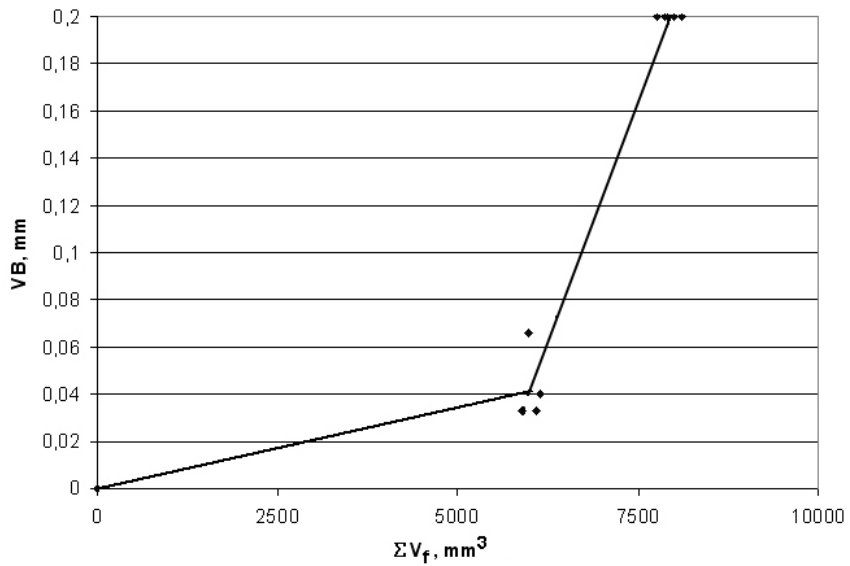
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

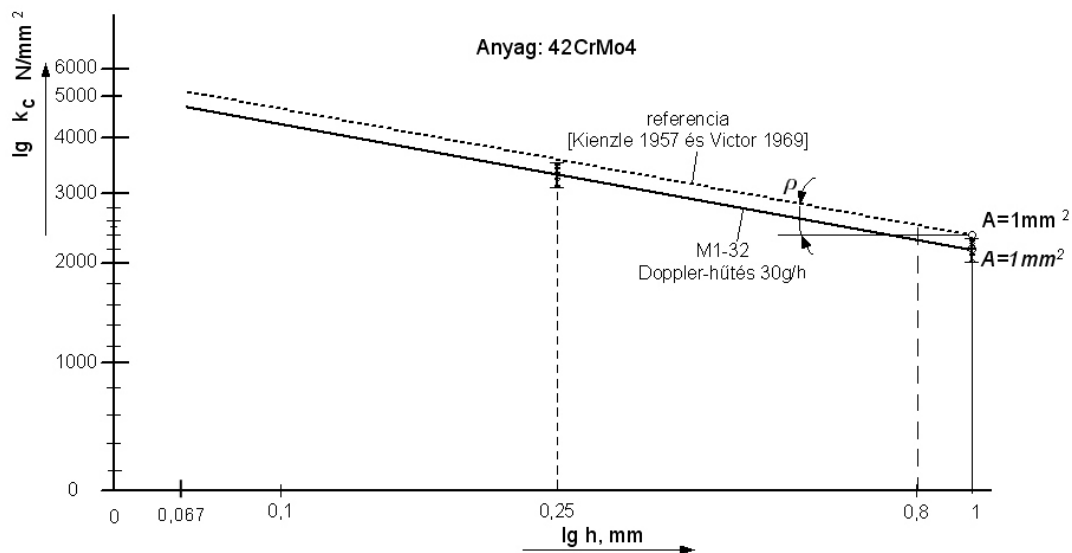


IV/2-3

Az átmérő állandóság:

1.  $94,68^{+0,02}_{-0,02}$     2.  $92,71^{+0,02}_{-0,01}$     3.  $90,78^{+0,01}_{-0,01}$     4.  $88,76^{+0,01}_{-0,01}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT2-es pontosságnak.



<b>IV/3. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.09.25. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 5 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M1-32</b>	
Megjegyzés: Indukált emisszió (30 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,78	96,77	96,73	2,19	10,06	2,52	10,66	1612,94	830,08	336,14
2.	94,78	94,78	94,75	2,16	9,4	2,46	10,10	1615,42	846,78	344,76
3.	92,79	92,78	92,77	2,05	9,24	2,31	9,78	1612,63	799,95	352,98
4.	90,79	90,78	90,76	1,93	8,58	2,21	9,27	1609,32	817,68	361,56
5.	88,89	88,87	88,83	1,89	8,37	2,15	9,27	1609,03	818,07	360,04
									Σ: 4113	

A számított adatok:

D <sub>á</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,76	490,30	136,79	2042,92	-	6,78
94,77	480,95	133,97	4046,48	-	6,78
92,78	470,04	131,16	6004,99	0	6,26
90,77	458,91	128,32	7917,14	-	6,25
88,86	449,17	125,62	9788,72	0,2	6,12
		Σ: 655,86			

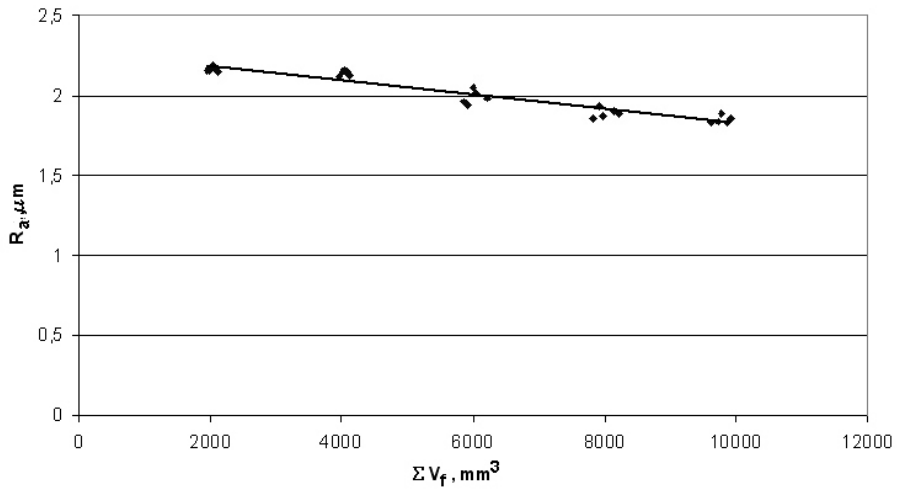
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{4113}{5} \cong 823 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{823}{1 \cdot 0,25} = 3292 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

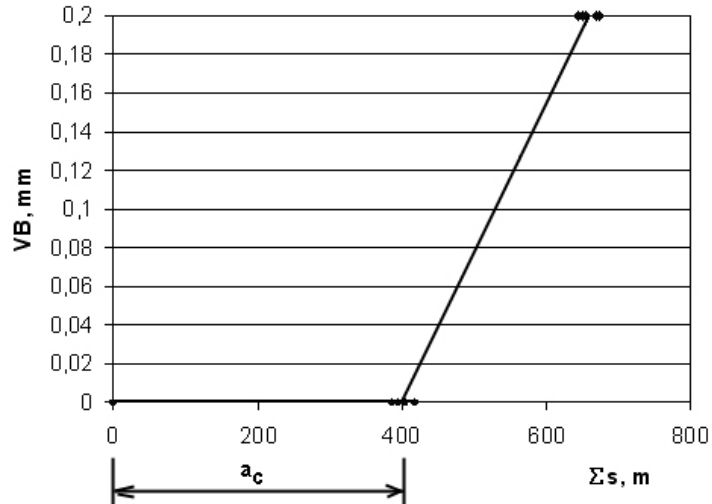
$$k_{c,1,1} = k_c \cdot h^m = 3292 \cdot 0,25^{0,26} = 2296 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

IV/3-2

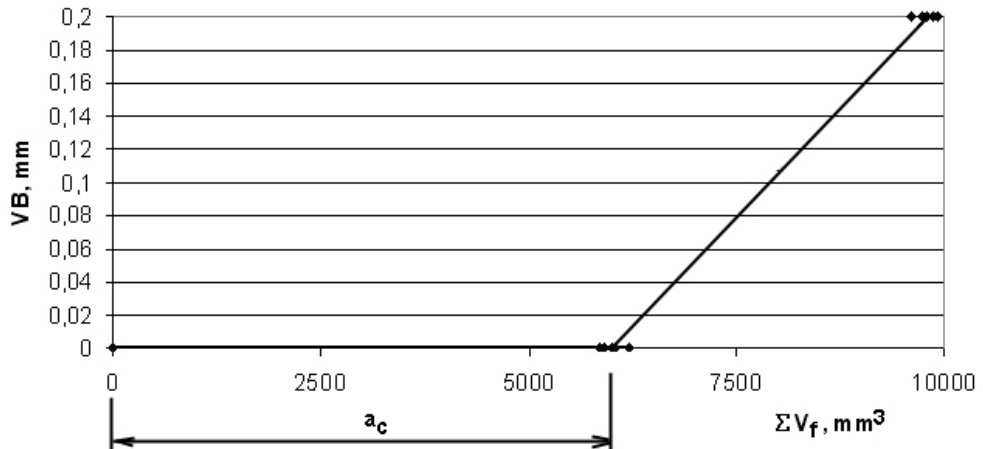
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„VB” változás az „s” függvényében



„VB” változása „Vf” függvényében



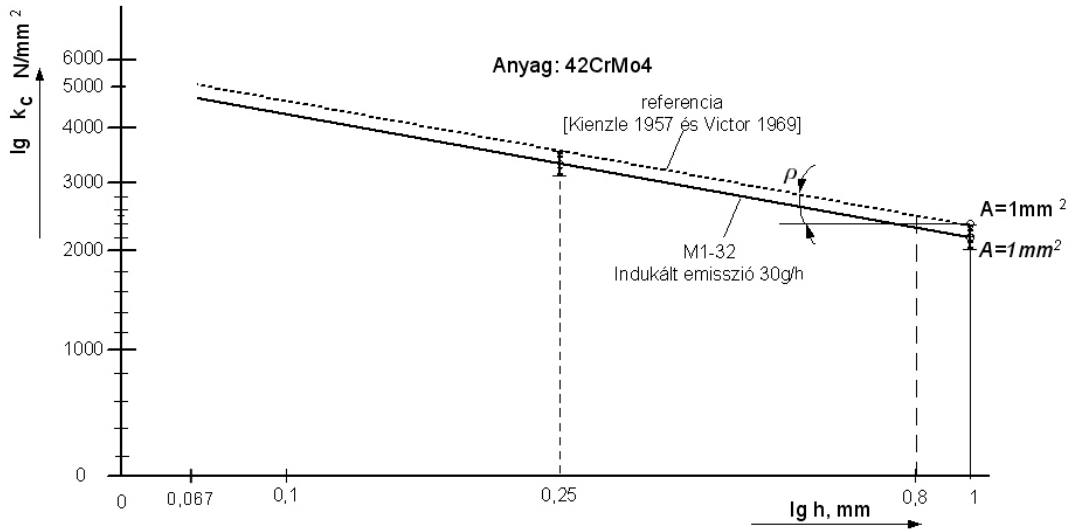
### IV/3-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,76^{+0,02}_{-0,03}$     2.  $94,77^{+0,01}_{-0,02}$     3.  $92,78^{+0,01}_{-0,01}$     4.  $90,77^{+0,02}_{-0,01}$

5.  $88,86^{+0,03}_{-0,03}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT3-as pontosságnak.



<b>IV/4. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.09.25. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 6 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M1-32</b>	
Megjegyzés: Indukált emisszió (50 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,14	96,11	96,05	2,53	10,05	2,79	11,55	1624,81	787,86	331,46
2.	94,17	94,14	94,10	2,36	8,76	2,59	9,04	1619,95	777,18	352,13
3.	92,21	92,18	92,13	2,12	9,46	2,36	10,93	1615,81	712,86	361,95
4.	90,24	90,20	90,16	1,6	7,12	1,84	7,59	1613,24	844,82	367,05
									Σ: 3123	

A számított adatok:

D <sub>á</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,10	490,54	135,85	2043,92	-	6,44
94,13	479,04	133,07	4039,95	-	6,20
92,17	467,87	130,30	5989,42	0,0083	5,55
90,20	457,14	127,51	7894,19	0,2	6,43
		Σ: 526,73			

$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{3123}{4} \cong 781 \text{ N},$$

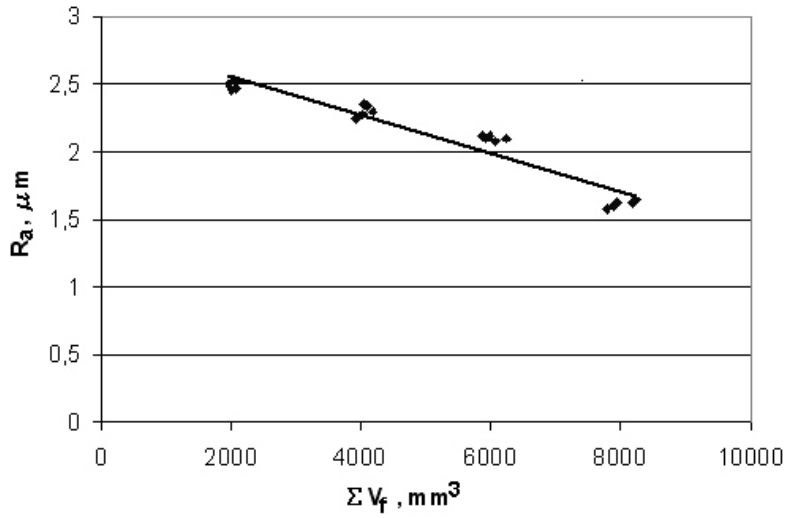
$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{781}{1 \cdot 0,25} = 3124 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 3124 \cdot 0,25^{0,26} = 2179 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

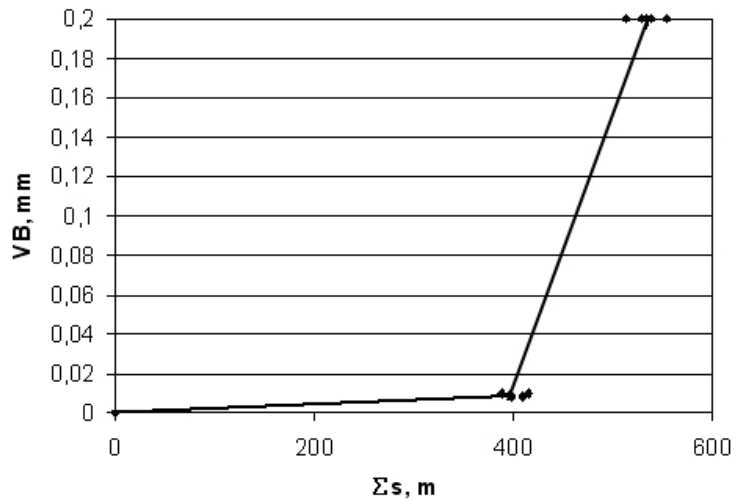


IV/4-2

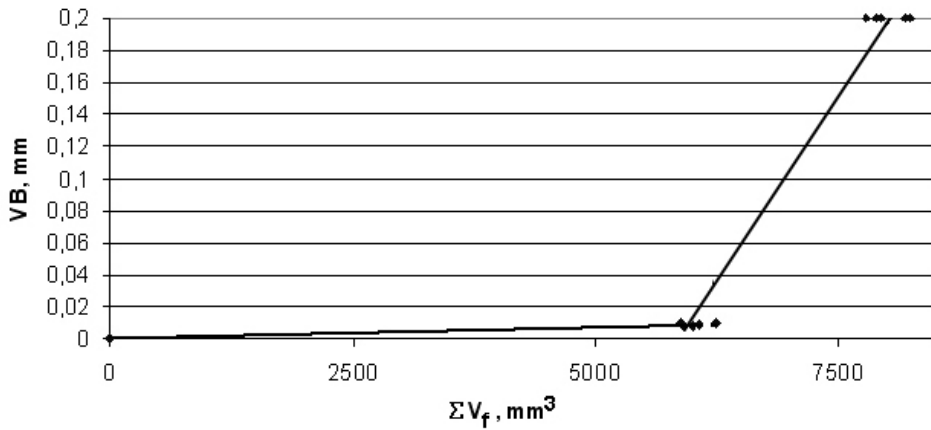
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

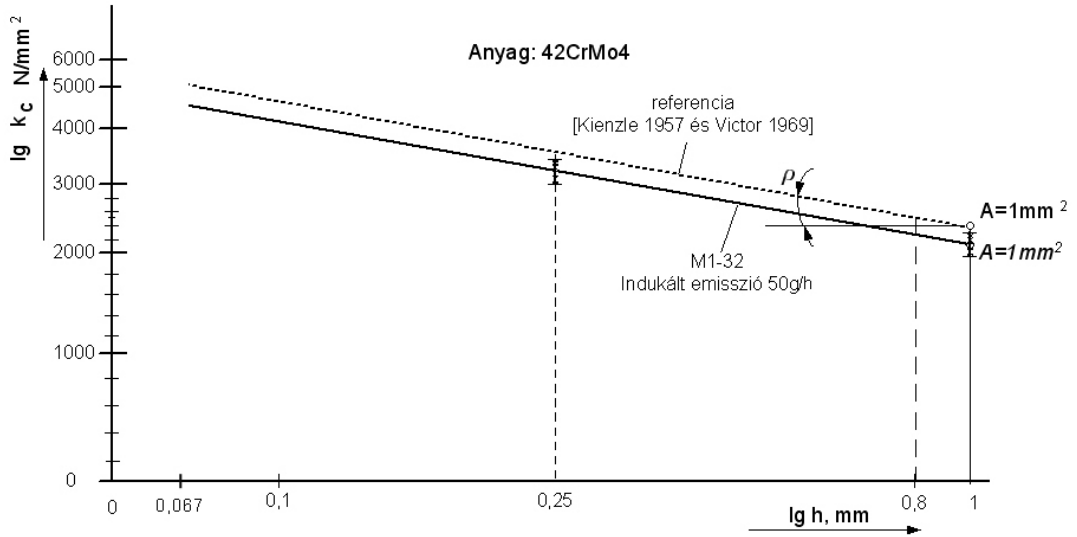


IV/4-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,10^{+0,04}_{-0,05}$     2.  $94,13^{+0,04}_{-0,03}$     3.  $92,17^{+0,04}_{-0,04}$     4.  $90,20^{+0,04}_{-0,04}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT4-es pontosságnak.



## M12. Az MMS-kenés (M2-2) mérési jegyzőkönyvei

<b>V/1. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.07.01. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 4 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M2-2</b>	
Megjegyzés: Doppler-hűtés (30 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	94,95	94,83	94,69	1,83	7,76	2,1	8,29	1632,14	611,07	466,34
2.	93,00	92,87	92,72	1,78	7,29	2,01	7,64	1628,74	609,17	473,83
3.	91,03	90,92	90,78	1,76	7,34	2	7,88	1626,20	632,47	492,47
4.	88,45	88,35	88,22	1,53	7,32	1,86	7,65	1619,21	604,6	502,34
5.	86,63	86,58	86,42	1,50	6,95	1,75	7,27	1625,03	628,66	504,85
6.	84,82	84,65	84,36	1,38	6,97	1,67	7,56	1619,39	726,31	517,04
									Σ: 3810	

A számított adatok:

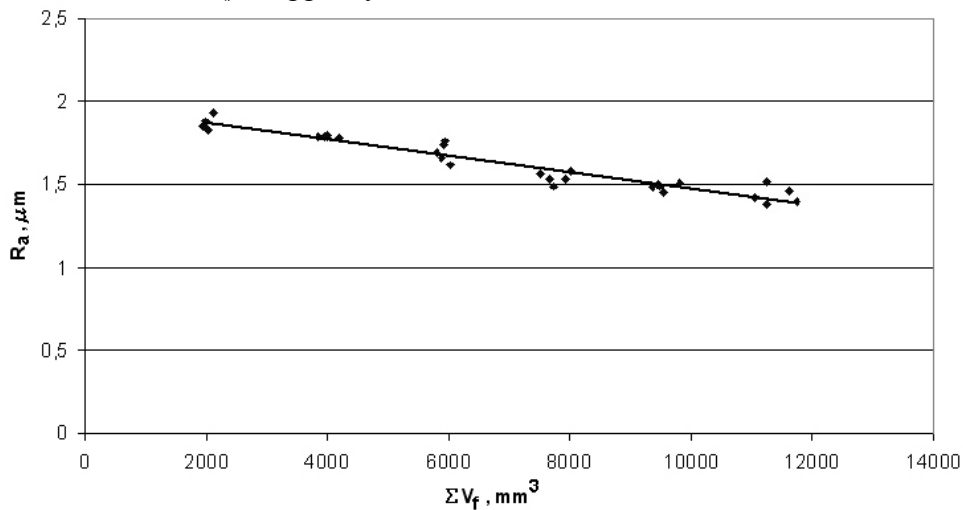
D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
94,82	486,19	134,04	2025,79	-	4,95
92,86	475,14	131,27	4005,54	-	4,82
90,91	464,44	128,52	5940,7	0,066	4,89
88,34	449,37	125,47	7654,24	-	4,52
86,54	441,80	123,92	9474,24	0,133	4,62
84,61	430,45	120,20	11246,57	0,2	5,21
		Σ: 763,42			

$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{3810}{6} \cong 635 \text{ N},$$

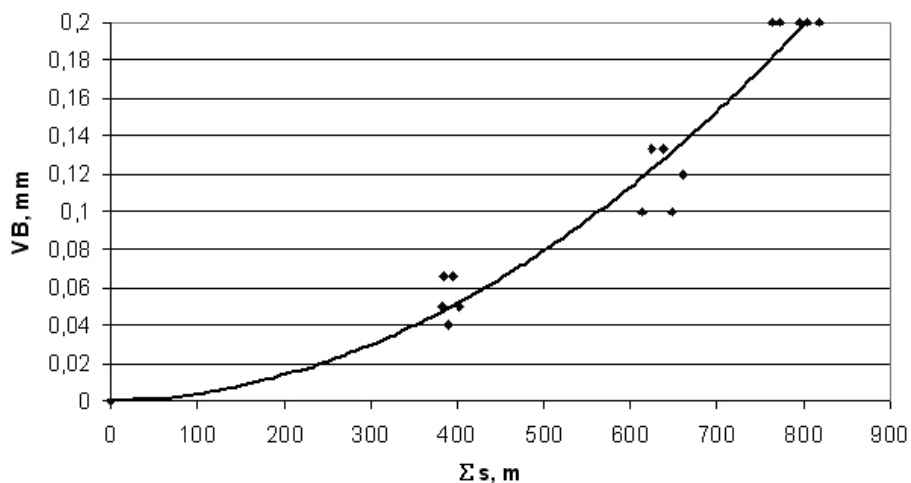
$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{635}{1 \cdot 0,25} = 2540 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 2540 \cdot 0,25^{0,26} = 1771 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

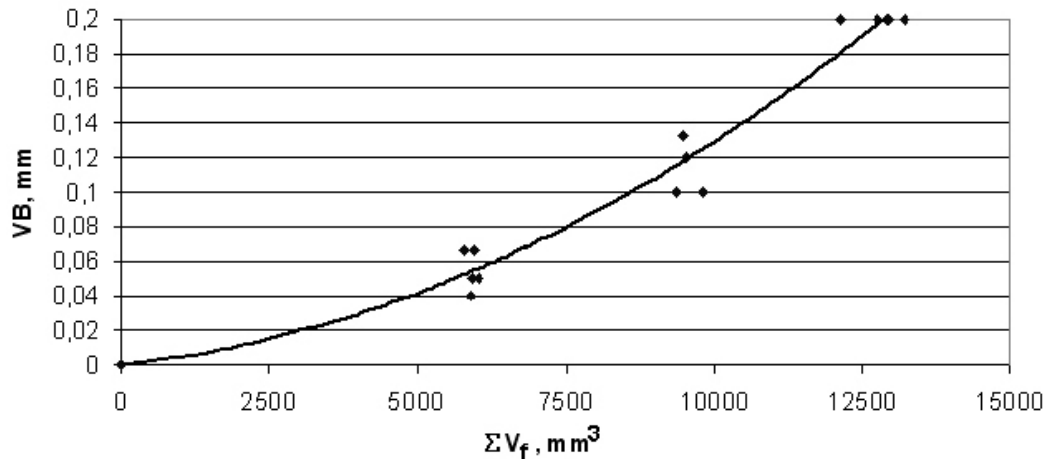
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

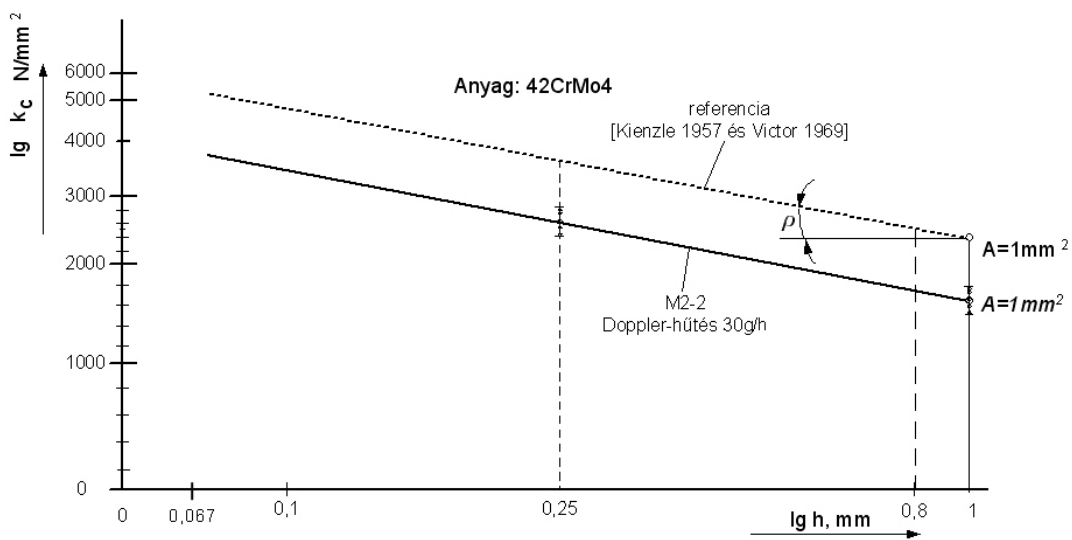


V/1-3

Az átmérő állandóság:

1.  $94,82^{+0,13}_{-0,13}$     2.  $92,86^{+0,14}_{-0,14}$     3.  $90,91^{+0,12}_{-0,13}$     4.  $88,34^{+0,11}_{-0,12}$   
 5.  $86,54^{+0,07}_{-0,12}$     6.  $84,61^{+0,21}_{-0,25}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT8-as pontosságnak.



<b>V/2. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.07.01. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 3 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M2-2</b>	
Megjegyzés: Doppler-hűtés (50 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,77	96,73	96,67	2,16	10,79	2,52	11,40	1626,65	792,93	332,08
2.	94,81	94,78	94,73	1,96	8,50	2,25	9,50	1628,26	779,32	338,93
3.	92,83	92,80	92,75	1,80	8,27	2,08	8,78	1623,63	755,55	345,29
4.	90,81	90,78	90,74	1,57	7,78	1,83	8,10	1620,19	836,23	351,31
5.	88,80	88,76	88,65	1,39	7,44	1,66	8,40	1617,86	717,46	353,89
6.	86,91	86,88	86,83	1,19	6,8	1,47	7,34	1623,31	858,98	361,62
									Σ:4740	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,72	494,26	136,73	2059,442	-	6,53
94,77	484,77	133,97	4079,36	-	6,29
92,79	473,30	131,17	6051,46	0,025	5,96
90,77	462,01	128,32	7976,54	-	6,43
88,73	450,98	125,43	9855,64	0,05	5,39
86,87	443,01	122,80	11701,54	0,2	6,34
		Σ:778,42			

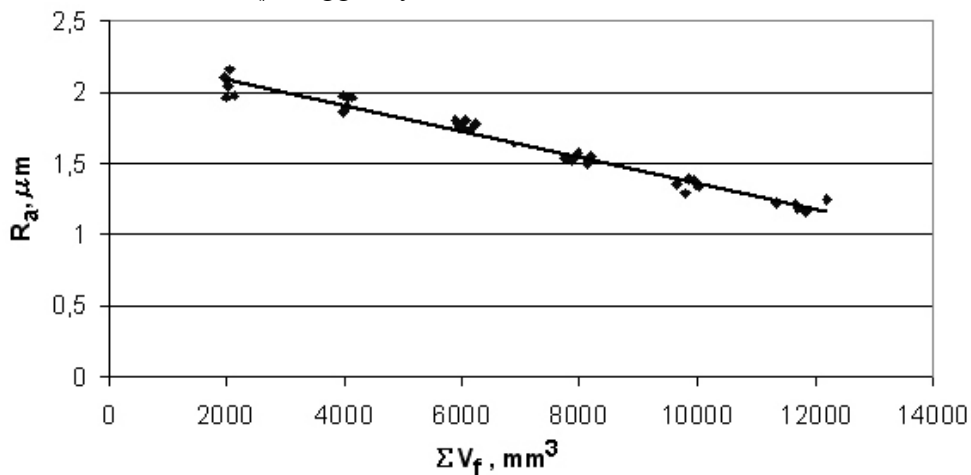
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{4740}{6} \cong 790 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{790}{1 \cdot 0,25} = 3160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

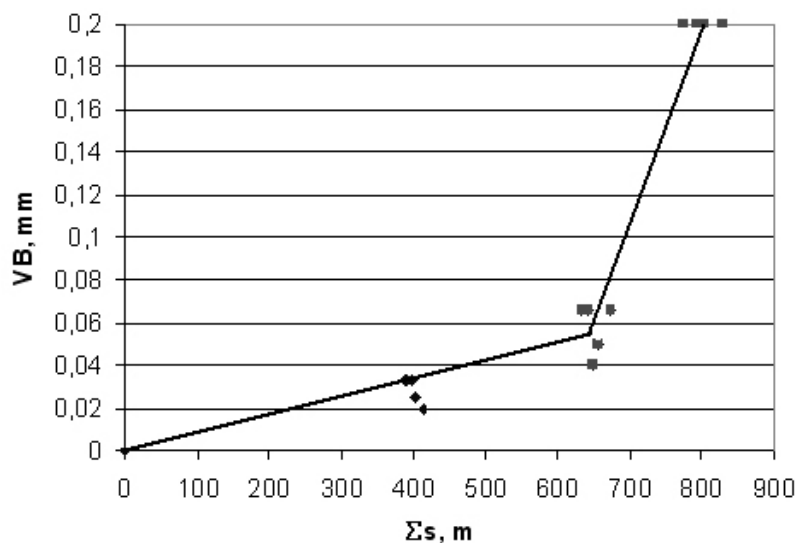
$$k_{c,1} = k_c \cdot h^m = 3160 \cdot 0,25^{0,26} = 2204 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

V/2-2

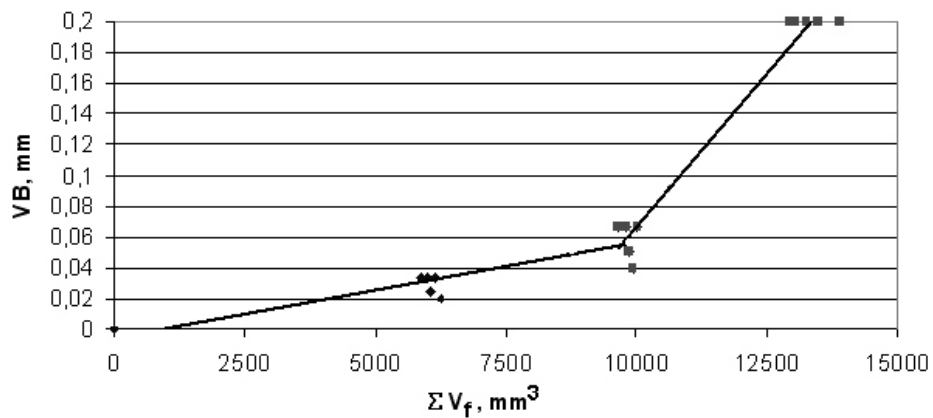
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

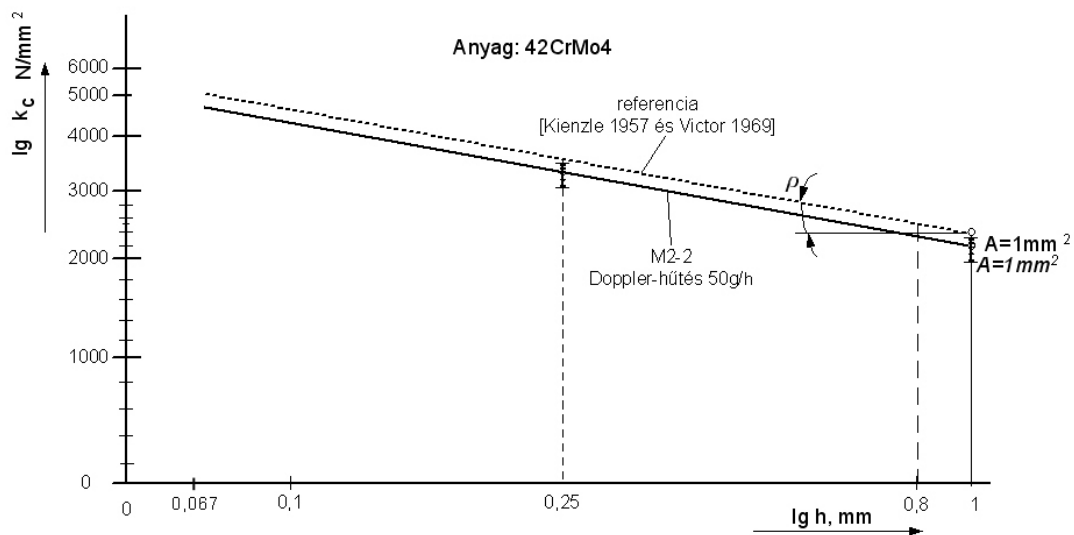


V/2-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,72^{+0,05}_{-0,05}$     2.  $94,77^{+0,04}_{-0,04}$     3.  $92,79^{+0,04}_{-0,04}$     4.  $90,77^{+0,04}_{-0,03}$   
 5.  $88,73^{+0,07}_{-0,08}$     6.  $86,87^{+0,04}_{-0,04}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT5-ös pontosságnak.





<b>V/3. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.09.25. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 6 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M2-2</b>	
Megjegyzés: Indukált emisszió (50 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,71	96,69	96,64	2,29	9,99	2,65	11,22	1626,43	722,26	325,67
2.	94,80	94,78	94,74	2,22	9,46	2,54	10,15	1625,37	779,71	326,35
3.	92,80	92,78	92,75	2,09	8,61	2,36	9,16	1617,23	869,06	335,75
4.	90,81	90,78	90,75	2,09	8,73	2,42	9,25	1628,80	789,42	335,11
5.	88,77	88,75	88,71	2,07	8,57	2,36	9,02	1625,27	738,26	332,18
6.	86,81	86,79	86,76	1,95	8,48	2,21	9,10	1628,83	810,76	331,32
7.	84,86	84,84	84,80	1,89	8,26	2,14	8,90	1629,41	779,56	335,11
8.	82,84	82,83	82,80	1,77	8,12	2,03	8,58	1624,56	858,71	341,55
9.	80,82	80,80	80,76	1,65	7,65	1,92	8,21	1623,11	819,73	343,05
10.	78,94	78,90	78,86	1,47	7,11	1,73	7,7	1634,20	846,95	334,30
11.	76,95	76,92	76,89	1,24	6,54	1,49	7,1	1627,87	909,26	339,16
12.	75,04	75,02	75,00	1,48	7,37	1,8	7,79	1623,53	856,75	343,45
									Σ:9780	

A számított adatok:

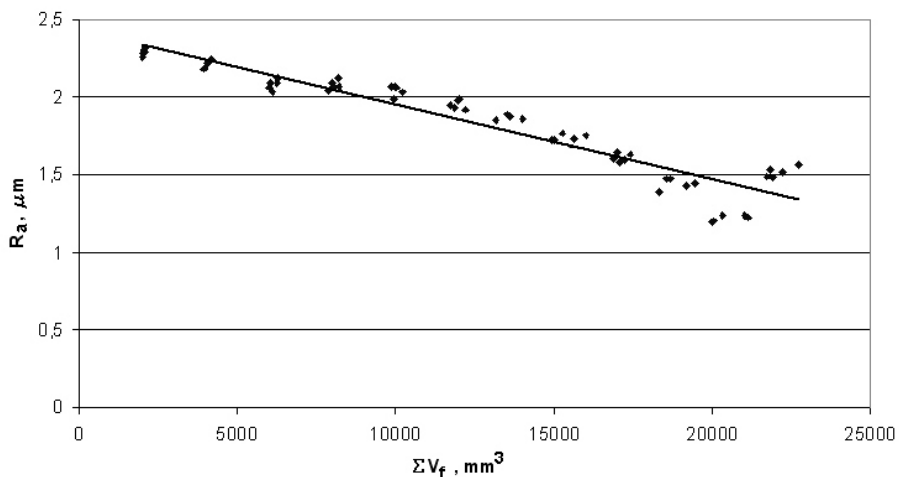
D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,68	493,99	136,67	2058,8	-	5,94
94,77	483,91	133,97	4074,6	-	6,28
92,77	471,33	131,15	6038,4	0	6,82
90,78	464,52	128,33	7973,9	-	6,11
88,74	453,10	125,45	9861,8	0	5,57
86,78	444,06	122,68	11712	-	6,00
84,83	434,23	119,92	13521,3	-	5,64
82,82	422,68	117,08	15282,5	-	6,04
80,79	411,96	114,21	16999	0	5,62
78,90	405,07	111,54	18686,7	-	5,71
76,92	393,37	108,74	20325,86	-	5,96
75,02	382,63	106,05	21920,18	0,2	5,46
		Σ:1455,79			

$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{9780}{12} \cong 815 \text{ N},$$

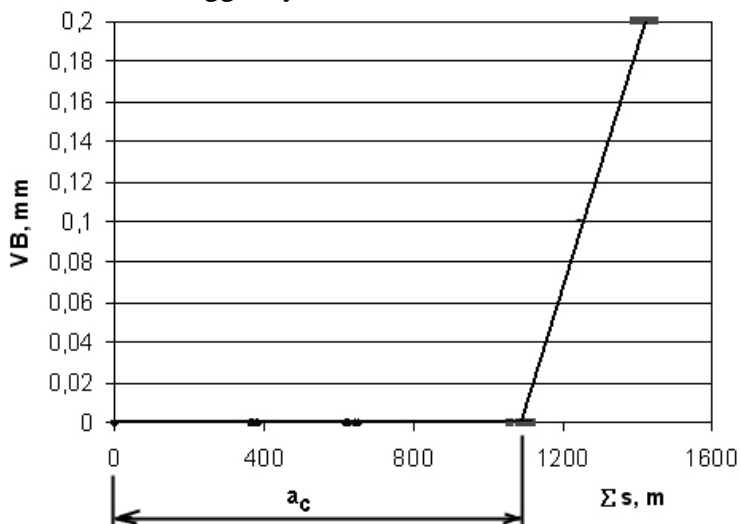
$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{815}{1 \cdot 0,25} = 3260 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

$$k_{c,1} = k_c \cdot h^m = 3260 \cdot 0,25^{0,26} = 2273 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

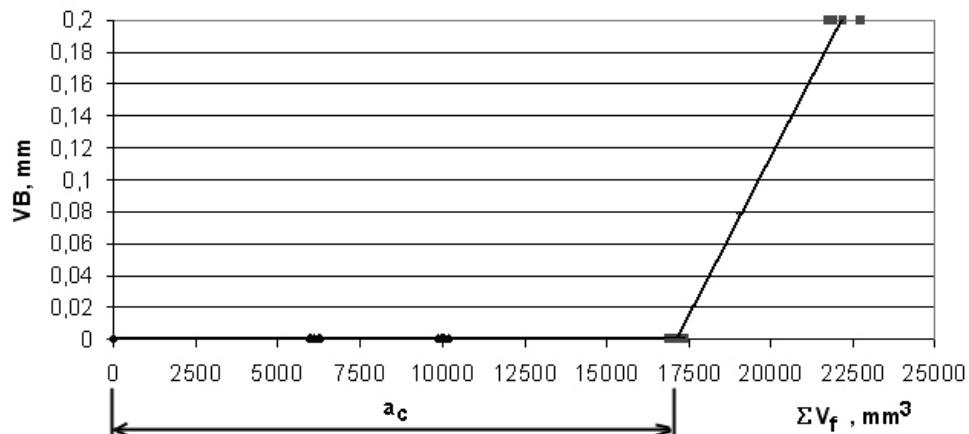
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

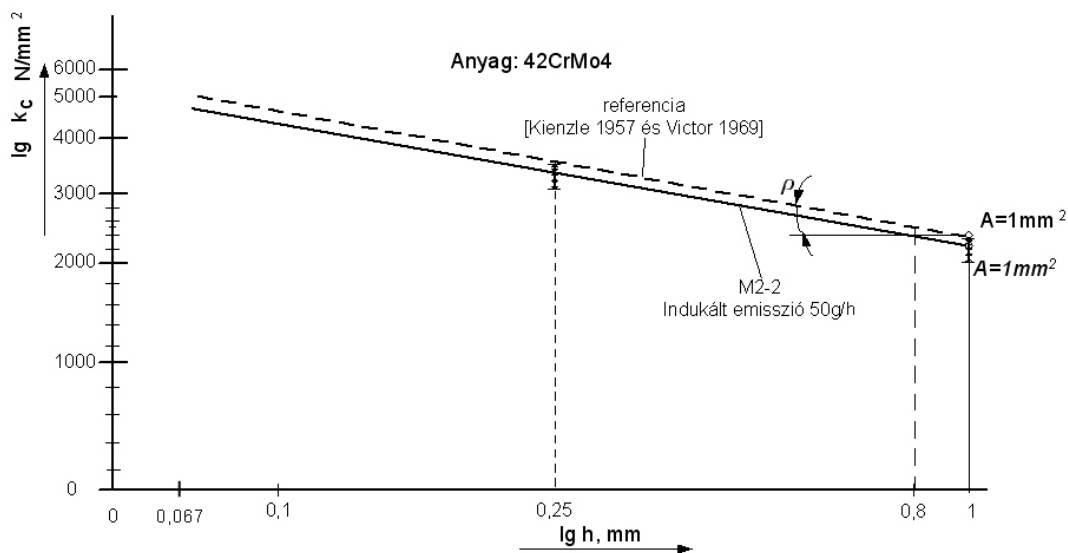


Az átmérő állandóság:

<b>1.</b> 96,68 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,04</sub>	<b>2.</b> 94,77 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,03</sub>	<b>3.</b> 92,77 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,02</sub>	<b>4.</b> 90,78 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,03</sub>
<b>5.</b> 88,74 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,03</sub>	<b>6.</b> 86,78 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,02</sub>	<b>7.</b> 84,83 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,03</sub>	<b>8.</b> 82,82 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,02</sub>
<b>9.</b> 80,79 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,03</sub>	<b>10.</b> 78,90 <sup>+0,04</sup> <sub>-0,04</sub>	<b>11.</b> 76,92 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,03</sub>	<b>12.</b> 75,02 <sup>+0,02</sup> <sub>-0,02</sub>

Az átmérők pontossága (1 – 9.-ig) megfelel az IT4-es pontosságnak.

Az átmérők pontossága (10 – 12.-ig) megfelel az IT4-es pontosságnak.



<b>V/4. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.11.06. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 7 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: <ul style="list-style-type: none"> <li>– előtolás: <math>f(h) = 0,25</math> mm</li> <li>– fogásmélység: <math>a(b) = 1</math> mm</li> <li>– a mért fordulatszám: <math>n = 1730</math> min<sup>-1</sup></li> </ul>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M2-2</b>	
Megjegyzés: Indukált emisszió (30 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,42	96,35	96,26	2,11	9	2,42	9,47	1642,79	531,44	392,78
2.	94,42	94,34	94,25	1,93	8,34	2,2	8,78	1633,10	628,73	418,84
3.	92,42	92,35	92,26	1,89	8,22	2,2	8,58	1625,28	620,86	438,95
4.	90,45	90,38	90,31	1,82	7,73	2,06	8,01	1624,70	611,48	445,03
5.	88,40	88,34	88,26	1,72	7,96	2,02	8,49	1619,52	633,52	460,39
6.	86,46	86,40	86,33	1,68	8,48	2,02	8,73	1623,08	618,73	456,47
7.	84,49	84,44	84,36	1,37	7,53	1,71	8,18	1617,40	748,84	477,65
									Σ:4388	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,35	497,26	136,21	2071,91	-	4,4
94,33	483,96	133,35	4088,42	-	5,07
92,26	471,48	130,54	6052,94	0	4,87
90,38	461,31	127,77	7975,07	-	4,7
88,33	449,41	124,87	9847,61	0	4,74
86,39	440,50	122,13	11683,05	-	4,54
84,43	429	119,36	13470,57	0,2	5,35
		Σ:894,23			

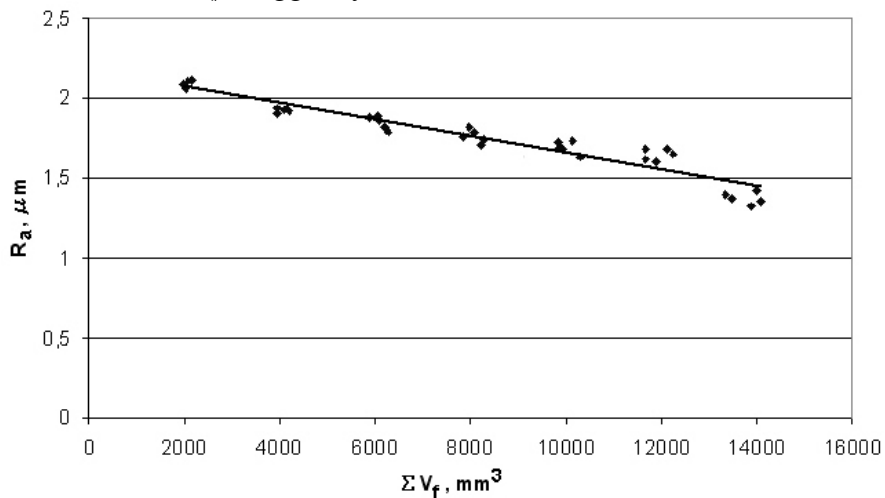
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{4388}{7} \cong 627 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{627}{1 \cdot 0,25} = 2508 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

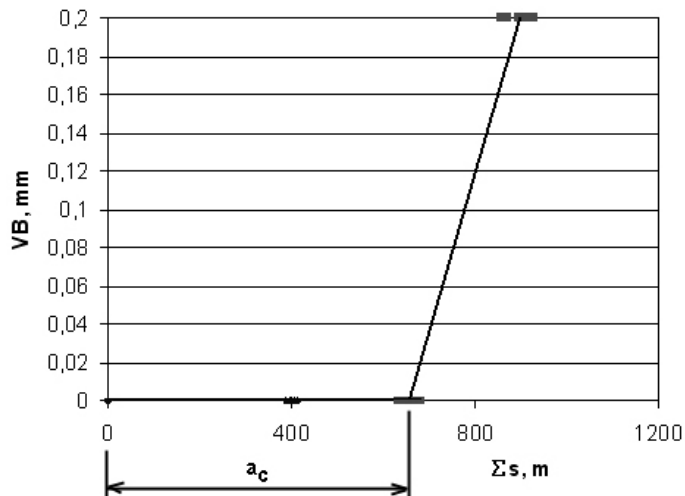
$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 2508 \cdot 0,25^{0,26} = 1749 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

V/4-2

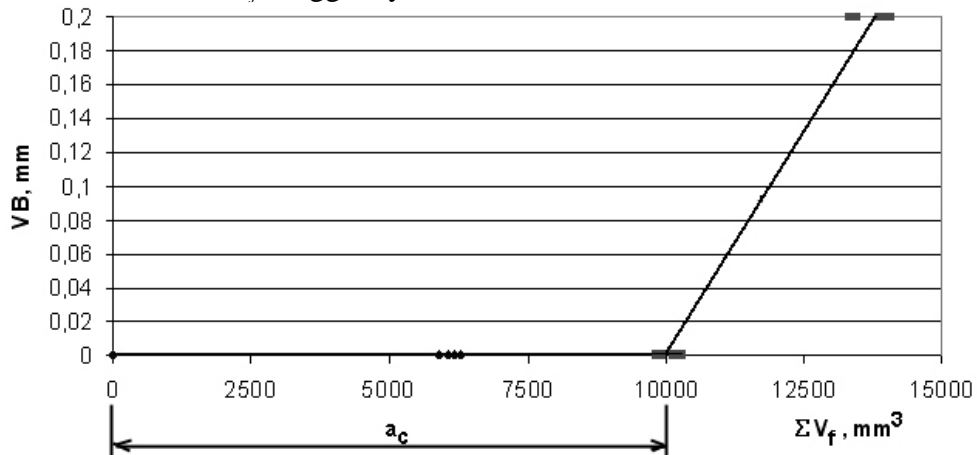
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében



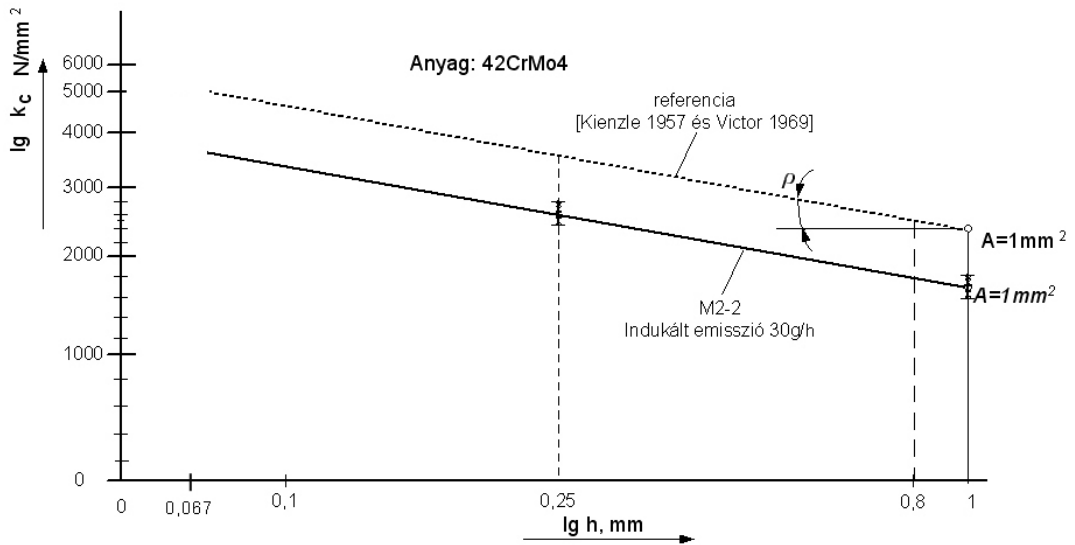
V/4-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,35^{+0,07}_{-0,11}$     2.  $94,33^{+0,09}_{-0,08}$     3.  $92,34^{+0,08}_{-0,08}$     4.  $90,38^{+0,07}_{-0,07}$

5.  $88,33^{+0,07}_{-0,07}$     6.  $86,39^{+0,07}_{-0,06}$     7.  $84,43^{+0,06}_{-0,07}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT6-os pontosságnak.



### M13. Az MMS-kenés (M3-2) mérési jegyzőkönyvei

<b>VI/1. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.11.06. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 8 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M3-2</b>	
Megjegyzés: Spontán emisszió (50 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	97,22	97,14	97,05	2,01	9,44	2,33	10,55	1634,22	530,07	406,83
2.	95,28	95,21	95,12	1,98	8,67	2,3	9,33	1625,76	715,48	427,88
3.	93,3	93,23	93,14	1,86	8,51	2,15	8,99	1621,22	721,89	446,22
4.	91,3	91,23	91,14	1,8	8,02	2,05	8,69	1618,03	601,66	456,29
5.	89,27	89,20	89,12	1,68	7,88	1,95	8,75	1615	627,74	465,24
6.	87,36	87,29	87,22	1,53	7,87	1,83	8,45	1624,92	605,92	459,04
7.	85,22	85,31	-	3,21	15,02	3,82	18	1611,86	655,82	476,03
									Σ:4458	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
97,13	498,67	137,32	2077,79	-	4,4
95,20	486,23	134,59	4103,75	-	5,79
93,22	474,79	131,78	6082,05	0	5,7
91,22	463,68	128,96	8014,08	-	4,64
89,19	452,52	126,09	9899,58	0	4,73
87,29	445,6	123,40	11756,25	-	4,49
85,26	431,74	101,78	13555,16	0,2	4,71
		Σ:883,92			

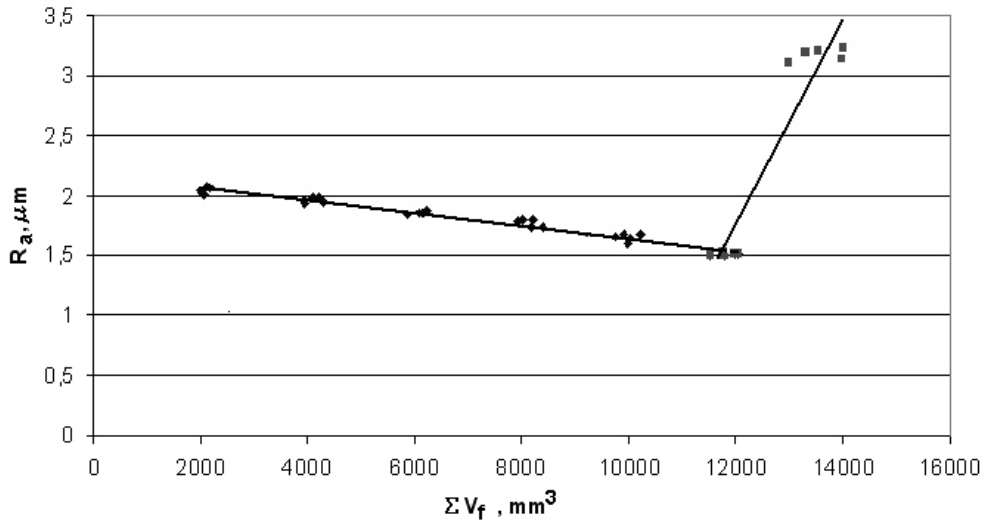
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{4458}{7} \cong 637 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{637}{1 \cdot 0,25} = 2548 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

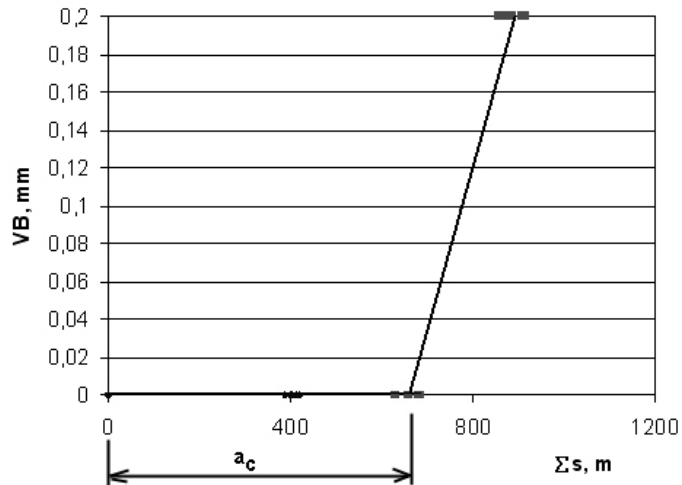
$$k_{c,1} = k_c \cdot h^m = 2548 \cdot 0,25^{0,26} = 1777 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

VI/1-2

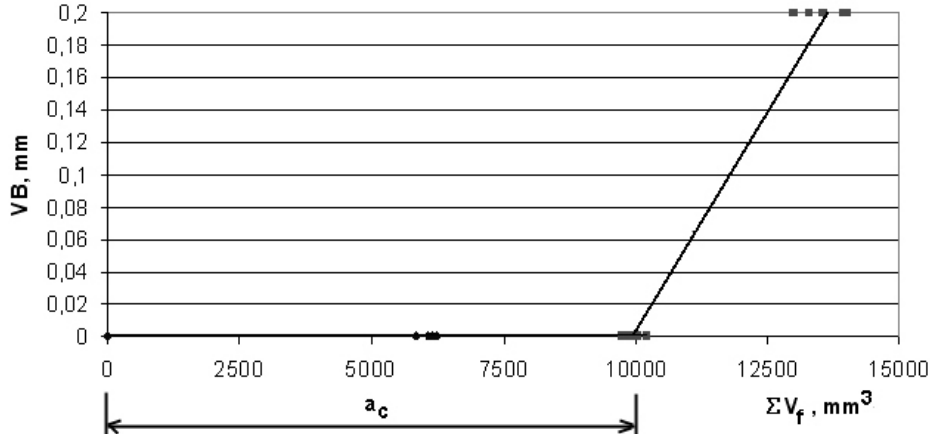
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében



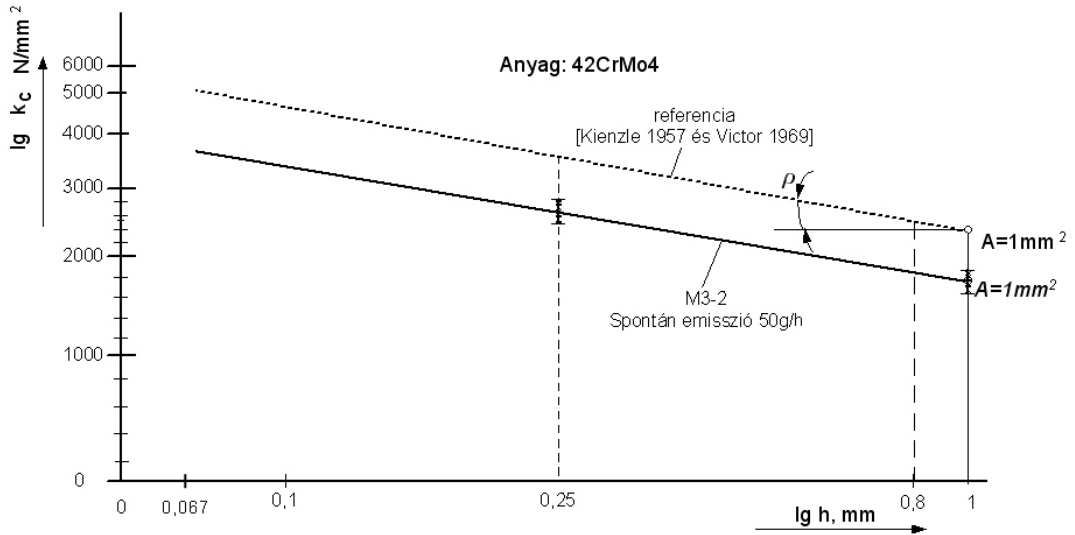


VI/1-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,35^{+0,07}_{-0,11}$     2.  $94,33^{+0,09}_{-0,08}$     3.  $92,34^{+0,08}_{-0,08}$     4.  $90,38^{+0,07}_{-0,07}$   
 5.  $88,33^{+0,07}_{-0,07}$     6.  $86,39^{+0,07}_{-0,06}$     7.  $84,43^{+0,06}_{-0,07}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT6-os pontosságnak.



<b>VI/2. MMS</b>	Mérés ideje: 2008.11.06. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 7 azonosító: 08 alsó	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,25$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M3-2</b>	
Megjegyzés: Doppler-hűtés (30 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	96,15	96,08	96	2,2	9,24	2,55	10,02	1623,41	603,02	415,33
2.	94,15	94,08	94	2,2	9,50	2,52	10,19	1623,66	572,19	435,43
3.	92,12	92,05	91,97	2,06	9	2,35	9,50	1619,41	595,21	447,95
4.	90,08	90,02	89,94	1,94	8,87	2,22	9,50	1617,95	601,02	460,02
5.	88,12	88,05	87,98	1,83	8,82	2,12	9,40	1620,20	596,56	461,14
6.	86,15	86,10	85,94	1,57	7,75	1,84	8,24	1628,73	607,13	465,52
7.	84,04	84,09	-	3,04	14,74	3,64	17,78	1607,20	653,51	526,54
									Σ:4229	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
96,07	489,96	135,82	2041,52	-	4,92
94,07	479,83	132,99	4040,85	-	4,57
92,04	468,25	130,12	5991,91	0	4,64
90,01	457,51	127,25	7898,22	-	4,58
88,05	448,17	124,47	9765,61	0	4,45
86,06	440,35	121,66	11600,41	-	4,45
84,06	424,43	100,35	13368,88	0,2	4,62
		Σ:872,66			

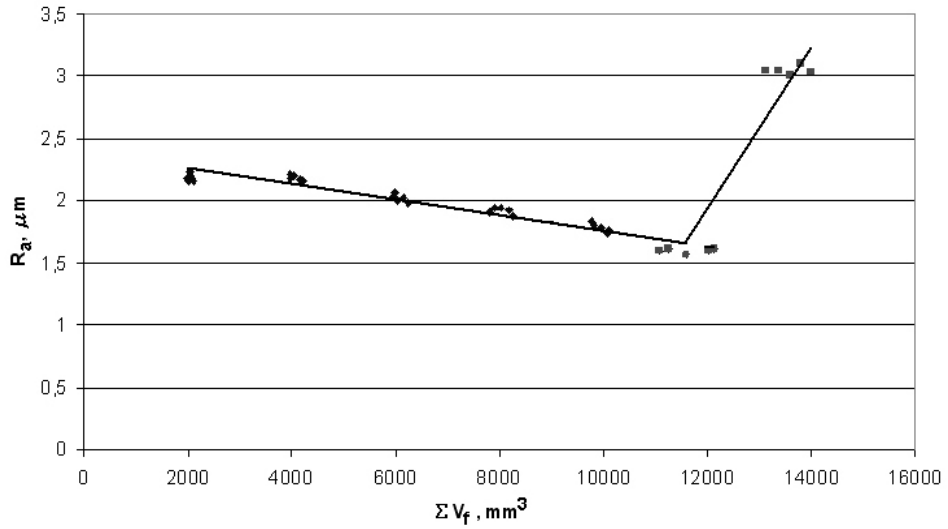
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{4229}{7} \cong 604 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{604}{1 \cdot 0,25} = 2416 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

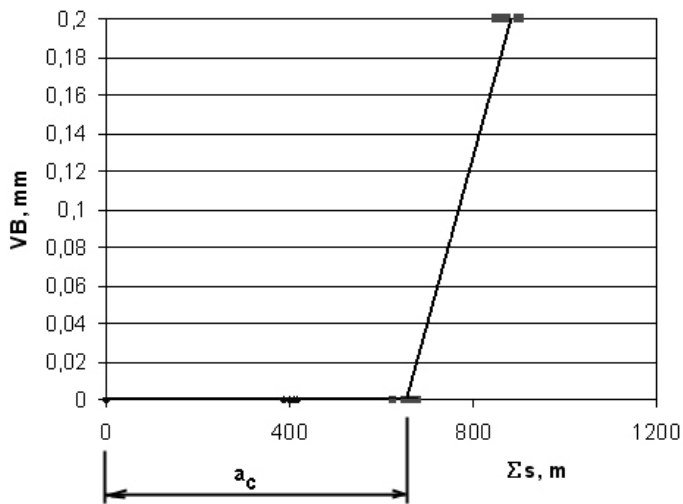
$$k_{c1,1} = k_c \cdot h^m = 2416 \cdot 0,25^{0,26} = 1685 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

VI/2-2

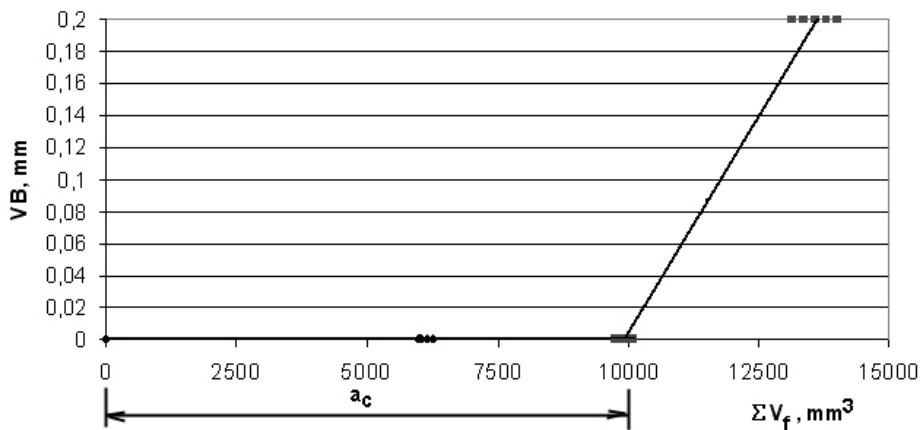
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében



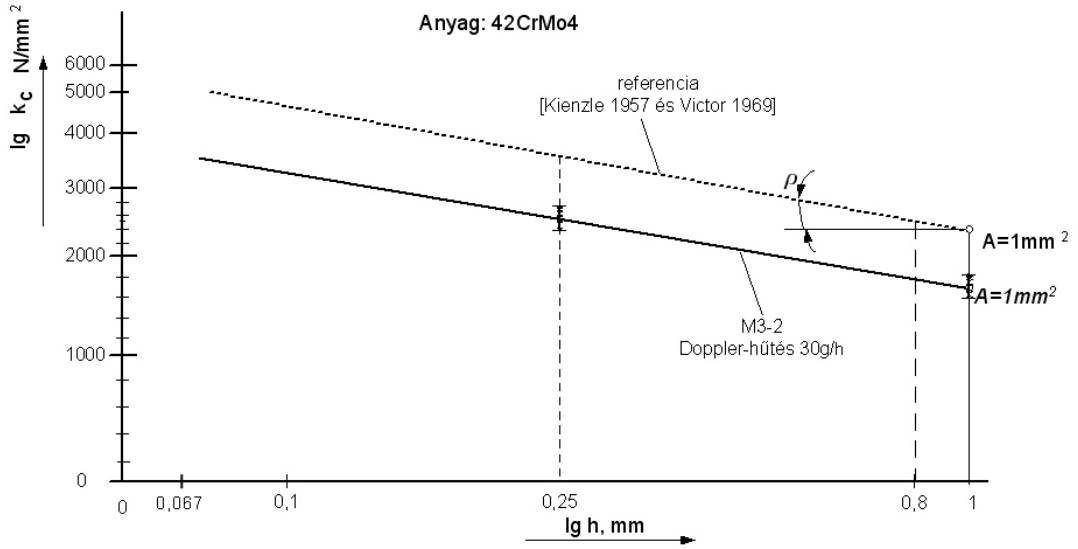
VI/2-3

Az átmérő állandóság:

1.  $96,07^{+0,08}_{-0,07}$     2.  $94,07^{+0,08}_{-0,07}$     3.  $92,04^{+0,08}_{-0,07}$     4.  $90,01^{+0,07}_{-0,07}$

5.  $88,05^{+0,07}_{-0,07}$     6.  $86,06^{+0,09}_{-0,12}$     7.  $84,06^{+0,05}_{-0,02}$

Az átmérők pontossága megfelel az IT6-os pontosságnak.



## M14. Az MMS-kenés (M8-32) mérési jegyzőkönyve

<b>XI/1 MMS</b>	Mérés ideje: 2009.01.28. Mérést végezte: Kári-Horváth Attila
Lapka anyaga: TiN, jele: 9 azonosító: PF felső	Technológiai adatok: – előtolás: $f(h) = 0,066$ mm – fogásmélység: $a(b) = 1$ mm – a mért fordulatszám: $n = 1730$ min <sup>-1</sup>
Kísérleti kenőanyag kódja: <b>M8-32</b>	
Megjegyzés: Spontán emisszió (50 g/h)	

A mért adatok:

A mérés száma	D <sub>1</sub> [mm]	D <sub>2</sub> [mm]	D <sub>3</sub> [mm]	R <sub>a</sub> [μm]	R <sub>z</sub> [μm]	R <sub>q</sub> [μm]	R <sub>y</sub> [μm]	n [min <sup>-1</sup> ]	F <sub>c</sub> [N]	T [°C]
1.	94,54	94,6	94,65	0,69	4,38	0,59	5,22	1677,24	657,53	473,35
2.	92,57	92,63	92,68	1,1	5,33	1,29	5,62	1674,42	888,34	491,7
3.	91,61	91,64	91,67	1,44	6,82	1,65	7,78	1670,03	953,93	507,85
									Σ:2500	

A számított adatok:

D <sub>a</sub> [mm]	v <sub>c</sub> [m/min]	s [m]	ΣV <sub>f</sub> [mm <sup>3</sup> ]	VB [mm]	P <sub>c</sub> [kW]
94,59	498,41	133,72	2076,70	-	5,46
92,62	487,21	130,94	4106,74	-	7,21
91,64	480,79	129,55	6110,03	0,2	7,64
		Σ:872,66			

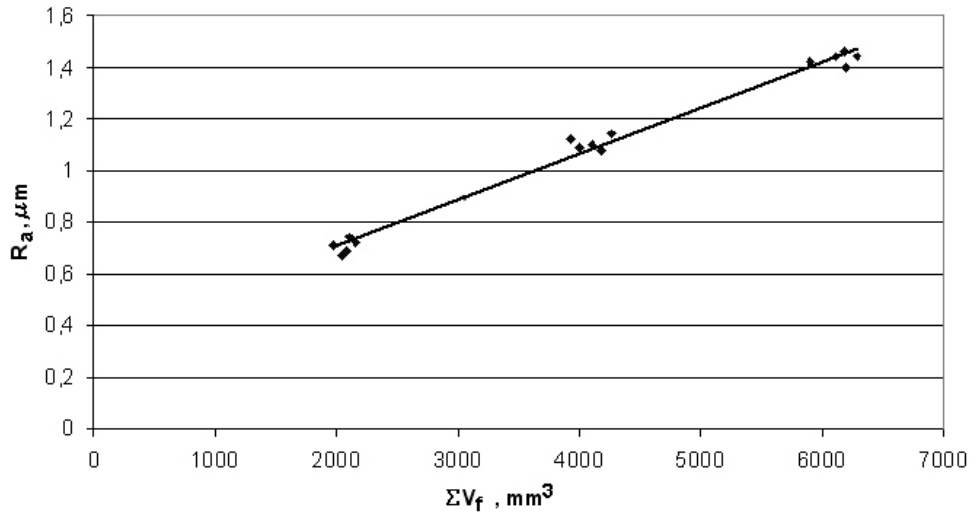
$$F_{c, \text{átlag}} = \frac{2500}{3} \cong 833 \text{ N},$$

$$k_c = \frac{F_c}{a \cdot f} = \frac{833}{1 \cdot 0,066} = 12621 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},$$

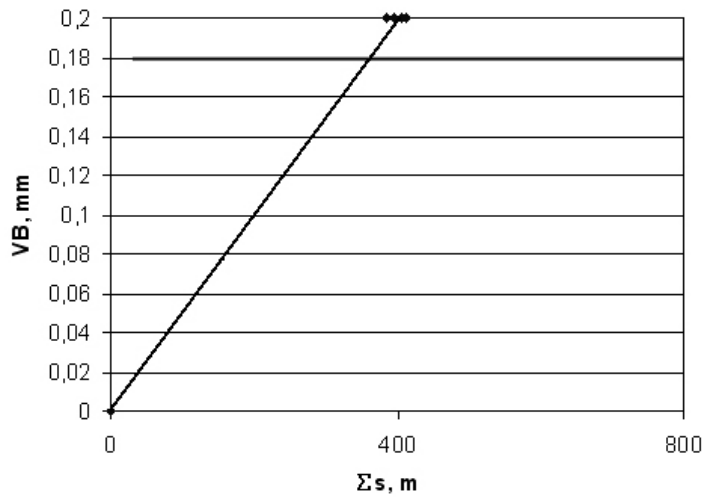
$$k_{cl,1} = k_c \cdot h^m = 12621 \cdot 0,066^{0,26} \cong 6226 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

XI/1-2

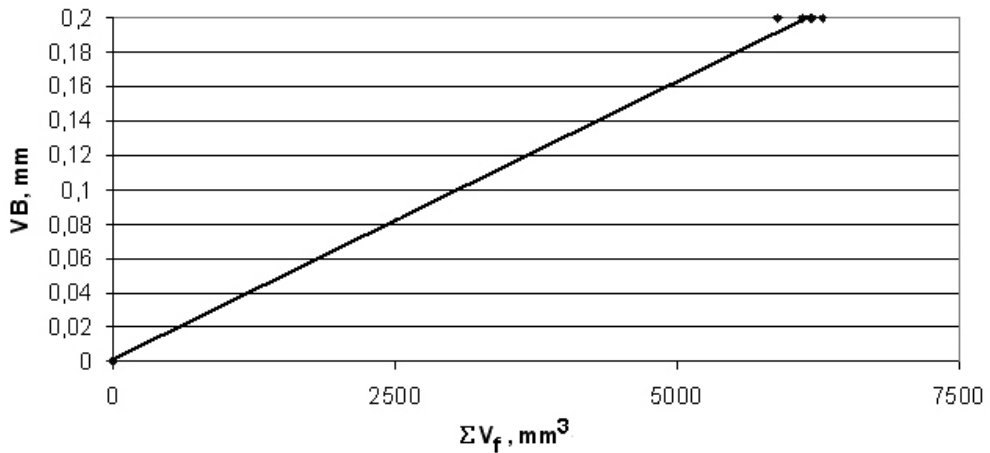
„ $R_a$ ” változása a „ $V_f$ ” függvényében



„ $VB$ ” változás az „ $s$ ” függvényében



„ $VB$ ” változása „ $V_f$ ” függvényében

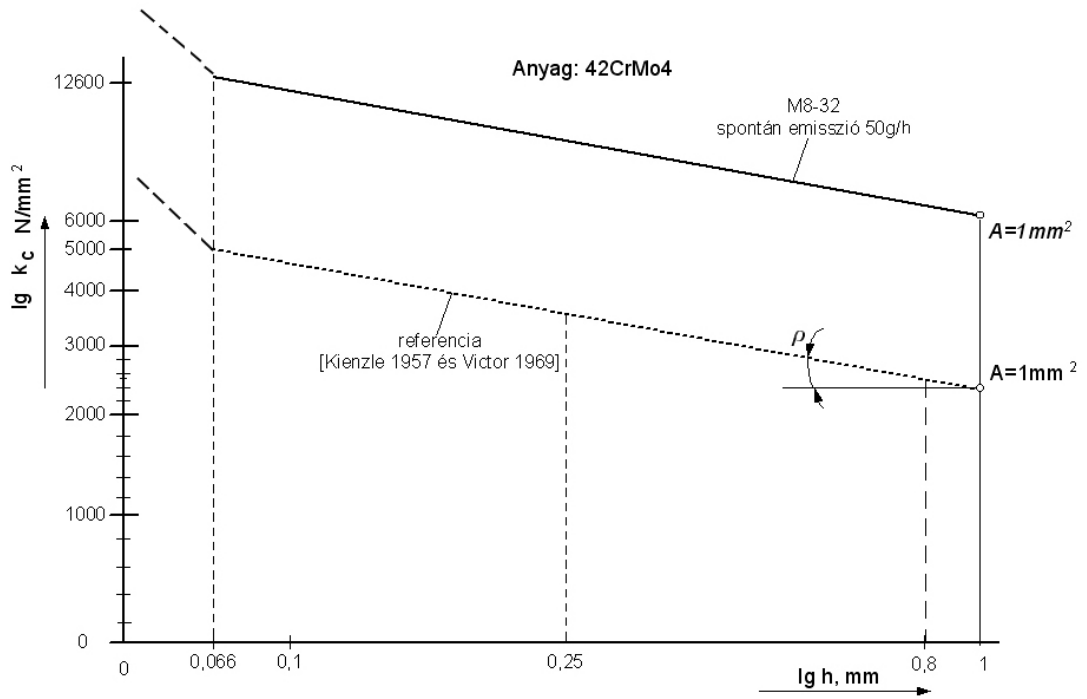


# XI/1-3

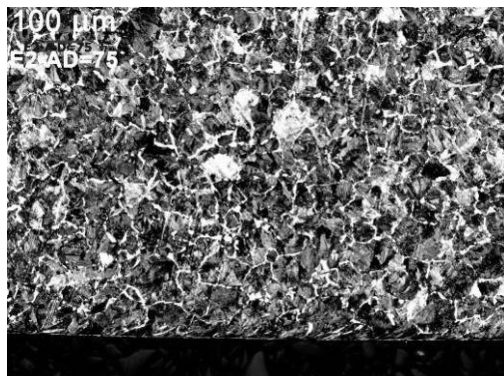
Az átmérő állandóság:

1.  $94,59^{+0,06}_{-0,05}$     2.  $92,62^{+0,06}_{-0,05}$     3.  $91,64^{+0,03}_{-0,03}$

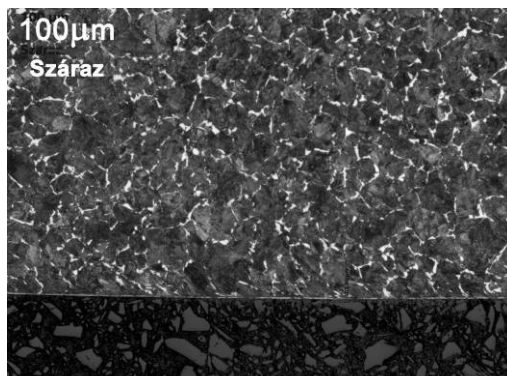
Az átmérők pontossága megfelel az IT5-ös pontosságnak.



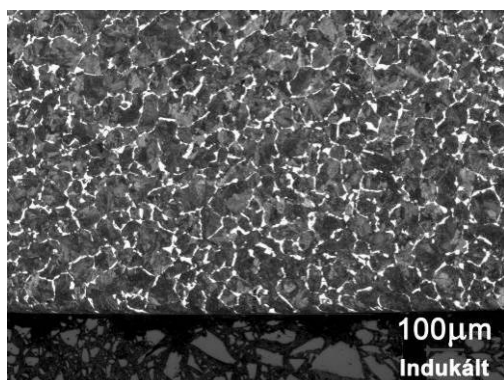
## M15. Csiszolatok (100 μm)



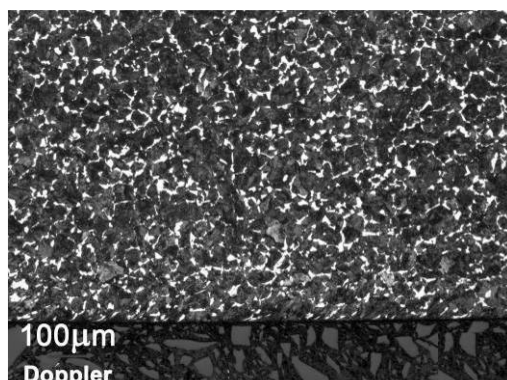
5 tf%-os emulzió



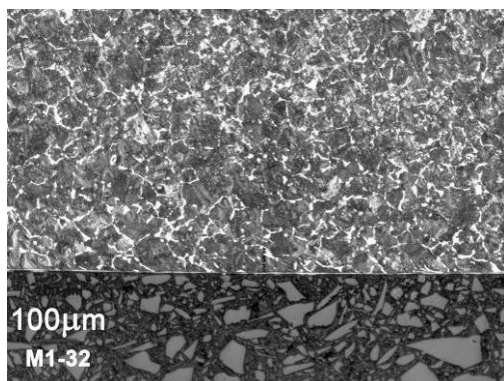
Száraz-kenés



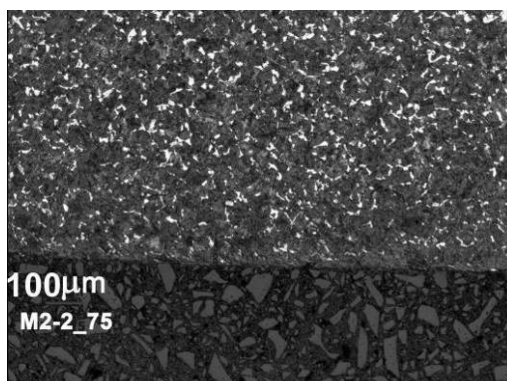
Száraz-kenés (Indukált emisszió)



Száraz-kenés (Doppler-hűtés)



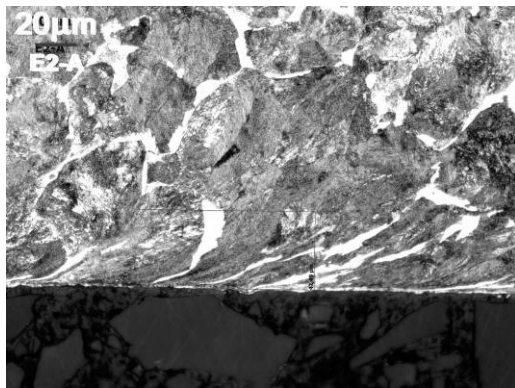
MMS-kenés (50 g/h)



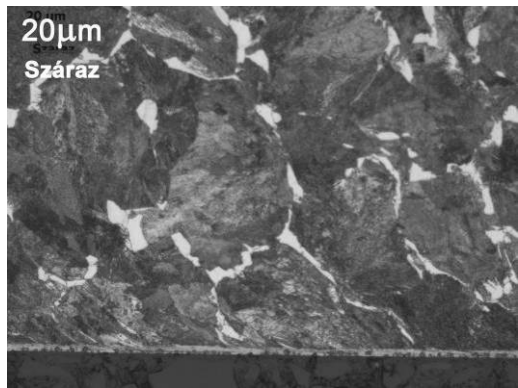
MMS  
(M2-2-Indukált emisszió, 50 g/h)



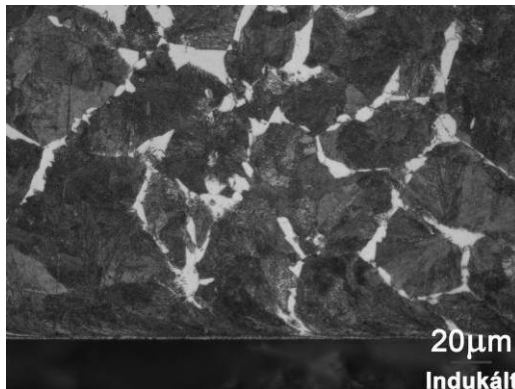
## M16. Csiszolatok (20 $\mu\text{m}$ )



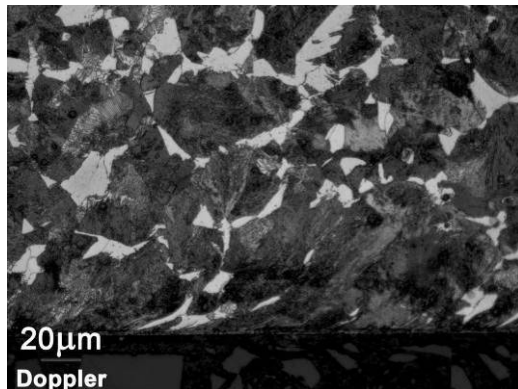
5 tf%-os emulzió



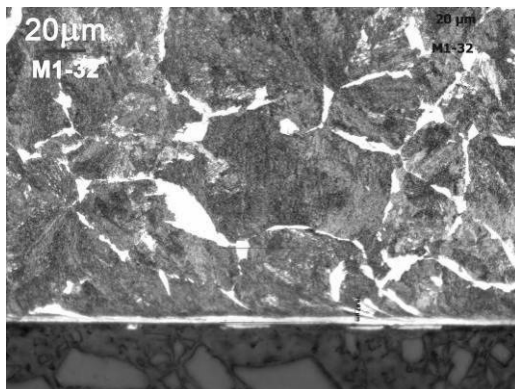
Száráz-kenés



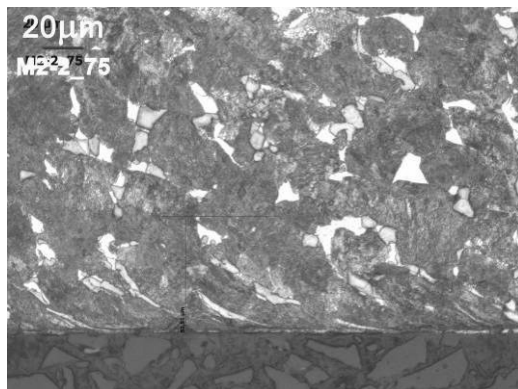
Száráz-kenés (Indukált emisszió)



Száráz-kenés (Doppler-hűtés)



MMS-kenés (50 g/h)



MMS  
(M2-2-Indukált emisszió, 50 g/h)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenek előtt köszönetet mondok témavezetőimnek, Dr. Valasek István címzetes egyetemi tanárnak és Dr. habil Zsoldos Ibolya egyetemi docens asszonynak a sokéves szakmai támogatásukért, fáradtságukért, a munkámhoz szükséges feltételek megteremtéséért és nem utolsó sorban lelki támaszáért, amit dolgozatom elkészítése során nyújtottak.

Köszönettel tartozom a Gépipari Technológiai Intézetnek, hogy az Intézet Tanműhelyében lévő szerszámgépeket és mérőeszközöket használhattam. Köszönöm Hegedűs Józsefnek, hogy a kísérleteimhez hathatós segítséget és tanácsokat nyújtott.

Köszönettel tartozom Dr. Pálincás Istvánnak a sok hasznos beszélgetésért és tanácsért, amivel a dolgozat elkészítésében nyújtott.

Köszönettel tartozom még Dr. Petróczki Károly egyetemi docensnek és Korzenszky Péter egyetemi adjunktusnak a kísérleteim villamos mérés technikai hátterének biztosításáért.

Köszönöm a MOL-LUB Kft. almásfüzitői gyárában lévő laboratórium dolgozóinak, a törzsoldatok elkészítésében és azok vizsgálatainál nyújtott hasznos segítségéért.

Köszönöm a CASTROL-ARAL cégnek, hogy a kereskedelemben kapható emulzolokat és kenőolajat a rendelkezésemre bocsájtotta.

Köszönöm Bódi Vincének a Tryblex Kft. tulajdonosának a szerszámok és a mérőeszközök beszerzéséhez nyújtott segítségét.

Köszönöm Kutasi Istvánnak a Prangl Hungária Kft. ügyvezető igazgatójának az anyagi támogatásért.

Ezúton szeretném megköszönni a Széchenyi István Egyetemről Dr. Csizmazia Ferencné és Dr. Kardos Károly segítségét a csiszolatok és azok felvételleinek elkészítésében nyújtott segítségéért.

Ugyancsak köszönettel tartozom a tanszéki és a tanszéken kívüli kollégáimnak, volt tanáraimnak a sok javaslatért és észrevételért, valamint az építő jellegű kritikákért.

Köszönettel tartozom opponenseimnek a sok javaslatért és észrevételért, valamint az építő jellegű kritikákért.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm családomnak, hogy végtelen türelemmel segítettek ennek a munkának az elkészültét, és mindazoknak a támogatását, akik a dolgozat megszületéséhez kisebb-nagyobb mértékben hozzájárultak