



Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet

Gépgyártástechnológiai Szakcsoport



Különleges technológiák

2.1. Finomfelületi megmunkálások

2.2. Plazmasugaras megmunkálások

2.3. Elektronsugaras megmunkálás

BAGKT17NLB

Összeállította: ***Biró Szabolcs***

2.1. Finomfelületi megmunkálások

A gépgyártásban a legnagyobb méretpontosságot, alakhűséget és a legjobb felületi minőséget a finomfelületi megmunkálásokkal érjük el. A nagy pontosságú megmunkálások, mint a hántolás, csiszolás, tükörsimítás, stb. lehetővé teszik, hogy az alkatrészeket meghatározott tűréssel, finom felülettel alakítsuk ki, ami biztosítja azok utánmunkálás nélküli cserélhetőségét is.

Az ipari termelés, a nagy sorozatban készülő termékek alkatrészeinek csereszabatosága igényli a kis tűrésű alak-, helyzet- és méretpontosságot, valamint az alkatrészek helyes működése érdekében meghatározott felületi érdességet. A csapágygyártásban, az autógyártásban és az idomszergyártásban már régóta használják ezeket az eljárásokat. Általános tendencia a gépészetben, hogy a tűrések szűkülnek, a pontosság fokozódik, a felületminőség javul, melynek okai a funkciókból adódnak a kisebb zajszint, nagyobb élettartam vagy meghatározott élettartamra való tervezés, jó fényvisszaverődési képesség, stb.



Finomfelületi megmunkálások

Szabályos élgeometriájú szerszámokkal

- Finomesztergálás
- Ultraprecíziós esztergálás
- Finomfúrás
- Finommarás

Szabálytalan élgeometriájú szerszámokkal

- Finomköszörülés
- Dörzsköszörülés
- Tükörsimítás
- Tükrösítés

Megmunkálási eljárás/változat	Megkövetelt pontosság Alakhiba/Érdesség (R_a)	Osztálybasorolás
Esztergálás, marás	50 μm / 1,6 μm	Finommegmunkálás
Finomesztergálás. köszörülés	25 μm / 0,24 μm	Precíziós megmunkálás
Leppelés, finomköszörülés	10 μm / □ 0,13 μm	Nagy pontosságú megmunkálás
Mikroforgácsolás, mikroköszörülés	1 μm / □ 0,1 μm	Ultraprecíziós megmunkálás
Polírozás, elektroké- miai polírozás	0,1 μm / □□ 0,01 μm	Nanotechnológia

Finomesztergálás

A finomesztergálást korábban elsősorban alumínium és ötvözetei (pl.:gépjárműmotorok dugattyúi), réz és ötvözetei, bronzok, csapágyfémek és kompozit anyagok megmunkálására használták. A szerszámanyagok fejlesztése ma már lehetőséget ad acélok, edzett acélok, öntöttvasak finomesztergálására is.



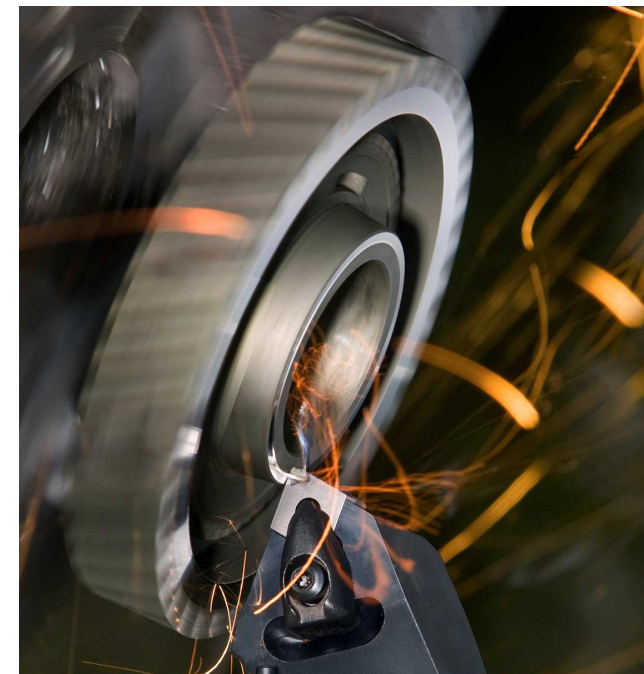
Napjainkban alternatívát jelenthet a palástköszörüléssel szemben, hiszen esztergáláskor folytonos forgácsleválasztás történik, amely könnyen kezelhető.

Ezzel szemben a köszörüléssel nagy mennyiségű kisméretű forgács keletkezik, mely fajlagos forgácstérfogatra számítva több energiát és időt igényel, mint az esztergálás. Az ipari gyakorlatban fogaskerek bekészítő megmunkálását például finomesztergálással végzik.

A munkadarab geometriai pontosságára és felületi érdességére a környezeten és a szerszámgépen kívül a megmunkálási módnak, a technológiai körülményeknek van igen jelentős hatásuk. A táblázat a hagyományos és a precíziós esztergálás jellemzőit foglalja össze.

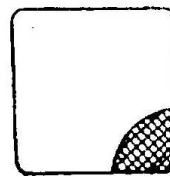
Jellemző	Szokványos esztergálás	Precíziós esztergálás
Alakpontosság	$\sim 0,01 \text{ mm}$	$\sim 0,001 \text{ mm}$
Felületi érdesség	$R_a > 1,25 \text{ } \mu\text{m}$	$R_a < 1,25 \text{ } \mu\text{m}$
Méretpontosság	$> \text{IT6}$	$< \text{IT6}$
Forgácsolóerő	$F_c = 1000 \dots 10000 \text{ N}$	$F_c = 1 \dots 1000 \text{ N}$
Forgácskeresztmetszet	$A = 1 \dots 10 \text{ mm}^2$	$A = 0,001 \dots 0,01 \text{ mm}^2$
Forgácsolósebesség	$v_c = 100 \dots 300 \text{ m/min}$	$v_c = 600 \dots 1000 \text{ m/min}$
A szerszám éllekerekedése	$r_n = 20 \dots 30 \text{ } \mu\text{m}$	$r_n = 2 \dots 20 \text{ } \mu\text{m}$

- A finomesztergálás technológiai paraméterei az igen kis előtolás (0,008-0,15 mm/ford), a nagy forgácsolósebesség (600 -1000 m/min), kis fogásmélység (0,05-0,3 mm),
- A finomesztergálás gépére jellemző a nagy merevség, nyugodt járás a környezet rezgéseitől elszigetelve, a főorsó csapágy siklócsapágy vagy precíziós gördülőcsapágy, merev késtartó finombeállítással a fogásvételhez.
- A gép légkondicionált, állandó hőmérsékletű helyiségben üzemel.
- Az elérhető pontosság IT4 - 5, a felületi érdesség: $R_a=0,1-1,25 \text{ } \mu\text{m}$, $R_z=0,5-10 \text{ } \mu\text{m}$

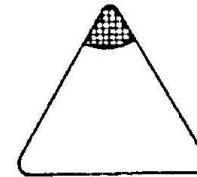


Nem acélok finomesztergálása

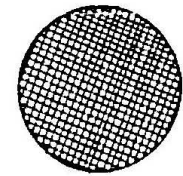
A nem acél alapú munkadarabok finomesztergálása során a szerszám anyaga természetes vagy mesterséges gyémánt, amelyet forrasztással, szinterezéssel vagy mechanikusan rögzítenek a késszárbá. Napjainkban a polikristályos gyémánt PKD (Poli Kristallin Diamant) váltólapkák alkalmasak a leginkább alumínium és réz precíziós esztergálására. A szerszámokat háromszög, négyszög, valamint kör alakban forgalmazzák és illeszkednek az ISO által előírt formarendszerhez.



SPGN

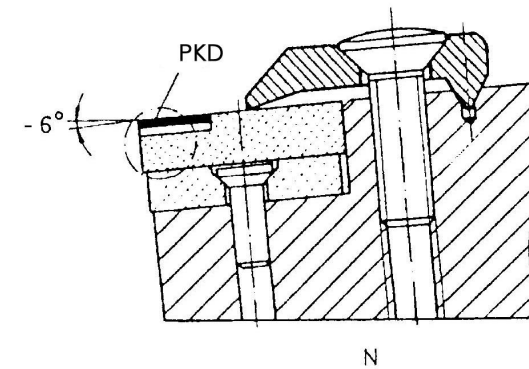
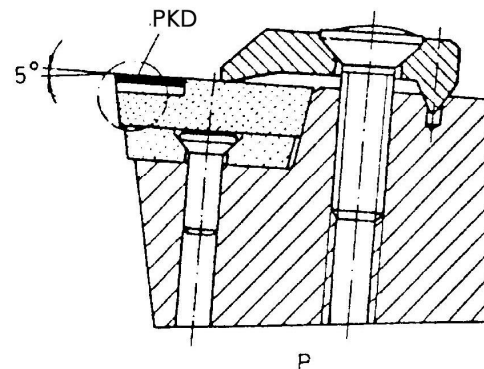


TPGN



RNMN

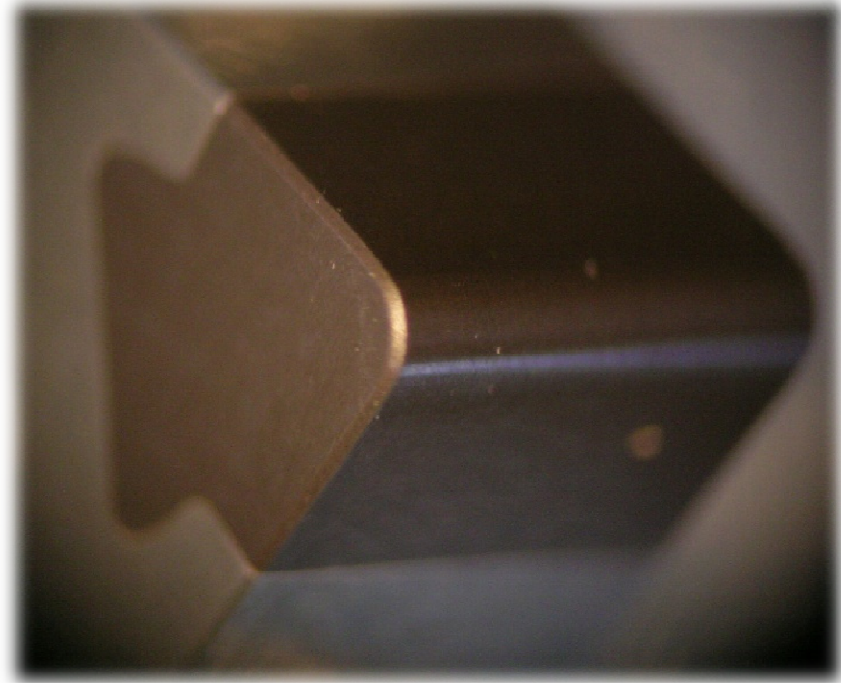
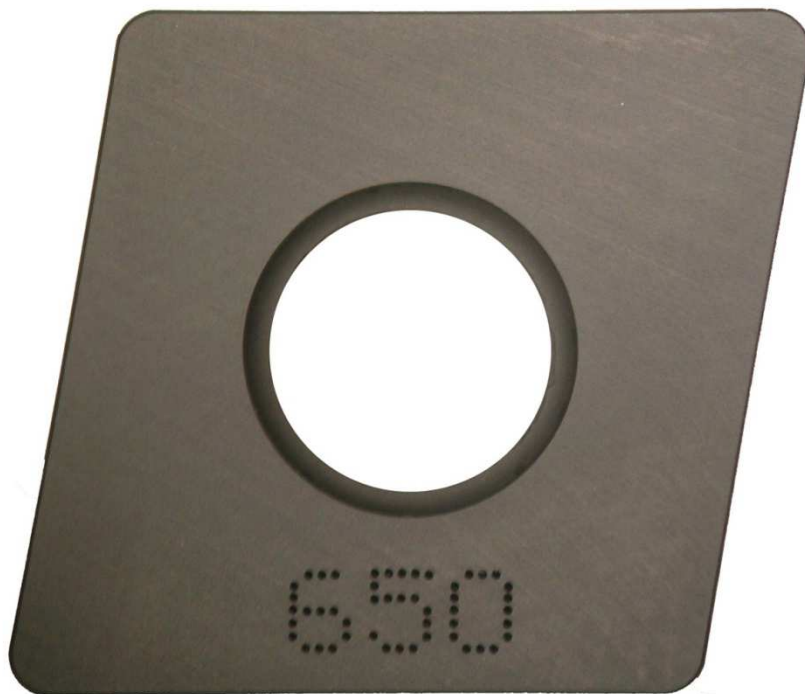
Akármilyen nagyságú PKD lapka nem készíthető el, így a váltólapkáknak csupán az élközeli része mesterséges gyémánt, a többi keményfém.



A lapkák normál, a keményfém lapkák befogására alkalmas késtartókba is rögzíthetők.

Edzett acélok keménysztergálása

A nagy pontosságú keménysztergálás fejlődése a kilencvenes évek elején indult meg annak következtében, hogy új szerszámanyagok jelentek meg a piacon, ezen kívül a nagy pontosságú esztergák konstrukciói is biztosították a kielégítő szilárdságot, stabilitást és pontosságot. A fejlesztések eredményeként a nagy pontosságú keménysztergálás, mint precíziós finommegmunkálás, teljes értékű alternatívát képvisel a köszörüléssel szemben.



A gyémánt, mint szerszámanyag használatát korlátozza, hogy a forgácsolási övezet hőmérséklete nem haladhatja meg a 600 °C-t, és kémiai affinitása miatt nem alkalmas vasötvözetek (acélok) megmunkálására.

Acélok, öntöttvasak acélöntvények finomesztergálásához a köbös-bór-nitridből (CBN) vagy polikristályos köbös-bór-nitridből (PCBN) készült lapkás kések használhatók. A megmunkálásra alkalmasak a kerámia típusú szerszámanyagok is.

Ultraprecíziós (UP) esztergálás



UP fejlődését a teljesítménylezerek kifejlesztése, valamint az infravörös optika elterjedése ösztönözte.

A precíziós főorsó és vezetékek lehetővé teszik $0.1 \mu\text{m}$ alatti érdesség és $\pm 1 \mu\text{m}$ méretpontosság elérését, a helyzetpontosság problémái bázisváltásból adódnak.



Környezet:

- klimatizált, $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$, r
- relatív nedvesség tartalom: 50%,
- hőegyensúly,
- emberi jelenlét nem kívánatos
- rezgésszigetelt alap,

Gépágy:

- gránit,
- gömbgrafitos. öv.,
- kerámia

Vezetékek:

- aerosztatikus (CBN hidrosztatikus)

Munkadarab befogás:

- vákuumtokmány,
- műanyag, üveg ragasztással

Főorsó:

- aerosztatikus; $n = 6000 \dots 12000 \text{ f/min}$
- tehermentesített, rezgéscsillapított szíjhajtás
- futáspontossága: $0,05 \mu\text{m}$
- merevsége: $500 \text{ N}/\mu\text{m}$ (orsóközépen)
- anyagminőség: kerámia (deformáció 7x kisebb),
szánszálerősítésű műanyag (deformáció 15x kisebb)



A csúcstechnológiák körébe tartozó ultraprecíziós esztergálás, valamint a mikroforgácsolás pontossága az előbbtől akár 2...4 fokozattal is finomabb. Ezekkel az eljárásokkal készülnek például a lézertechnikában használt fémtükrök, a germánium- és szilíciumlencsék, valamint a vákuumtömítések és a légcsapágyazás elemei.



Alkalmazási terület		Anyag	Követelmény
Fényvisszaverő optikai elemek (tükrök)	- fénymásoló dob - lézertükrök 	- Alumínium, - Réz, - Arany, - Nikkel, - Ezüst, - Molibdén, - Platina	98% reflexió, Alakpontosság: 0,2...0,01 μm Érdesség: Ra~0,005 μm
Fényáteresztő optikai elemek (lencsék)	- napelemek lencsái - lézerlencsék	- Optikai műanyagok, - Germánium, - Szilícium	Alakpontosság: 0,2...0,01 μm Érdesség: Ra~0,002 μm
Mechanikai elemek, alkatrészek	- HDD - légcsapágy - vákuumtömítések - részecskegyorsítók elektródái	- Alumínium, - Réz, - Sárgaréz - Nikkel,	Alakpontosság: 0,5...0,1 μm Érdesség: Ra~0,01 μm

Finomfúrás

Csigafúróval történő fúrás esetén nagyolt furatokat kapunk IT12 ...13 pontossági osztállyal, $Ra=20\ldots80\mu\text{m}$ átlagos érdességgel. A telibe fúrást maximum 25mm-ig használjuk, felette két lépésben fúrunk, az első fúró átmérője 60-70%-a legyen a második fúró átmérőjének! Hosszú furatokban forgács beszorulhat és eltörheti a fúrót. Ezért a fúrót ismételten ki kell emelni a furatból és le kell tisztítani $3d$, majd $1.5d$, $0.75d$ és minden további $0.5d$ hosszúságnál.



Ha a csigafúró szerszámot készülékkel megvezetjük IT10 ...11; süllyesztésnél a félsimított furatnál IT10 ... 11-es, $Ra=2,5\ldots10\mu\text{m}$ érhetünk el. Dörzsárazással javíthatunk a furat minőségén: egy lépésben IT9 ... 10, $Ra\geq 1,25\mu\text{m}$, két lépésben IT7 ... 8, $Ra\geq 0,63\mu\text{m}$ is elérhető.

Finomfúrást fokozott pontossági és felületminőségi követelmények esetén alkalmazzuk, szerszáma a finomfúró rúd.

A betétkés kilógása a fúrórúdból adja a furat méretét, radiális finomállítása a legegyszerűbb kivitelűeknél nem lehetséges. A szerszám rádiusza így adódó méret, melynek ellenőrzésére korszerű szerszámbemérő rendszerek állnak rendelkezésre.



A finomfúróművekben mind a tengelyhelyzet, mind az alakhibák javíthatók, mert a finomfúráshoz használt szerszám nem önvezető. A fúróúdba fogott betétkés radiális finomállítást tesz lehetővé. Az így elérhető pontosság IT4 ... 5, $Ra=0,32\ldots0,63\mu m$.



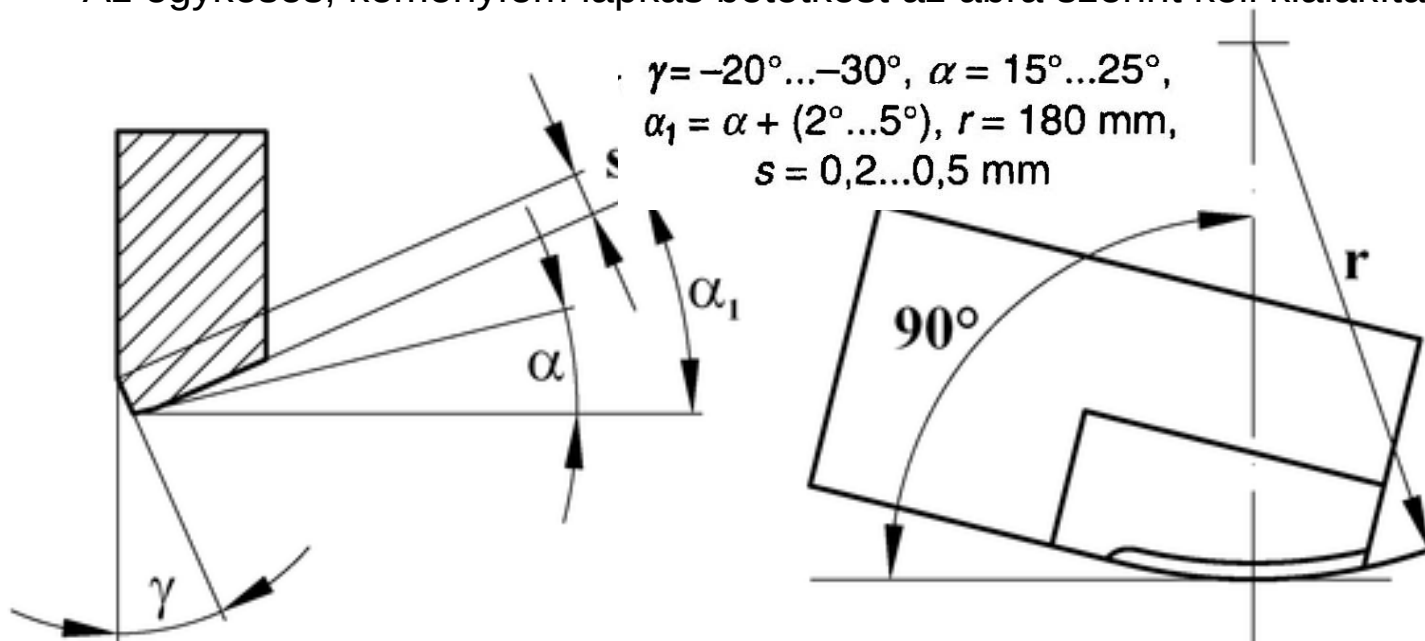
Finommarás

Finommarással síkfelületek, síkokból összetett ill. egyéb alakos, rendszerint külső felületeket állítunk elő. Jellemző szerszáma a keményfém lapkás homlokmaró. A finommarás előnyösen alkalmazható csúszófelületek előállítására, például szerszámgépek ágyvezetékeinek megmunkálására (GG25, GG30); pontosan illeszkedő, de el nem mozduló felületek gyártására, például hengerfej vagy hengertömb illeszkedő felületeinek létrehozására.

Hagyományos gépeken (pl.: egytetemes vagy függőleges marógépeken) egykéses marófejjel, ún. ütőkéses eljárással célszerű dolgozni. Finommarást csak kifogástalan állapotú, pontos gépen lehet végezni, ahol a főorsó tengelyirányú játéka 0, sugárirányú játéka minimális.

A főorsó lehetőleg siklócsapágyazású és laposszíjhajtású. Az ütőkésfej (marófej) minél nagyobb tömegű legyen. A simítómarással előmunkált munkadarabot feszültségmentesíteni kell, és ügyelni kell arra, hogy a szorítás ne okozzon deformációt.

Az egykéses, keményfém lapkás betétkést az ábra szerint kell kialakítani.



- Technológiai adatok:
- Forgácsoló sebesség
 $v_c \geq 200 \text{ m/min}$,
javasolt keményfém
szerszámhoz
 - Előtolás
 $f = 0,1 - 0,25 \text{ mm/ford}$
 - Fogásmélység
 $a = 0,05 - 0,15 \text{ mm}$

A gépjármű hűtőrendszerének meghibásodása során intenzív hősokk éri a motort, mely gyakran geometriai deformációkhoz vezet. A motorblokk és a hengerfej síklapúságának visszaállításával felújítható a szerkezet. A teljesítménynyfokozás érdekében esetenként le is szoktak munkálni a motorblokkból., ezáltal megnövelik a kompressziót. Az eljárást célgépen, célszerszámokkal végzik.



Korszerű, nagy teljesítményű CNC marógépeken váltólapkás marófej használható. A marófejben a normál fazettás lapkák mellett ún. széles simítólapkákat helyeznek el, amely kb. 0,05mm-rel mélyebben dolgozik a többinél. Az elérhető megmunkálási pontosság IT7 - 8, a felületi érdesség: $Ra=0,32-1,25[\mu m]$, a síktól való eltérés $\approx 0,05[\mu m] / 1000[mm]$

Finomköszörülés

Finomköszörülést akkor alkalmazunk, ha igen szűk tűrésű, szigorúan alakhű, kiváló minőségű felületeket kell előállítani, például szerszámgép főorsók, fogaskerék-szivattyúk hengeres felületei, hidraulikus rendszerek elemei, ipari hengerek (alufólia- és papírgyártás), forgácsolószerszámok. Síkfelületek is megmunkálhatóak finomköszörüléssel, de sokkal ritkábban van rá igény. Az alkatrészgyártásban többnyire befejező megmunkálásként találkozunk vele, és a munkadarabok előírt méret-, alak-, és helyzetpontosságát, valamint felületminőségét érjük el.



Követelmények a finomköszörűgéppel szemben:

- az anyagleválasztáshoz szükséges relatív elmozdulások legyenek pontosan ismételhetők,
- mechanikailag stabil körülmények között végezzék az anyagleválasztást,
- rugalmas technológiát tegyenek lehetővé: kellően széles fordulatszám- és előtolás-tartomány, megfelelő fokozatszám, ill. fokozat nélküli hajtás,
- megfelelő teljesítményű hűtő-kenő folyadékrendszer szűréssel, jól szabályozható hozzávezetés, alkalmas tisztítóberendezések,
- munkavédelmi szempontból legyen biztonságos, ergonómiai szempontból legyen célszerű a kialakítása,
- igen kis rezgésű, hidrosztatikus kenésű főorsó- és tárgyorsó-csapágyazás, sugárirányú ütés legfeljebb 0,001 mm,
- rezgésszigetelt alapozás.



A köszörűszerszám felépítése döntő mértékben meghatározza:

- a szerszám élettartamát,
- a leválasztott anyag mennyiségét és
- a munkadarab felületi minőségét.

A szerszámmal szemben támasztott követelmények:

- elastikus kötőanyag (pl. bakelit, gumi, elasztomer),
- finomszemcsés (320-1200), egyenletes kötéskeménységű, gondosan leszabályozott és kiegyensúlyozott köszörűkorong.



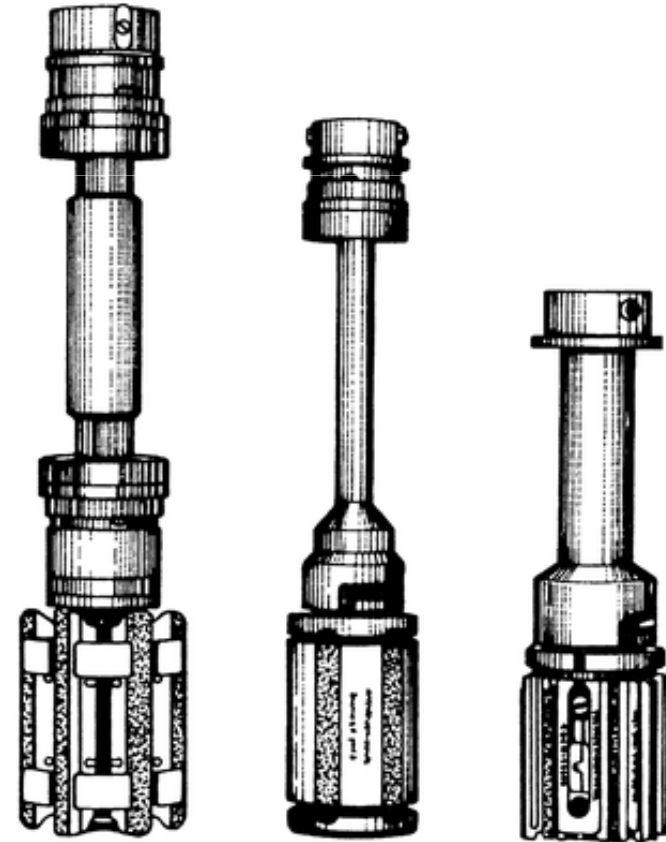
A szerszámok alakját az alkalmazandó eljárás, esetenként a megmunkálandó felület profilja határozza meg. A szerszámok többsége általában korong, hengeres vagy kúpos fazék alakú, ritkábban gyűrű vagy szegmens. A leggyakrabban használt kerámia- és bakelitkötésű szerszámok alakját, jelölési rendszerét a magyar és a nemzetközi szabvány rögzíti.

A munkadarabbal szemben támasztott követelmények:

- egyenletes kis köszörülési ráhagyást kell alkalmazni (3–5 μ m oldalanként), vagyis alig többet, mint az előző műveletből származó felületi érdességet, hiszen a finomköszörüléshez képest az előző eljárás során keletkezett felületi érdesség is jelentős lehet;
- simító köszörüléssel kell előmunkálni a munkadarabot, mert a finomköszörüléshez képest ez még nagyoló eljárásnak számít;
- köszörült, gondosan megtisztított központfuratokat kell előmunkálni a pontos helyzet és tájolás miatt.

Dörzsköszörülés (hónolás)

Elsősorban furatok finomfelületi megmunkálására kifejlesztett eljárás. A forgácsleválasztást szabálytalanul sok élű (ún. abrazív), hasáb alakú szerszámok végzik. A köszörüléssel ellentétben a dörzsköszörűgép felülete folyamatosan érintkezik a munkadarab felületével, így kiváló méret- és alakhűséget és különleges felületminőséget ad. A forgácsleválasztás tengely irányú váltakozó, és tengely körüli – viszonylag lassú- forgómozgások kombinációjaként, sugárirányban szétfeszíthető dörzsköszörűhasábok segítségével jön létre. A megmunkált felületen, párhuzamos, jellegzetesen kereszteződő nyomok láthatók.



Dörzsköszörülés technológiája

A karcok α metszési szöge, az ún. átfedési szög a mozgásviszonyokból számítható. A

forgácsolósebesség két összetevőből áll:

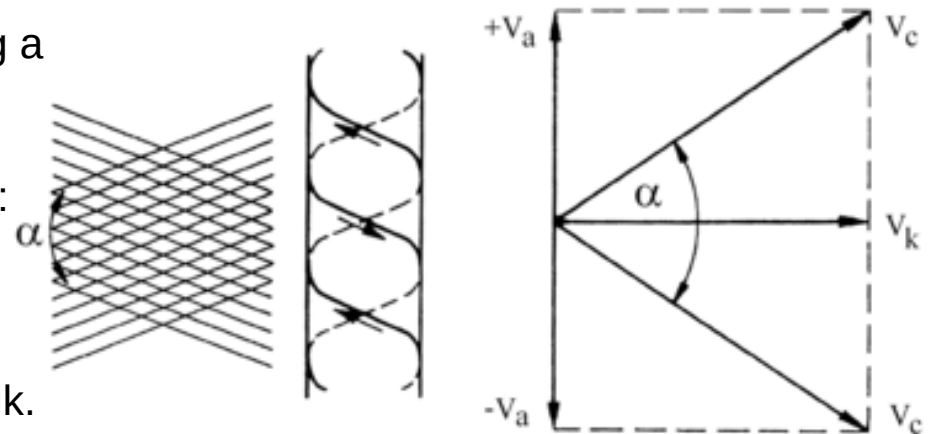
- a tengelyirányú, váltakozó mozgás sebessége:

$v_a = 12 - 25 \text{ m/min}$;

- a forgómozgás kerületi sebessége:

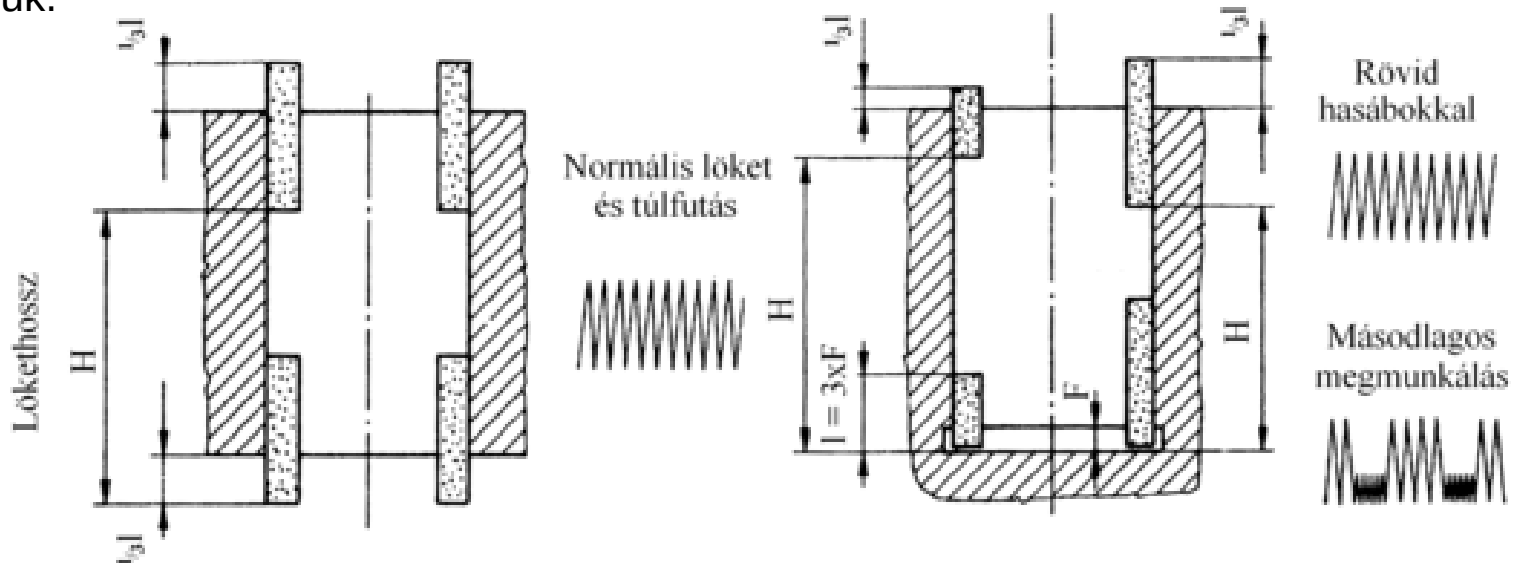
$v_k=20-50\text{m/min}$.

Ennek megfelelően α értéke 30° és 90° közé esik.



A lökethosszt és lökethelyzetet a hengeres furat létrehozására úgy kell megválasztani, hogy a dörzsköszörűfej $1/3$ dörzsköszörű-hasábhosszal a furat mindkét végén túlfusson.

Zsákfuratok is készíthetők nagyon rövid hasábokkal az ún. másodlagos dörzsköszörüléssel. Ekkor a dörzsköszörűfejet a furat végén rövid löketekkel külön megjáratjuk.



Dörzsköszörülés jellegzetes munkadarabjai

motorblokkok hengerfuratainál (a dugattyú megvezetése miatt), hengerhüvelyek, hidraulikus munkahengerek (a dugattyú miatt), főfékhengerek, hajtókarfuratok, öntvényházak csapágyazott furatainál az (akár szilárd) illesztésnek megfelelő tűrések miatt, hajtóműházak furatainál, osztott alkatrészeknél az osztási síkban, megvezetés miatt az illesztett csapok furatainál, adagolószivattyúknál. A munkadarabok lehetnek edzetlen és edzett acélok, öntöttvasak, színes- és könnyűfém-öntvények, szinterfémek, kerámiák.

Elérhető

méretpontosság

A dörzsköszörüléssel elérhető méretpontosság IT4-6.

A felületi minőség a hasáb szemcseméretétől függ.

Ha a szemcseméret:

- durva: 54-150, akkor $R_z=20\ldots5\mu\text{m}$ (nagyoló dörzsköszörülés);

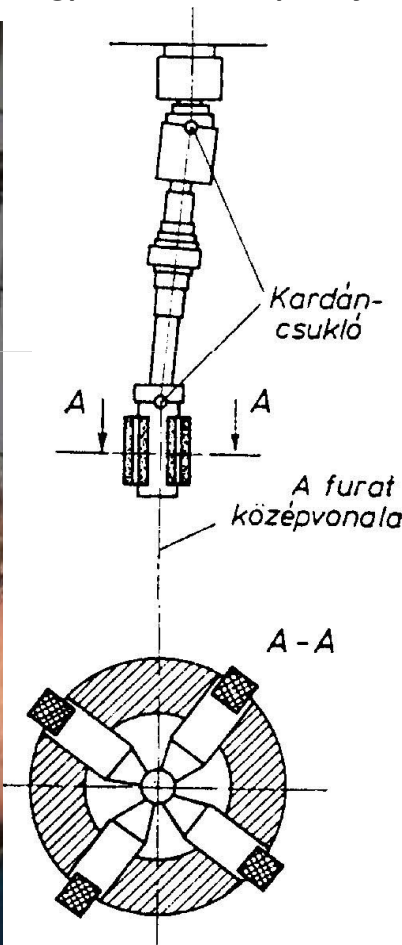
- finom: 180-500, akkor $R_z=5\ldots2\mu\text{m}$,
 $R_a=0,6\ldots0,2\mu\text{m}$ (készre munkálás);

- nagyon finom: 600-1200, akkor $R_z=2\ldots0,2\mu\text{m}$,
 $R_z=0,1\ldots0,02\mu\text{m}$.



Dörzsköszörűgépek kialakítása

A dörzsköszörűgépek igen változatos kialakításúak. Az orsó lehet vízszintes vagy függőleges. A dörzsköszörűfejeket az előmunkált furatok vezetik, ill. központosítják. A furatra való beállítást kettős kardáncsukló teszi lehetővé. Sorozat- és tömeggyártásban többorsós gépeket is alkalmaznak (például motorblokkok megmunkálásához). Ezek a gépek méretvezérlő berendezéssel vannak felszerelve. A korszerű dörzsköszörűgépek CNC vezérlésűek. A legismertebb dörzsköszörűgépgyártók: Gehring, Nagel (Németország), Sunnen (Svájc, ill. USA).

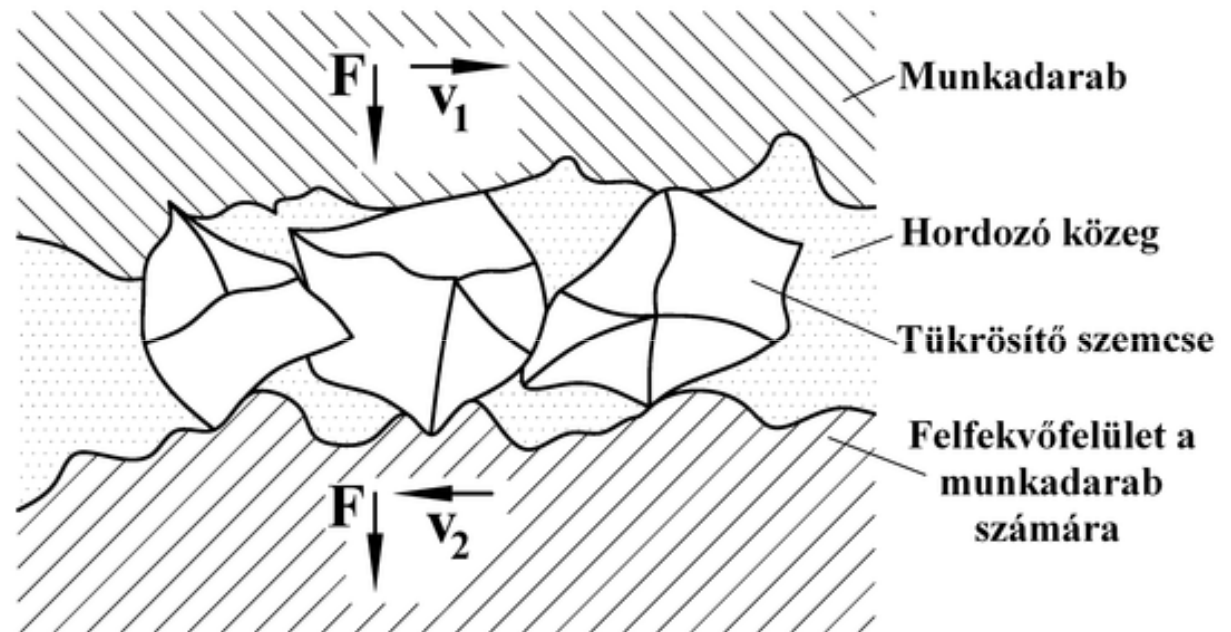


Tükrösítés

A tükrösítés olyan szabad, folyadékban vagy pasztában elosztatott szemcsével végzett forgácsolás, amelynek során a keveréket többnyire alakátvivő ellendarabra (tükrösítőszerszámra) hordjuk fel, és az egyes szemcséket lehetőleg szabálytalan forgácsolópályára kényszerítjük. A jól tükrösített felület fényes (tükrös), megmunkálási karcok nem fedezhetőek fel rajta.

A tükrösítés előnyei:

- befogókészülékekre ritkán van szükség, mivel a megmunkálandó felület egyben a bázisfelület is,
- a felületi nyomás csak $0,01 \dots 0,03 \text{ N/mm}^2$, ezért a deformáció elhanyagolható,
- a forgácsolósebesség kicsi ($v_c = 10 \dots 15 \text{ m/perc}$), ezért
- a hőfejlődés is jelentéktelen, így
- nincs feszültség okozta elhúzóadás a munkadarab felületi rétegében,
- tömítés nélkül szerelhető gáz- és folyadékzáró felületek hozhatók létre.



Tükrösítésnél általában nem kell külön bázisfelület, mert a bázis maga a megmunkálandó felület.

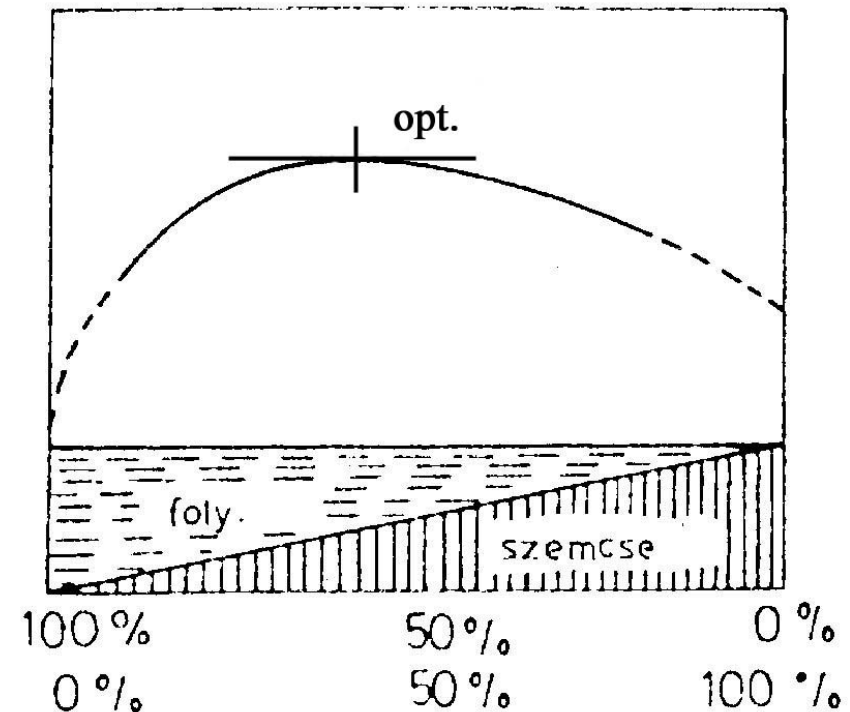
Tükrösítő anyagok feladata

A tükrösítő anyagok feladata, hogy a munkadarab és a tükrösítőszerszám között elhelyezkedő hordozóközegben (folyadékban vagy pasztában) egyenletesen el legyenek oszlatva, valamint hogy a hordozóközeggel minél jobban keveredjenek. A tükrösítésnél ezek a szemcsék jelentik a szabálytalan élgeometriájú (sokélú) szerszámot, amelyeknek szabálytalan mozgáspályát leírva kell a munkadarab és a tükrösítőszerszám között egyenlő mértékű előfordulással anyagleválasztást végrehajtani.

Különböző tükrösítő anyagok

Fokozott felületi követelmények eléréséhez edzett acélhoz króm-oxidot, lágyabb fémekhez vas-oxidot vagy gyémántpasztát használunk. A hordozóközeg általában olaj, de lehet petróleum, vagy faggyú is. A tükrösítőszerkezet anyaga lehet továbbá:

- korund: az oxidok és hidroxidok osztályába tartozó ásványfaj, nagy- és közepes keménységű fémekhez, enyhén és magasan ötvözött acélokhoz, szerszám-, gyors-, rozsdamentes acélokhoz, öntöttvasakhoz,
- szilícium-karbid: mesterséges csiszolóanyag szilíciumból, és szénből (SiC), alacsony szakítószilárdságú fémes és nemfémes anyagokhoz (szürke-, kéreg-, temperöntvények, bronz, alumínium, réz, szerves, ásványi és kerámi anyagok),
- bór-karbid: (B_4C) nagyon kemény, kopásnak különösen jól ellenálló kerámia, nagy súrlódásnak kitett gépalkatrészekhez, csapágyakhoz.

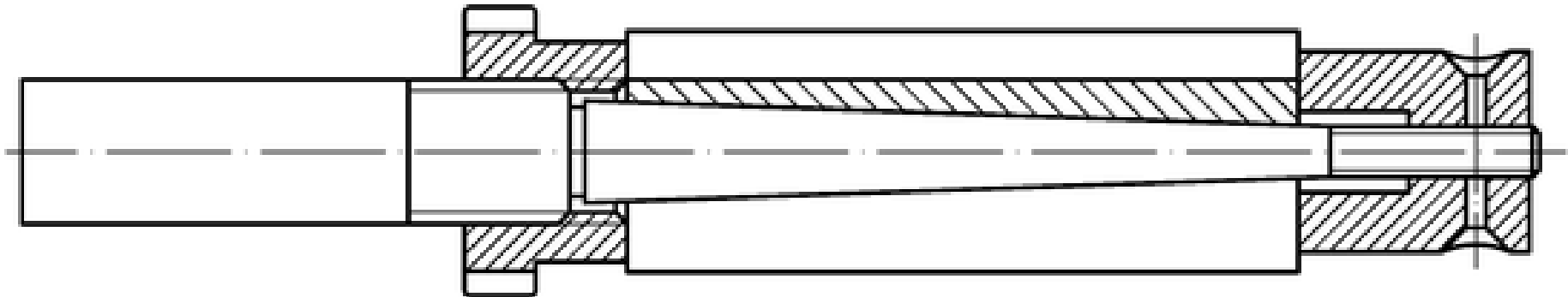


Tükrösítés alkalmazási területei

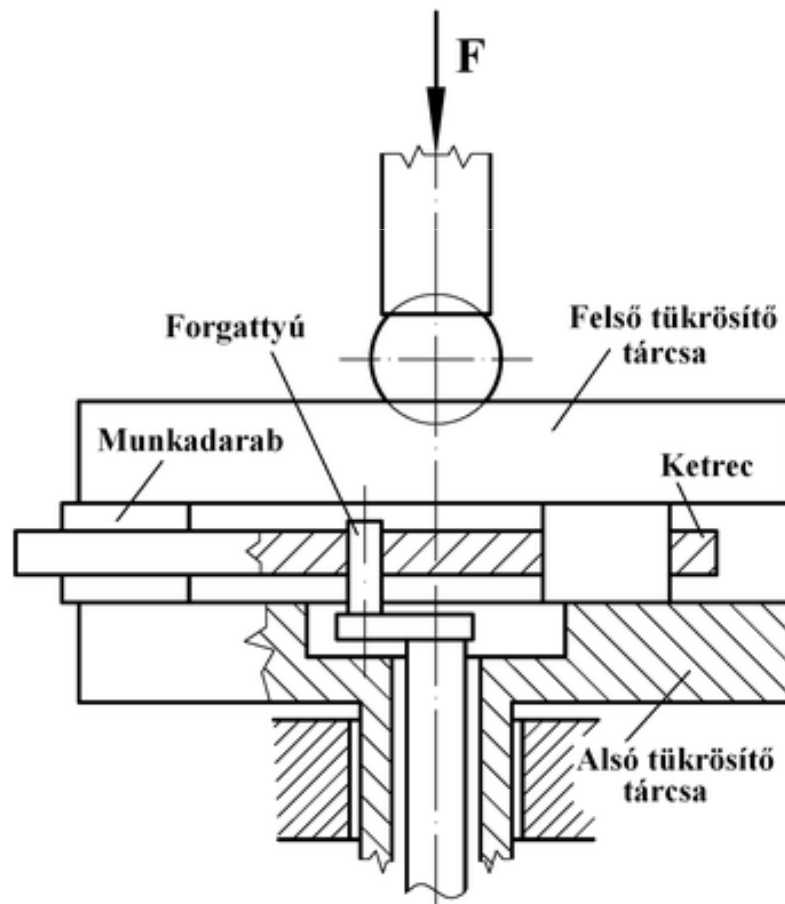
A tükrösítést elsősorban mérőeszközök (például mérőhasábok, kalibergyűrűk, idomszerek), hidraulikus és pneumatikus elemek gyártására használják, de megtalálható a finommechanikai ipar és a gépipar számos területén is, főleg tárcsák, perselyek homloklületének megmunkálásánál. A tükrösítéssel megmunkálható anyagok köre igen széles. Minden homogén szerkezetű anyag megmunkálható, amely megmunkálás közben nem deformálódik, így fémek, kőzetek (beleértve a drágaköveket is), félvezető anyagok, grafit, stb.

Az anyagleválasztás folyamata

A tükrösítés szabálytalan élgeometriájú (sokélú) szerszámmal végzett finomfelületi megmunkálás. A mozgást az egymáson elcsúszzó munkadarab és szerszám végzi, amely mozgás lehet lengő vagy alternáló. A közöttük lévő munkahézagban (hordozóközegben) a lazán felvitt csiszolószemcse anyagleválasztást végez. A szemcsék a munkadarab anyagánál puhább vagy porózusabb felületű szerszámtestbe részben benyomódva, részben pedig a felületek között sodródva választanak le forgácsot, elsősorban a munkadarab felületéről. A tükrösítés kézi és gépi változatai ismertek. A kézi tükrösítés főleg egyedi és kissorozatgyártásban terjedt el: sík, hengeres (külső vagy belső) és alakos felületek munkálhatók meg. Furatot kétfelől felhasított, kúppal feszíthető tüskével lehet tükrösíteni, amelyen a munkadarabot forgó- és egyenes vonalú, váltakozó irányú mozgással mozgatjuk.



Egytárcsás tükrösítőgéppel végzett gépi tükrösítés során az egyenletes anyagleválasztás és a szerszámkopás miatt a munkadarab és a tárcsa mindig más pályán mozog. Egytárcsás tükrösítőgépnél igen ritkán ismétlődik a pálya, de ha a szemcsék mozgását is figyelembe vesszük, akkor látszik, hogy azonos szemcse és azonos felület találkozásának az esélye nagyon kicsi, kéttárcsás gépnél ennek az esélye gyakorlatilag nulla.



Többtárcsás tükrösítőgépben a munkadarabokat a felső és az alsó tükrösítő tárcsák közé helyezzük. A munkadarabok helyzetét a ketrec határozza meg. A változó pályamozgást a ketrecmozgató forgattyú biztosítja. A munkadarabok mozgása úgy jön létre, hogy a tükrösítőtárcsákat ellentétes irányban, de azonos sebességgel, a ketrecet pedig excentrikusan, de eltérő sebességgel mozgatjuk.

Elérhető alak- és méretpontosság

A tükrösítés a legfinomabb forgácsolóeljárás, amellyel nemcsak különleges felületi minőség, hanem rendkívüli alakpontosság, valamint szűk mérettűrések érhetők el a megmunkált anyag keménységétől függetlenül, egészen IT1-3 pontosságig.

A tükrösítéssel elérhető felületi érdesség

$R_{max}=0,2-3,5[\mu m]$,
illetve $R_a=0,02-0,2[\mu m]$,

különleges igényekre
(mérőhasáb minőség)

$R_{max}=0,03-0,1[\mu m]$,
illetve $R_a \leq 0,02 \mu m$.

A felületi érdesség függ
a hordozóanyagtól, a
tükrösítőszemcsétől is,
például korundnál

$R_{max}=0,3-2,4[\mu m]$,

szilícium-karbidnál

$R_{max}=0,2-3,5[\mu m]$, bór-
karbidnál pedig

$R_{max}=0,4-3,5[\mu m]$.

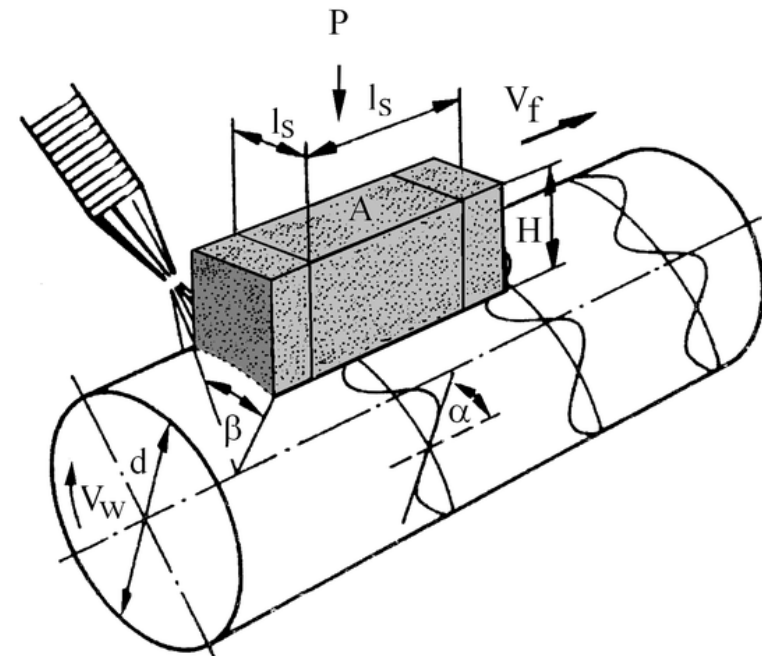


Tükörsimítás (szuperfiniselés)

Tükörsimítással köszörült felületek érdességi csúcsait 10...15 s alatt el lehet távolítani, létrehozva olyan különlegesen finom felületet, amelyen nem (vagy csak alig) ismerhetők fel a köszörűszemcsék jellegzetes karcolatai. A nagy szemcsefinomság folytán új megmunkálási nyomok nem keletkeznek, ill. azok elhanyagolhatók.

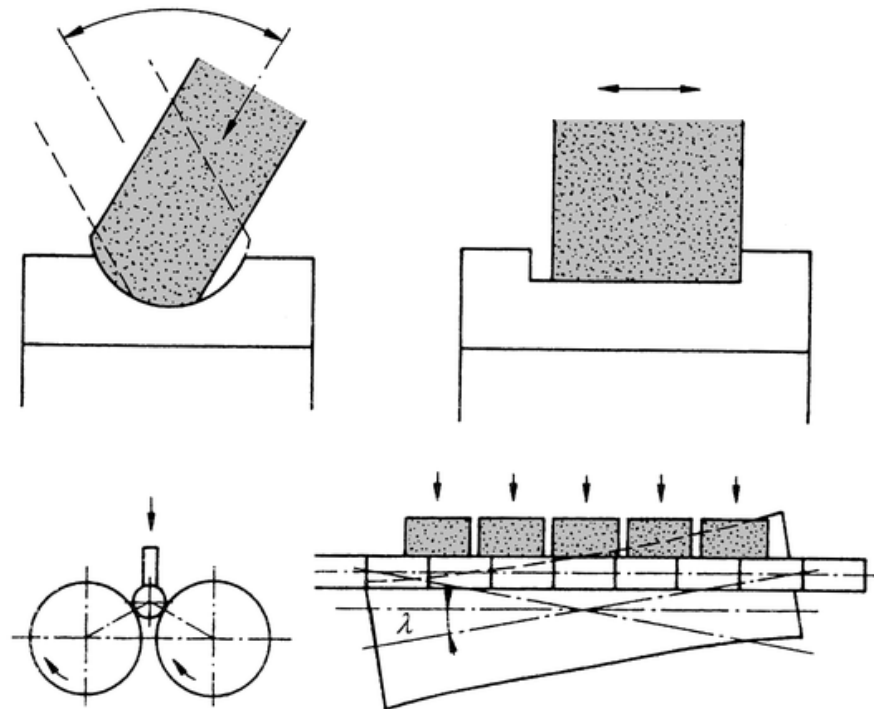
Ezáltal

- megnő az egymáson elmozduló felületek terhelhetősége és élettartama,
- jelentősen csökken a kopás, ezért lerövidül a gépjárművek bejáratása,
- az előzetes megmunkálás (köszörülés) során károsodott (felkeményedett, feszültséggel terhelt) felületréteg eltávolítható,
- nő a felület korrózióállósága.



Tükörsimítás alkalmazási területei

Az eljárásváltozatok száma a felhasználási területtől függően igen magas. A legnagyobb részarányt a csapágyipar képviseli: a golyó kivételével valamennyi gördülőpályáját (külső, belső gyűrű), ill. elemet tükörsimítással munkálnak készre. A gépjárműiparban forgattyús és vezértengelyek, szelepemelő tőkék, az általános gépgyártásban dugattyúrúdak, hidraulikai elemek, tengelycsapok, gömbcsapok gyártása során alkalmazzák. Csúcs nélküli tükörsimítással készülhet például a dugattyúcsapszeg és a hengergörgő.



A tükörsimítás technológiai tulajdonságai

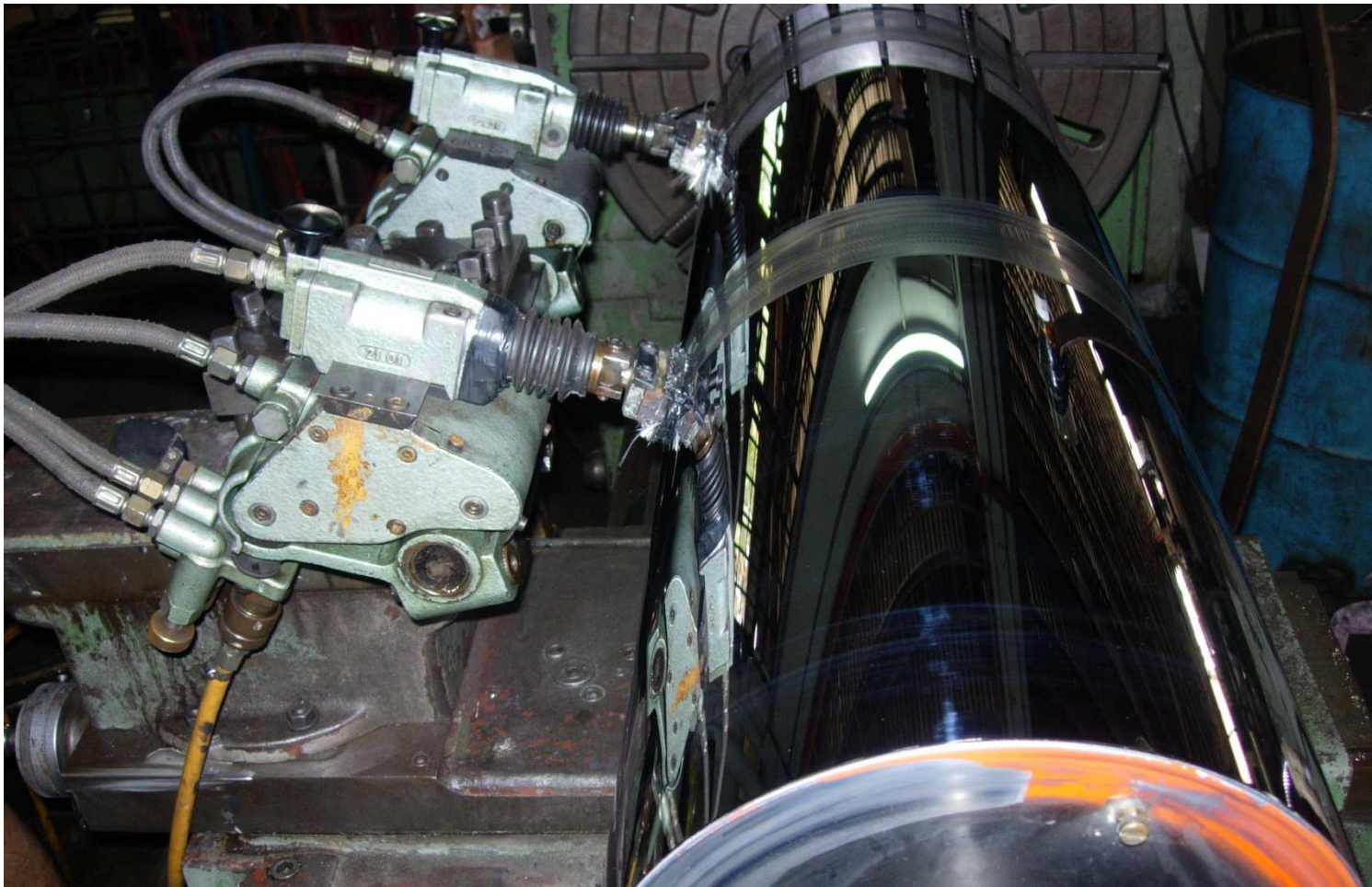
Az eljárás során a hűtő-kenő folyadék használata nélkülözhetetlen. Mivel a forgácsoláskor képződő hő csekély, a hűtőképesség kevésbé lényeges szempont. A hűtő-kenő folyadék legfontosabb feladata a leváló fém- és szerszámrészecskék kiöblítése a forgácsolási övezetből és a szerszám működő felületének tisztántartása. Erre a feladatra ma is jól használható a petróleum (80-90%) és orsóolaj (10-20%) emulziója. Az olajhányad növelésével kisebb lesz a felület érdessége, de csökken az anyagleválasztás.

Tükrösítőszer	Hordozóközeg	Szemcseméret [μm]	Felületi érdesség [μm]
<i>Korund</i>	<i>Olaj</i>	3,0 - 4,5	0,3
		4,0 - 6,0	0,5
		7,5 - 9,5	0,9
		13 - 16	1,4
		16 - 20	1,8
		20 - 24	2,4
<i>Szilícium-karbid</i>	<i>Olaj</i>	2,0 - 4,0	0,2
		4,5 - 7,5	0,5
		7,0 - 11,0	0,8
		15 - 21	1,8
		21 - 27	2,4
		35 - 45	3,5
<i>Bór-karbid</i>	<i>Olaj</i>	4,0 - 6,0	0,4
		7,0 - 11,0	0,8
		15 - 21	1,8
		26 - 34	2,8
		35 - 45	3,5

Elérhető méretpontosság

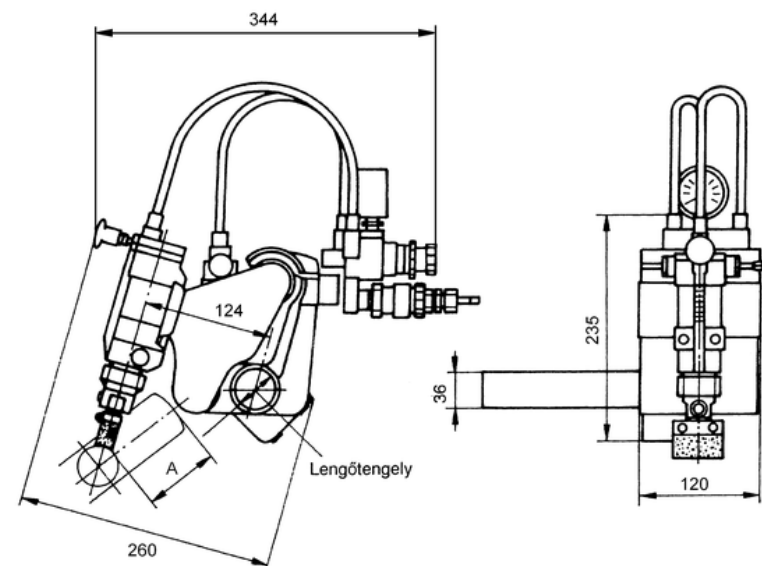
Az itt alkalmazott legdurvább szemcse 600-as, ez is közrejátszik az elérhető méretpontosságban. A pontossági és alakhűségi követelményeket döntő mértékben a köszörüléssel kell megadni. A tükörsimítással elérhető minőségi követelmények:

- a felületi érdesség $R_m \geq 0,05 - 0,4 \mu\text{m}$, ill. $R_a \geq 0,01 - 0,05 \mu\text{m}$;
- a hullámosság $W_t \approx 0,1 - 0,5 \mu\text{m}$;
- a köralakhiba a kiinduló érték 20-50%-a;
- az elérhető pontosság IT4-6, az előzetes megmunkálástól függően.



Tükörsimítás mozgásvizonyai

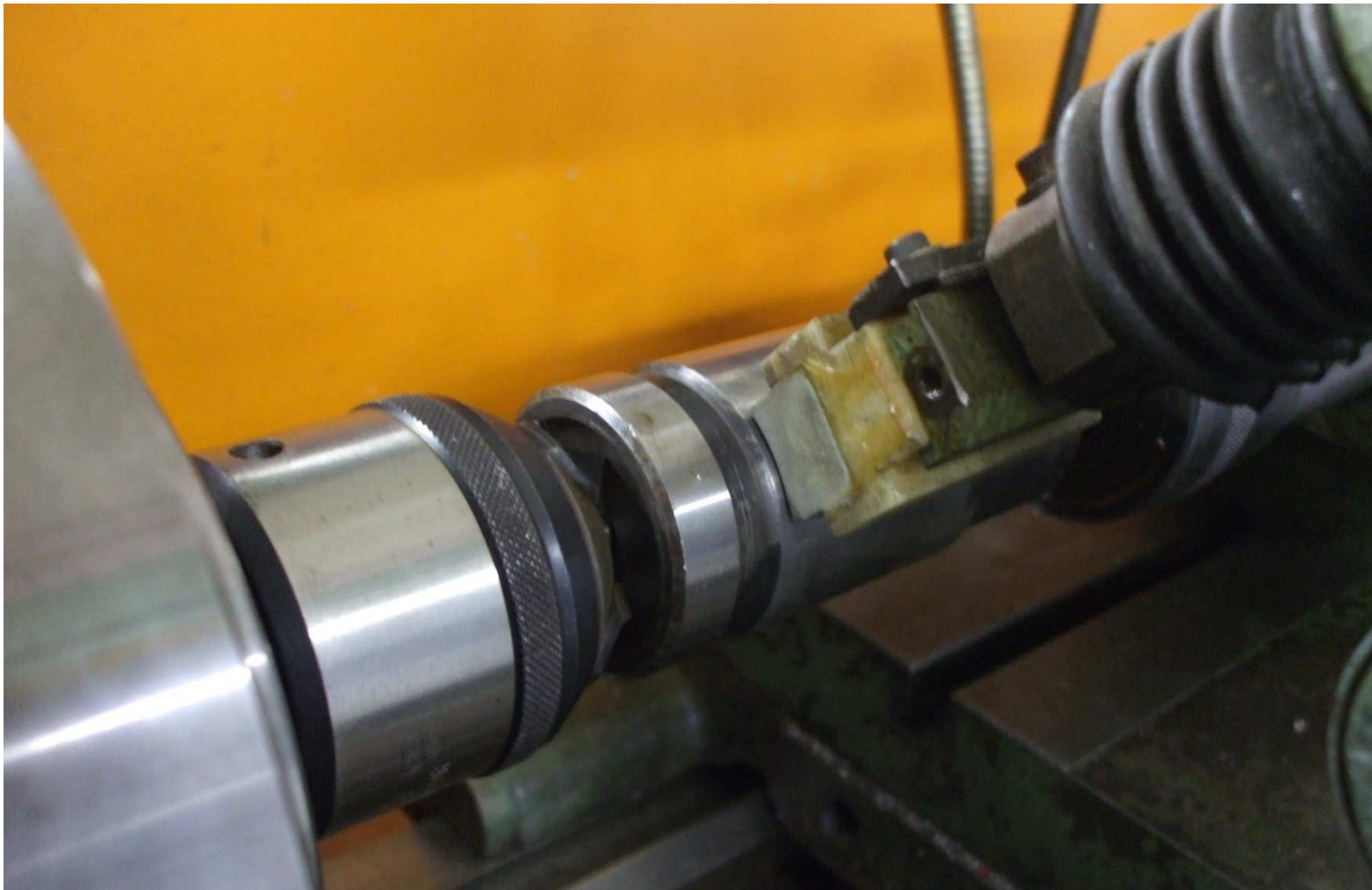
Esztergagépre szerelt adapter esetén a munkadarab be van fogva a tokmányba, így az végzi a forgó mozgást, a szerszám pedig a felülethez megfelelő mértékben nekinyomva egyenes vonalú mozgást végez.



A tükörsimítás eszközei, gépei

A tükörsimító szerszámnak egyenletes minőségűnek kell lennie. További követelmény még a szerszámmal szemben, hogy folyamatos önéleződés legyen, mert a szerszám szabályozása nem lehetséges, ugyanezen ok miatt csekély kopást szabad megengedni, valamint a ráhagyást gyorsan kell tudnia eltávolítani, és kiváló felületi minőséget kell hagynia.

A tükörsimítás szerszámai felépítésüket tekintve köszörűszerszámok. Rideg anyagokhoz, például öntöttvasakhoz zöld vagy fekete szilícium-karbid, acélokhöz normálkorund szemcse ajánlott.



2.2. Plazmasugár alkalmazása

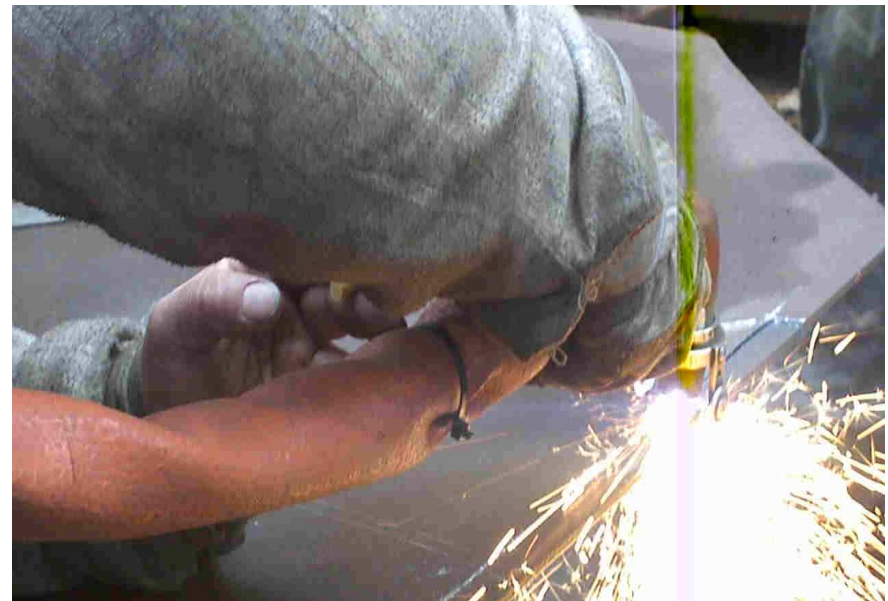
A legismertebb plazmasugaras technológiák a plazmavágás, hegesztés, anyagszórás.

Lángvágás során a fémeket magas hőmérsékletű gázlánggal vágják oxigén áramoltatása közben. Ezzel a technikával a fémeket elégetik és a folyós oxidot a gázáram mintegy kifújja a vágatból.

Plazmavágásnál nincs oxidálás, hiszen az anyagot néhány tized mm² felületre koncentrált nagyenergiájú plazma csupán megolvasztja, és a nagysebességű plazmasugár a vágatból eltávolítja az olvadékot.

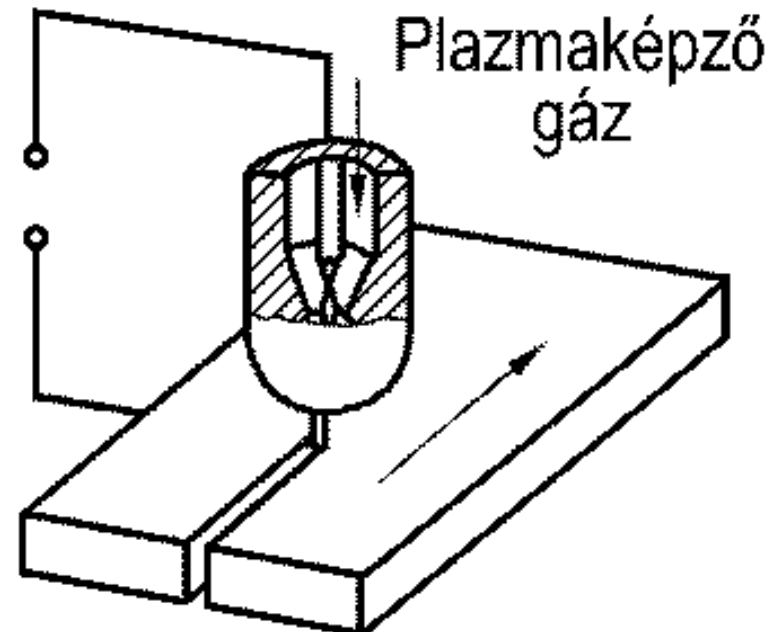
A plazmavágás lehet:

- plazmaíves
- plazmasugaras, illetve
 - védőgáz nélküli
 - védőgázos
 - vízzel védett
 - víz - befecskendezéses



Plazmaíves vágás

Általánosabban elterjedt változat a plazmaívvvel történő vágás. Az ív akkor jön létre, ha elektromos áram folyik a nem megolvadó elektródtól az elvágandó, elektromosan vezető munkadarab, azaz az anód felé. A munkadarab megolvasztásához szükséges energiát egyrészt a plazmasugár, másrészt a villamos ív szolgáltatja. A plazmagázok a villamos ív hatására részben felbomlanak és ionizálódnak – elektromos vezetővé válnak – az ívben, majd a nagy energiasűrűség és hőmérséklet következtében a hangsebesség többszörösével megindulnak a munkadarab felé. Az eljárás előnye a nagy vágási sebesség és a nagy vágási mélység, A plazmagáz sűrített levegő vagy nitrogén.





Béléslemez darabolása

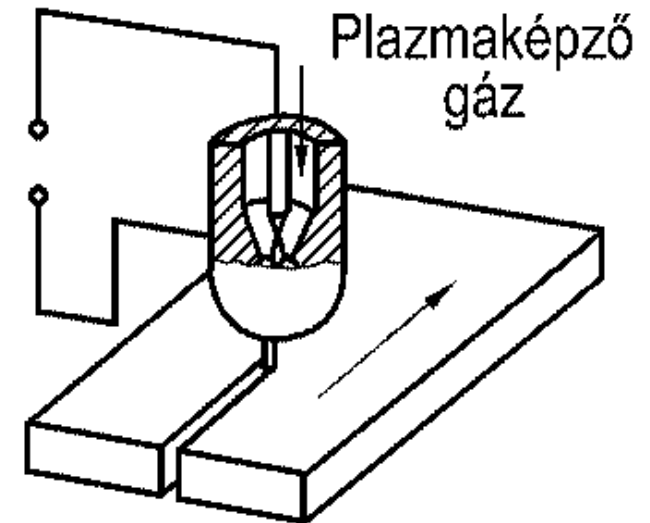
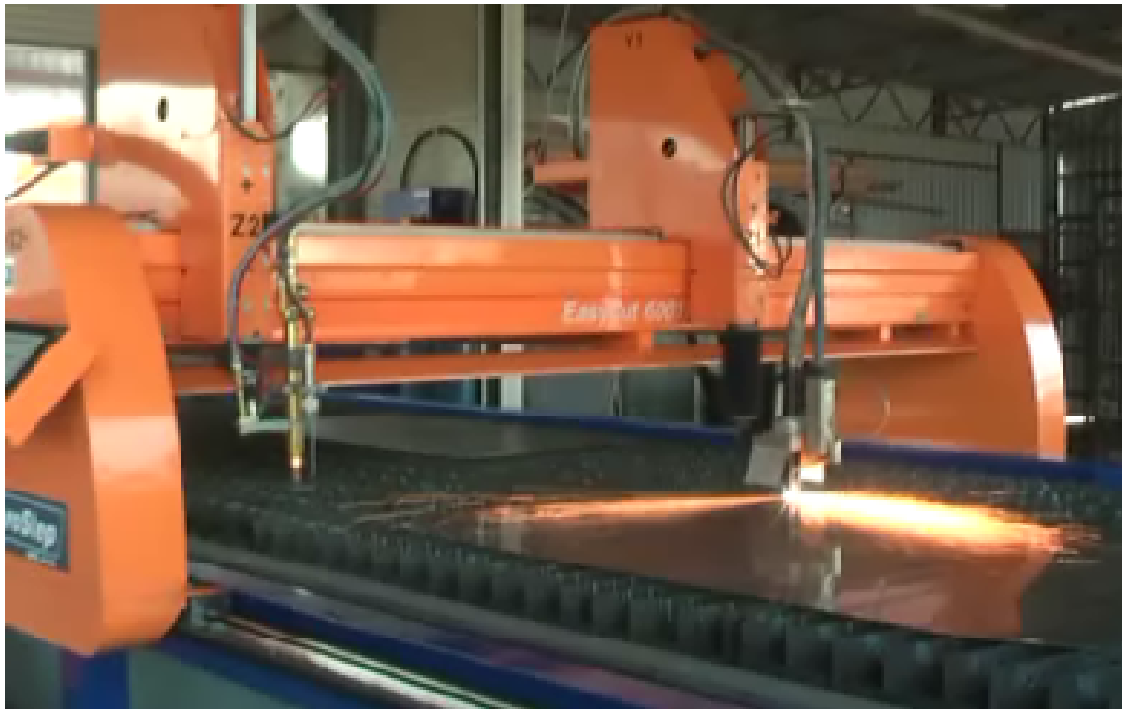
Kokszzállító kocsi belső felületét kopásálló réteggel felületszórt lemezzel bélelik.

A béléslemez a rávitt erősen ötvözött réteg miatt lánggal nem lehet vágni.



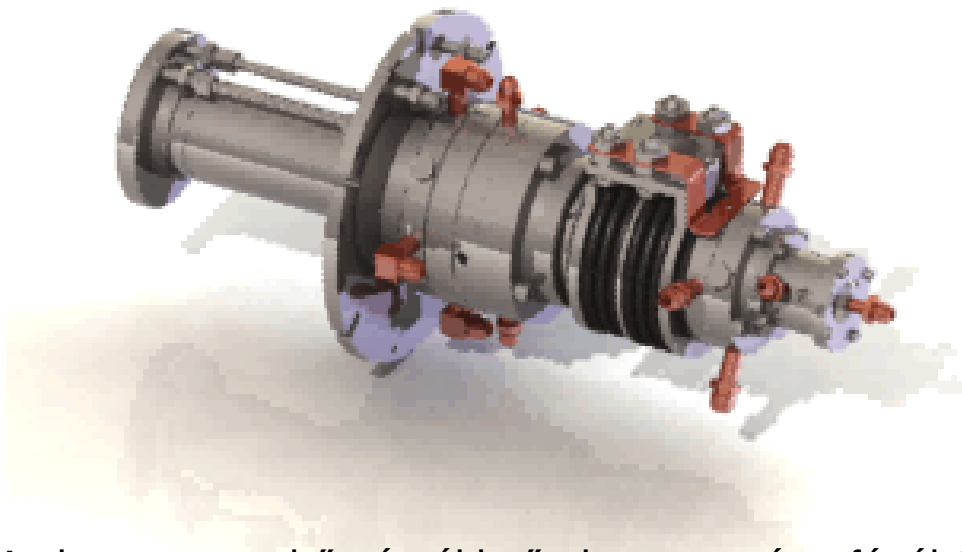
Plazmasugaras vágás

A plazmasugaras vágásnál az ellenpólust a vágófej biztosítja és nem a munkadarab. Amint a munkadarab felületére koncentrált nagyenergiájú plazmaív eléri a munkadarab felületét, az atomok és molekulák egyesülnek, így az ívben tárolt energia felszabadulása megolvasztja, és részben elgőzölteti a munkadarabot. A nagy mozgási energiájú plazmasugár lehetővé teszi az olvadt rész kiszorítását a munkadarabon lévő vágási résből.

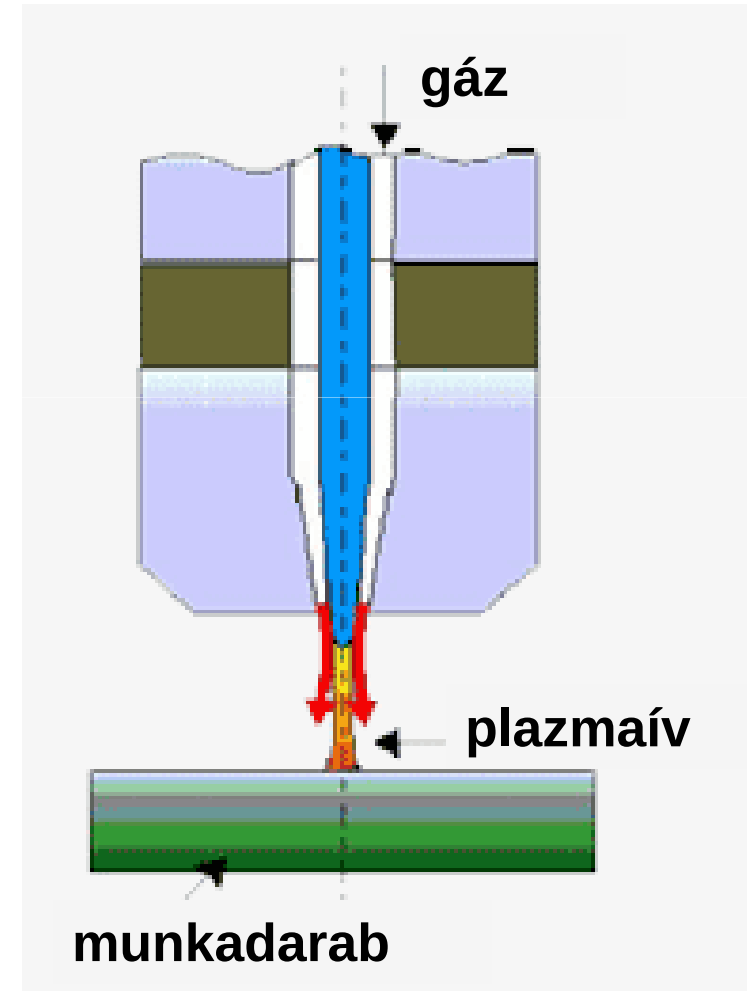


A megmunkálást a plazmatronban előállított stabilizált plazmasugár végzi. A stabilizált ív vízűtéses anód és katód között ég. Az ív előállításához nagy áramerősségű (100A) és viszonylag **kis feszűltségű egyenáramra** van szükség. Az ív áramló munkagázban ég, ez a munkagáz a fűvókán áramlik ki, részben ionizált állapotban van, magas hőmérsékletű, nagy teljesítménysűűrűséget képvisel.

A fej belsejében lévő magas olvadáspontú anyagból készűlt rűd a katód és körülötte lévő vízűtéses fűvóka az anód. A katód anyaga általában W vagy Mo, az anód vörösréz. A nagy hőterhelése miatt vízűtéssel kell ellátni. A plazmatronba gázbevezető csű megfelelő szelepekkel csatlakozik az esetleg szükséges védőgázok és a plazmát alkotó gáz bevezetésére.



Az igen magas hőmérsékletű plazmasugár a fűvókán 2-3 Mach sebességgel áramlik ki és ez a plazmasugár végzi el a vágást.



Plazmasugaras vágásnál a gáz áramlási sebességét a plazma teljesítményével és a fókuszfolt átmérőjével összhangban szabályozzuk, sima felületű vágatot kapunk. Mivel a haladási sebesség nagy, a plazma széle utáni légáram intenzíven hűt is, a plazma hatása nem terjed lényegesen túl a fókuszfolt átmérőjénél, ezért az anyag belsejében szövetszerkezeti átalakulásra nem kell számítani.

A plazmasugár magja igen magas hőmérsékletű, elérheti a **30000 K**-t is, de a levegőn a külső része már csak 10^3 K körül van. Ez a hőmérséklet is elég azonban a legtöbb ismert anyag megolvasztására.

Elvileg bármilyen egyenáramot előállító eszköz lehet az áramforrás. Régebben dinamó látta el ezt a feladatot, ma már félvezető egyenirányítós tápforrások használatosak. A szükséges feszültség 50-400 V, áram 150-200 A szabályozható értékekkel.



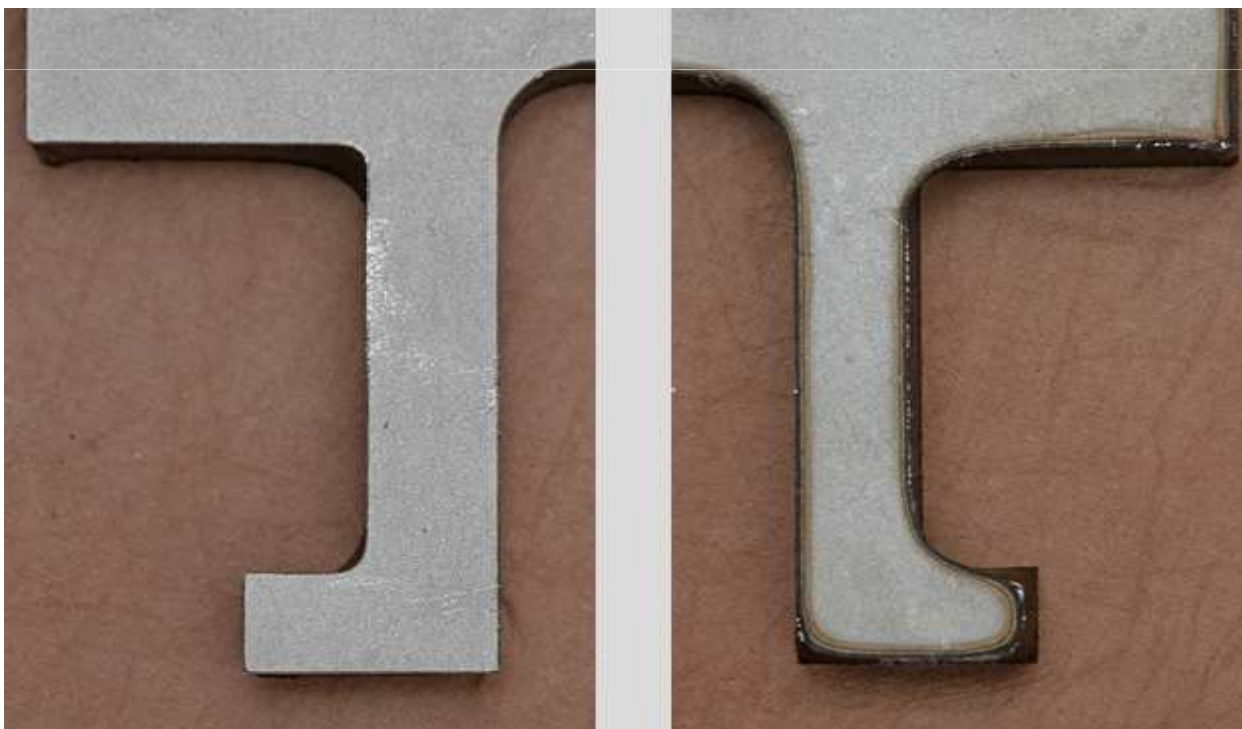


A lángvágással szemben, ahol túlnyomórészt fémeket vágnak, a plazmasugaras vágás alkalmas egyéb anyagok vágására, mint pl. Al_2O_3 és egyéb kerámiák, üveg, kvarc stb. Könnyen oxidálódó anyagok (fémek) vágása esetén az Ar-ba célszerű H_2 gázt is keverni.

Fémek közül az Al is kiválóan vágható, ami a hagyományos technikával közismerten nehéz feladat. Alkalmazásának nagy előnye még, hogy lemezkötegek is vághatók anélkül, hogy a vágatok szélei összehegednének.

Vágási hibák

- Vágandó anyag előkészítése nem alapos (felületi állapot, belső folytonossági hiányok)
- Vágóégő és a munkadarab távolsága nem állandó
- A munkadarabból kieső hulladék okozhat kettős ívet, mely akkor keletkezik, ha az égő fejrésze a munkadarabhoz ér.



A szükséges gázokat palackokból megfelelő nyomáscsökkentőn keresztül vezetjük a fejbe közbeiktatva a vezérlőrendszert.

Plazmagázok:

levegő, oxigén O_2 , nitrogén N_2 , argon - hidrogén gázkeverék Ar (65%) - H_2 (35%), nitrogén – hidrogén gázkeverék N_2 (95%) - H_2 (5%)

Fémek kézi vágásánál:

80-67% Ar + 20-33% H_2

Fémek gépi vágásánál:

70-60% Ar + 30-40% H_2



A hidrogén erózív hatásának kiküszöbölése érdekében munkagázként használható hidrogén helyett nitrogén is, feltéve, ha nem lép reakcióba a vágandó anyaggal. Ilyenkor figyelembe kell venni, hogy a nitrogén termikus hatásfoka kisebb mint a hidrogénéé.

Kézi vágáskor továbbá ügyelnünk kell a nitrogén és vegyületeinek mérgező hatására.

A hidrogén-nitrogén gázkeveréket főként Al és ötvözetei, Cu és ötvözetei, ötvözetlen és erősen ötvözött acélok vágásához használjuk.

A gázkeverék összetétele befolyásolja adott lemezvastagság esetén az elérhető vágási sebességet.

MicroStep EasyCut 6001/20PGG
Kjellberg HiFocus 130



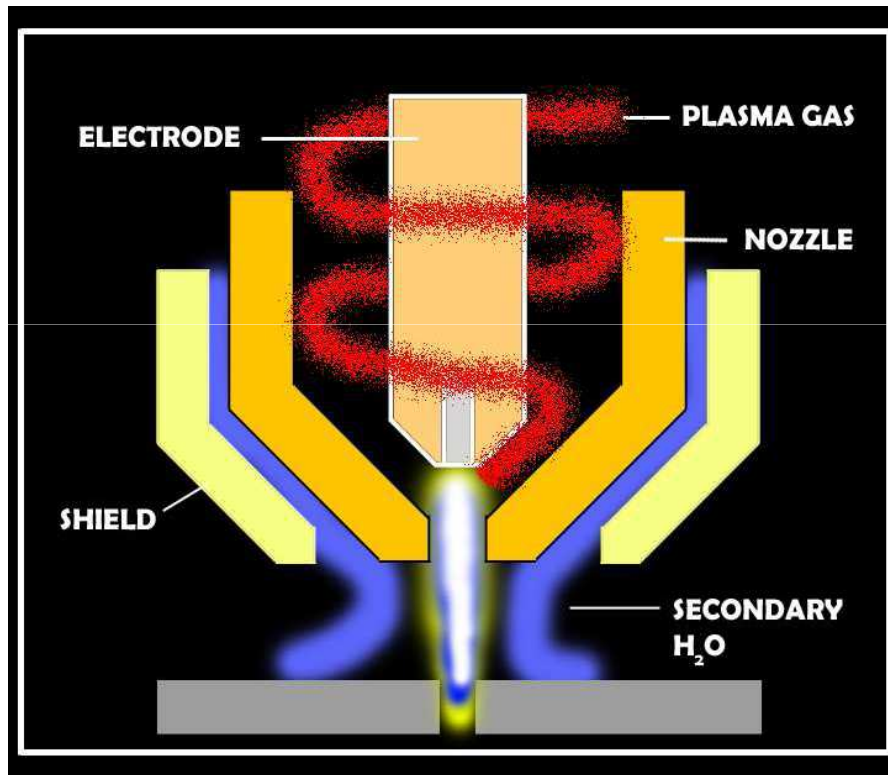
Plazmavágást 2D koordinációs CNC vezérlés segíti. Kivágó programokat lehet készíteni a rendszerbe integrált kezelőfelületen, ill. külső forrásból is fel lehet tölteni, amik nagy hatékonyságot és pontosságot biztosítanak. A vágás megkezdése előtt be kell állítani a plazma tulajdonságait, fel kell venni a nullpontot és a tengelyirányokat, majd indítható a vágási művelet.

Munkaterület: 2000mmx6000mm
Felszerelhető fejek száma: max. 6
Pontosság szabvány: DIN28206
Vezérlés: iMSNC (CNC)
Pneumatikus működéshez 6 báros tiszta levegő biztosítása
Szabályozhatóság fokozatmentesen:
20-130 A / 100% ED
Max. vágási vastagság: 40 mm
Hálózati feszültség: 3 ph. 400V/50 Hz
Maximális teljesítményfelvétel: 35VA
Alkalmazható gáz: levegő, oxigén, nitrogén, argon, hidrogén



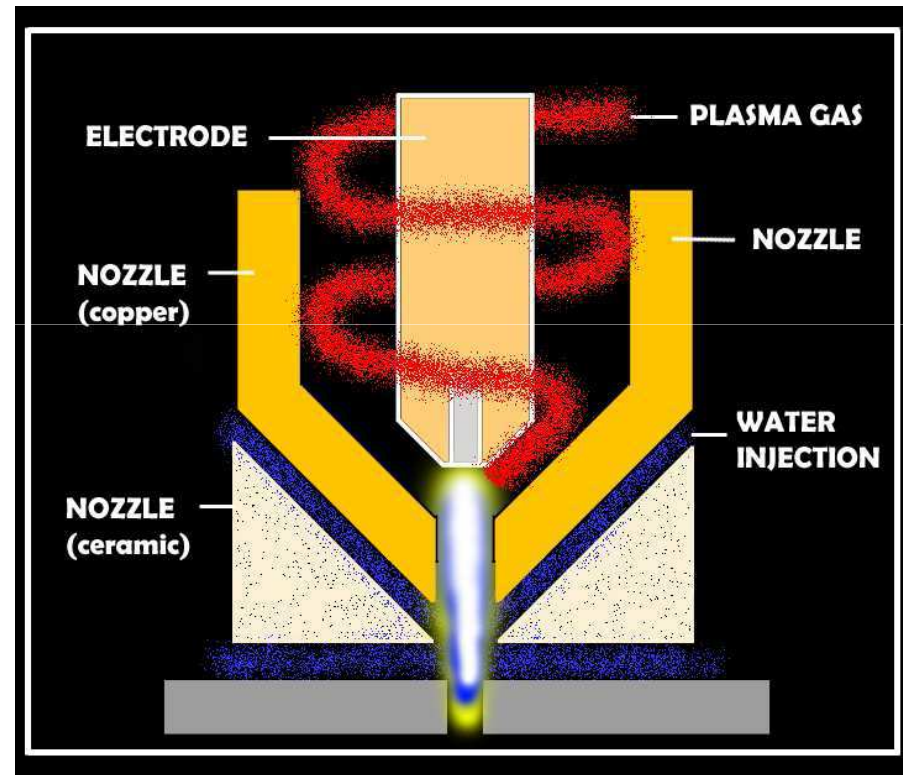
Vízzel védett plazmavágás

A felület védelmére a védőgáz helyett vizet használnak. Jobb vágási felület érhető el. A keletkező nagy mennyiségű füst és gőz miatt csak gépi vágás.



Víz befecskendezéses plazmavágás

A plazmagáz oxigén vagy nitrogén. A plazmaívre közvetlenül vizet fecskendeznek. A befecskendezett víz hatására a plazmaív jobban koncentrálódik, növekszik a sűrűsége és a hőmérséklete, ezáltal nagyobb vágási sebességet lehet elérni.



2.3. Elektronsugaras megmunkálás



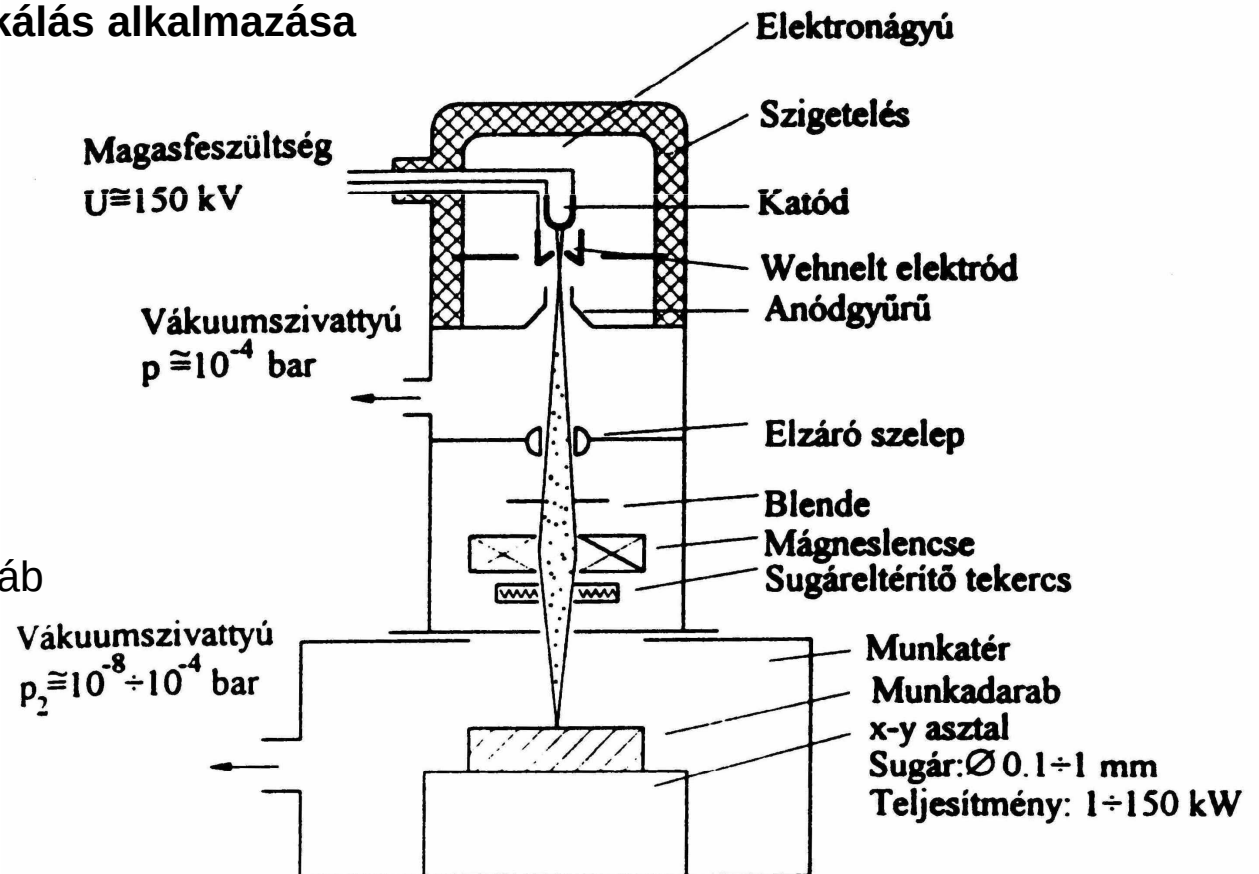
Az elektronsugaras megmunkálás (EBM: Electron Beam Machining) elve

A nagysebességű elektronsugarakat már régen hasznosítjuk röntgen és katódsugár csövekben, elektronmikroszkópokban. Ha az elektronsugár koncentrált mozgási energiáját a becsapódás helyén hőenergiává alakítjuk, azzal speciális megmunkálási feladatokat tudunk elvégezni.

Az elektronsugaras megmunkálás alkalmazása

- polimerizálásra
- felületi edzésre
- hegesztésre
- átolvasztásra
- fúrásra
- vágásra
- marásra
- gravírozásra

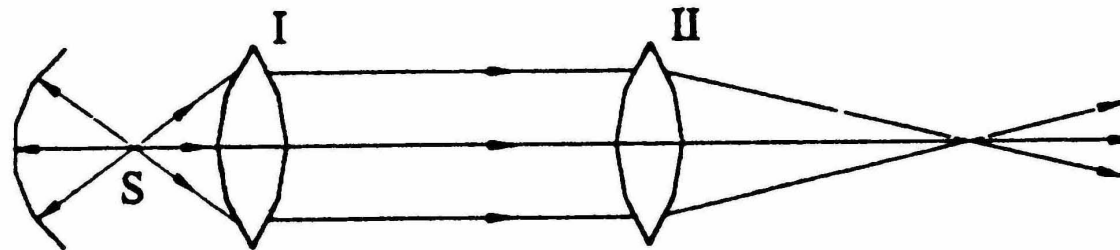
A furatok átmérőjét a sugárnyaláb mérete határozza meg.
Lehetséges hosszú furatok [$L/D > 20$] megmunkálása is.
Általában 0,01-1 mm méretű furatok és hornyok készíthetők



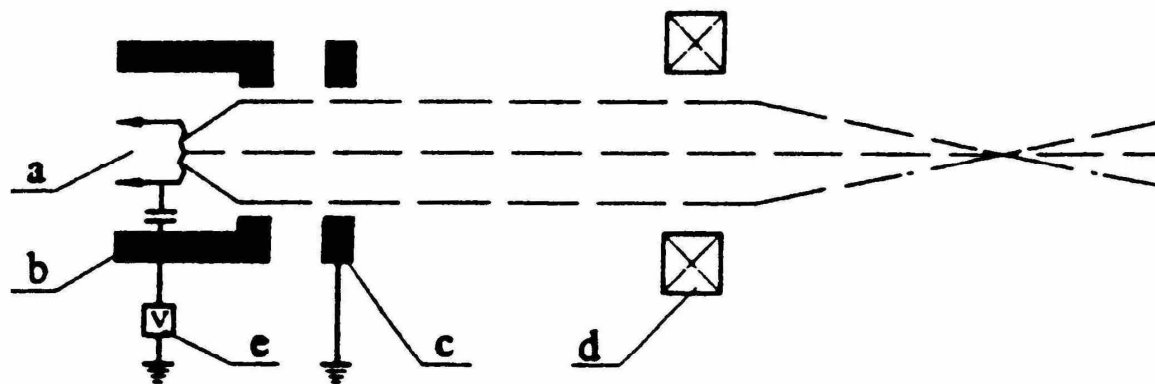
Az anyagleválasztás folyamata



Az izzó katódból kilépő elektronokat elektronoptikai módszerekkel irányíthatjuk, melyek a fényoptikai módszerekkel analóg módon vezérelhetők. Az optikai rendszerben a fényforrás az I. lencse fókuszában van, a párhuzamos fénynyalábot a II. lencse a fókuszában gyűjti össze. Ezzel analóg módon a hevített huzalból kilépő elektronokat a kilépési apertúra (rés) lap elektrosztatikus hatása párhuzamosítja, majd a két apertúra közti feszültségkülönbséget felgyorsítja.



S) fényforrás, I) kolliméter lencse, II) fókuszáló lencse



**a) katód, b) kilépési apertúra, c) gyorsító apertúra
d) fókuszáló elektromágneses tekercs, e) nagyfeszültség**

Az elektronsugarakat a végén egy elektromágneses kondenzátor tekercs fókuszálja, és kis felületre gyűjti össze. Az elektronsugár elektromágneses tér segítségével jól fókuszálható, iránya gyorsan változtatható, így általában megmunkáláskor a munkadarab és a sugár relatív mozgását a sugár mozgásával érjük el.

A berendezéssel szemben támasztott legfontosabb követelmények:

- nagy teljesítmény sűrűség kis felületen
- energiaközlés rövid impulzusokban
- az elektronok hatótávolsága és a gyorsító feszültség illesztése az adott feladathoz
- megfelelő sugárvezetés és vezérlés biztosítása

Az elektronsugarakat csak vákuumban lehet alkalmazni. A megfelelő vákuum nagy teljesítményű vákuumszivattyúk és nagyméretű vákuum kamrák segítségével biztosítható.

Az elektronsugaras olvasztás

Az elektronsugaras megmunkáláskor az élesen fókuszált, felgyorsított elektronokból álló sugarakat a megmunkálandó anyag (amely fém vagy más nem átlátszó anyag) felületére irányítjuk. A munkadarab felületére becsapódó elektronok lefékeződnek, a kinetikai (mozgási) energiájuk a fékezés hatására hőenergiává alakul át.

Ha nagy intenzitású energiasugár éri a fémet, akkor a sugár viszonylag kis mélységben hatol be, miközben energiájának nagy része hővé alakul. Az elektronok behatolásának mélysége függ az elektronok sebességétől, a gyorsító feszültségtől és az anyag sűrűségétől. A nagy energiasűrűség miatt a felületi rétegben a fém megolvad, részben elgőzölög, az olvadék egy része a gőzbuborékok szétrobbanásakor az olvadékból kivetődik.

Mivel az elektronsugár a levegőben a nitrogén- és oxigénmolekulákkal ütközve szétszóródik, ezért mind a sugár vezetéséhez, mind pedig a megmunkáláshoz vákuumra van szükség. Az elektron sugárral az energiát nagyon kis felületre [10^{-7} cm²] lehet koncentrálni, a teljesítmény sűrűség pedig meghaladhatja a 10^8 W/cm² értéket.

