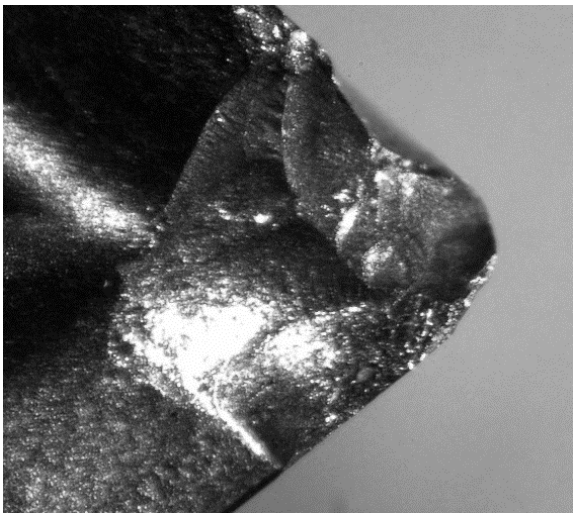
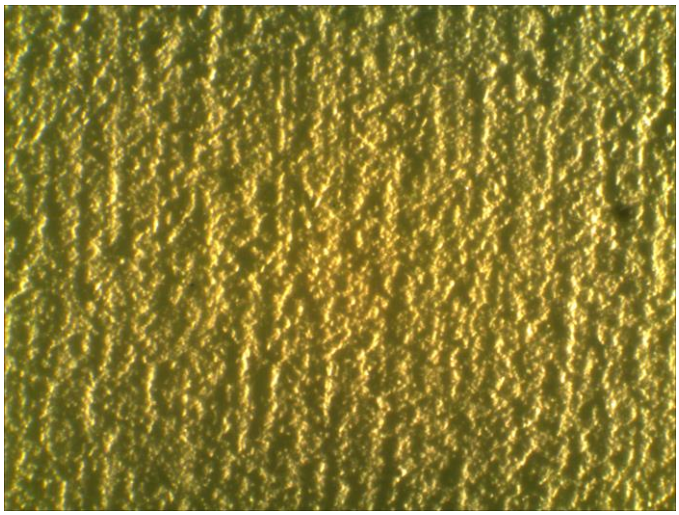
SOLDITECH Mérnöki és Pénzügyi Tanácsadó Korlátolt Felelősségű Társaság

PUBLIKÁCIÓ





GINOP-2.1.7-15-2016-00476 azonosító számú, „Gyártástechnológia és ehhez kapcsolódó prototípus megmunkáló gép kifejlesztése műszaki kerámiák forgácsolására a Solditech Kft-nél” elnevezésű pályázati projektről

1. Bevezetés

1.1. Célkitűzés

Cégünknél a Solditech Kft-nél 2019.07.31-én lezárult a 45,49 millió forint Európai Uniós támogatás segítségével megvalósult pályázati projekt, melynek keretén belül a műszaki kerámiák forgácsolásához szükséges gyártástechnológiát és az ehhez kapcsolódó prototípus megmunkáló gépet fejlesztettük ki.

A projekt megvalósításának során olyan új technológiát fejlesztettünk ki, mely jelentős újításnak számít. A hagyományos fröccsöntéses technológiával előállított műszaki kerámia elérhető pontossága korlátozott a kész munkadarab zsugorodása miatt. A bázishoz viszonyított pontosság tűrésmezejének szigorítása csak forgácsolási eljárással érhető el. Ez önmagában nem jelentene problémát, hiszen fémeket is öntenek, majd öntés után forgácsolással megmunkálják azokat. Általánosan a megmunkálandó fémek keménysége 30-50 HRC (Rockwell keménység a C skálán). Már az 50 HRC és az a fölötti keménységű acélok megmunkálása is okoz problémát. Azonban az ipari kerámiák ennél lényegesebben keményebbek. Például nagy nyomású sajtolással előállított kerámiával acélt tudunk forgácsolni. A kerámiák keménységét Vickers módszerrel mérik. Az Al2O3 alumínium-oxid tartalmú kerámia eléri a 2000HV keménységet. Az ilyen keménységű anyagot polikristályos ipari gyémánttal, vagy köbös bór-nitrid szerszámmal lehet csak megmunkálni. A másik nehézség, a kerámiák rideg törésre való hajlandósága. Ezért a kis sorozatban gyártott ipari kerámiák forgácsolására még tudomásunk szerint nem fejlesztettek ki forgácsolási eljárást, illetve gépet. Itt éppen a kis sorozaton volt a hangsúly. Nagy sorozatban természetesen gyártanak pontos kerámiát, elsősorban a forgácsoló ipar számára lapkák formájában. Ez a gyártástechnológia drága, mely megjelenik a termék árában (néhány grammos lapka több ezer Ft). Ezt nagy nyomású technológiával gyártják. Ezek a lapkák éltartóak, és rengeteg forgácsolt alkatrész gyártását teszik lehetővé. Így egy lapka ára eloszlik a sok, általa gyártott alkatrészek árában. Az általunk kifejlesztett technológia olcsón alkalmazható kis sorozatok (akár néhány száz db esetén is) utólagos megmunkálására. Itt a hangsúly, a kerámia alkatrész működésének kiemelt fontosságú felületeinek pontosságán van, a kijelölt bázishoz képest. Az anyagleválasztás néhány mikron mindössze. Az említett zsugorodás nagyvonalakban számítható (pontosan nem) ezért az öntő szerszámot el lehet készíteni úgy, hogy a tűrt méretekkel rendelkező felületek a biztosan tervezhető zsugorodásnál nagyobb mérőszámmal

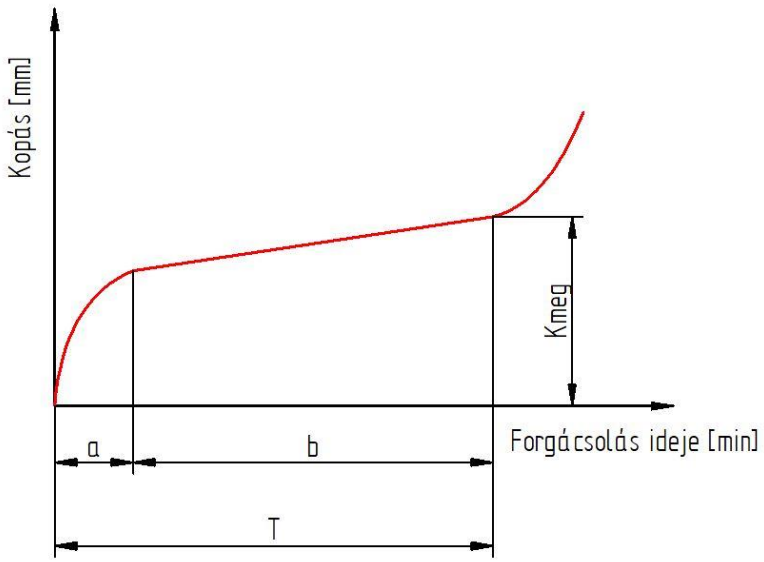
rendelkezzenek. Ezeket a felületeket utólagosan meg lehet munkálni. Az így létrehozott termék árában lehet érvényesíteni az utólagos megmunkálás profittal növelt értékét. Ez mégsem éri el a fent említett gyártástechnológia költségét. A két kerámia és gyártástechnológiája, és a termékek alkalmazhatósága teljesen különbözik egymástól. Tudomásunk szerint a piac hajlandó megfizetni az utólagos megmunkálás költségét, valamint ezzel a technológiával rendelkező vállalkozások szélesíthetik termékskálájukat. A szigorúbb tűrések előírása nem véletlen, hisz a végfelhasználó által gyártott berendezések (pl. égető alagút kemencék) hosszútávon is megbízhatóan működhetnek. Ha a hagyományos eljárással, utólagos megmunkálás nélkül gyártják a műszaki kerámia alkatrészeket, biztosan található lesz benne olyan, amely az előírt pontosságnak megfelel. Ahhoz, hogy ez így legyen, minden egyes terméket ellenőrizni kell, nem elég a mintavételen alapuló ellenőrzés. Ez várhatóan nagy selejtszámmal jár, hiszen a mérés útján nem megfelelőnek minősített alkatrészek a selejt kategóriába kerülnek. Igaz, hogy a fejlesztés eredményeként létrejött technológia alkalmazása szakértelmet kíván, de ez egy nagyobb sorozat esetén, csak a gép beállítására korlátozódik. A művelet egy alacsonyabban képzett munkavállalónak gyorsan betanítható. Ekkor már csak a következő, könnyen elsajátítható mozdulatokat kell alkalmazni: - munkadarab befogása forgácsoló gépbe – védő ajtó behúzása – indító gomb megnyomása – védőajtó kinyitása – munkadarab eltávolítása – munkadarab eltávolítása a befogó szerkezetből. Az indítógomb megnyomása után a gép automatikusan elvégzi a szoftveren keresztül parancsba adott műveletet, a művelet elvégzése után a fő mozgást végző főorsó leáll, a mellékmozgást végző szerszám vagy munkadarab (attól függően, hogy milyen műveletet hajtottunk végre) visszaáll az eredeti helyzetébe. Ezzel olcsó munkaerőt alkalmazhatunk. Tehát az általunk létrehozott K+F eredményt összehasonlítva a már ismert technológiával, kijelenthetjük, hogy a módszerünk egyszerűbb és költséghatékonyabb. Az ismert módszer lényege, hogy az alkalmazni kívánt kerámiaport magas értéken összepréselik. Így jön létre a nagy szilárdságú és keménységű kerámia, melyet forgácsolási technológiához használnak. A nyomásos öntéses eljárás lényege az, hogy a receptúra alapján elkészült kerámiaport összekeverik olvadt viasszal. Ezt a keveréket nyomással egy öntő szerszámba juttatják. A viasz szobahőmérsékleten megszilárdul, és az első zsugorodást követően méret és alaktartó marad. A megszilárdult, viasszal kevert előgyártmányt kemencébe helyezik, ahol felmelegítik anyagtól függően 1000-1700°C-ra. Ekkor a viasz kiég és a kerámia stabilizálódik (kerámiaégetés). Az így elkészült műszaki kerámia termék további megmunkálásra kerülhet.

1.2. A forgácsolás elmélete és szempontjai

Mivel az ipar számára eladható technológia kifejlesztése volt a cél, meg kellett tudnunk, hogy adott termelési célok eléréséhez milyen technológiai paraméterek szükségesek. A két legfontosabb szempont a lehető legjobb eredmények elérése a gazdaságosság illetve a gyártási idők területén. Tehát a minél költséghatékonyabb és ezzel együtt minél gyorsabb termelés elérésére kellett törekednünk.

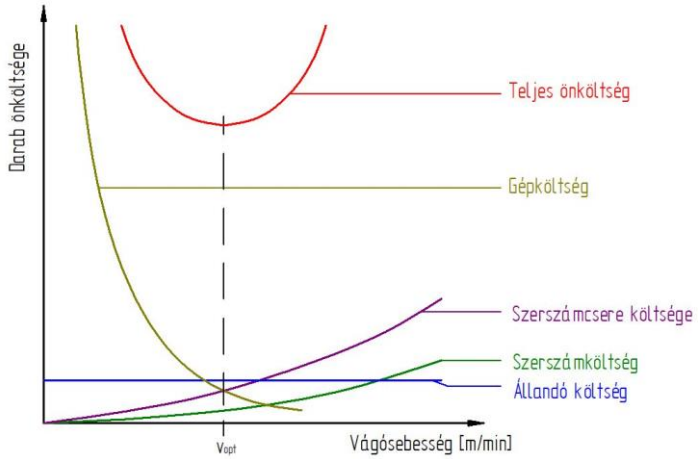
Ezen mutatók vizsgálatához a szerszámok kopását vettük alapul. Forgácsolás során a szerszáméket a forgácsolandó anyagba kényszerítjük. Az első dolog amit láthatunk a munkadarabról leváló forgács. A különféle forgácsolási paraméterek (a: fogásmélység, f: előtolás, v: forgácsolósebesség) változtatása a forgács alakjának megváltozását eredményezi. A munkadarab anyagának szakadását hangképződés kíséri ami vegyül a megterhelt gép zajával. A keletkezett forgács nagymértékű alakításnak következtében felmelegedik. A szerszámnak a forgácsolásban eltöltött idő növekedésével a szerszám kopása tapasztalható. A kopás növekedésével nőnek a forgácsolási erők (ill. nyomatékek, amelyek szerszámtöréshez vezethetnek), a megmunkálás során fellépő rezgések erősödnek, a megmunkált felület minősége (érdessége) romlik, pontossága csökken (a szerszám csúcsának kopása miatt), a munkadarab melegszik és a szerszám élettartama lecsökken.

Az eddigi ismereteinknek megfelelő jellemző kopási folyamatot az alábbi ábra mutatja. Gyors kezdeti bekopás (a) után a kopás egy ideig egyenletesen lassul, végül egy intenzív kopás következik. Az egyenletes szakasz (b) végénél mérhető maximális kopás jelenti a szerszám éltartamának (T) végét. Tovább nem érdemes használni a szerszámot, mert a gyors kopás rontja az újraélezhetőséget és fennáll a szerszámtörés veszélye.



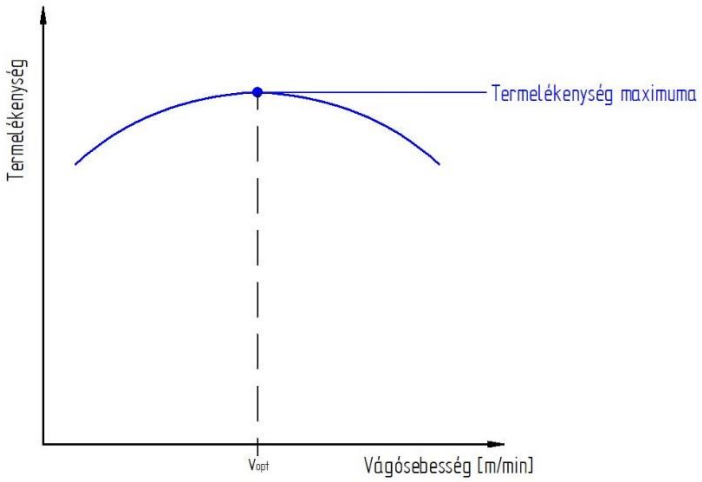
1.2.1. ábra

Forgácsolás során a technológiai paraméterek közül a vágósebesség van legnagyobb koptató hatással a forgácsolószerszámok éleire. Ezt figyelembe véve állapíthatjuk meg a gyártás során felmerülő költségek alakulásának a kimenetelét, ezt szemlélteti a következő ábra. Látható, hogy várható egy olyan optimális vágósebesség mellyel a legtermelékenyebben lehet gyártani az adott alkatrészeket.



1.2.2. ábra

Így megállapítható az is, hogy a vágósebesség nagysága közvetlen hatással van a termelékenységre. A sebesség növelésével növekszik a termelékenység, de megnő a kopás is, mely miatt gyakrabban kell cserélni a szerszámot. Tehát egy sebesség határ felett a gyakoribb csere miatt már csökken a termelékenység. Ez látható az alábbi, 1.2.3. számú ábrán:



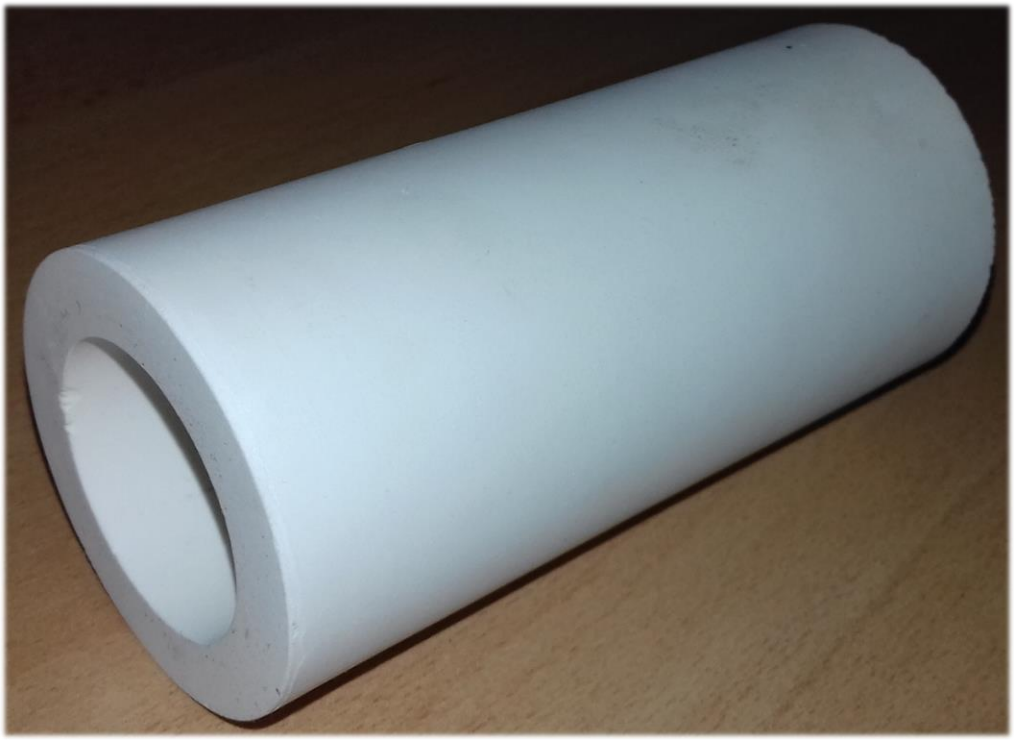
1.2.3. ábra

Ezen összefüggések figyelembevételével alakítottuk ki a kutatás során elvégzendő forgácsolási műveleteket, melyek a következő oldalakon ismertetésre kerülnek.

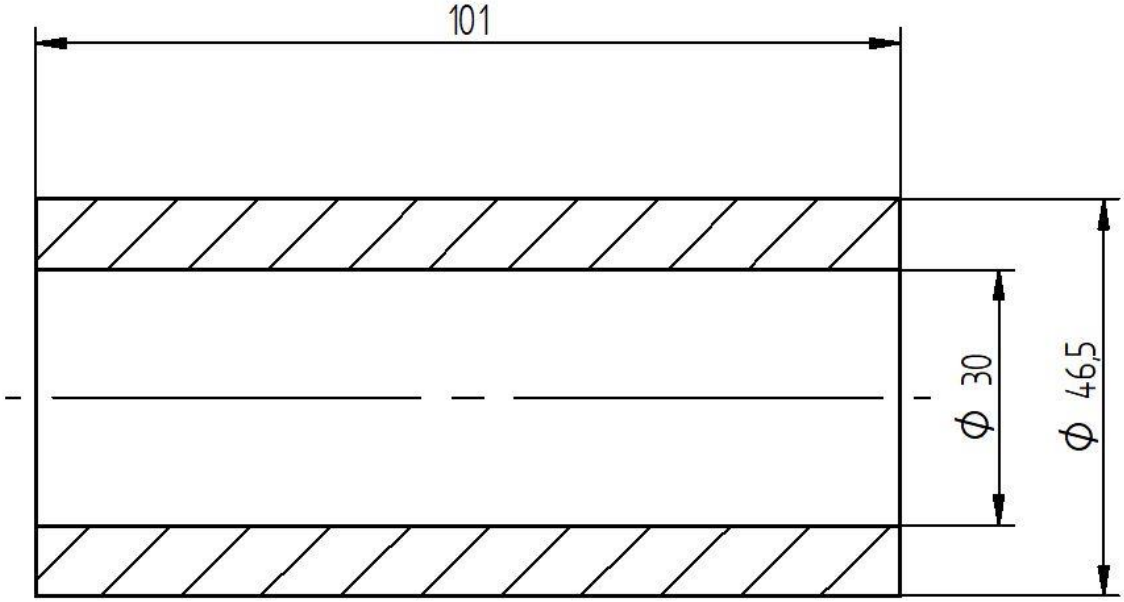
2. Esztergálási kísérletek bemutatása

2.1. Vizsgált munkadarabok

A vizsgált próbatestek (2.2.1. és 2.2.2. ábra) nagy nyomáson végzett precíziós öntéssel készített többféle összetevőből álló, nagy keménységgel és hőállósággal rendelkező munkadarabok. Két, különböző összetételű anyagot vizsgáltunk, melyek forgástest jellegükből adódóan megfelelőek esztergán végzett forgácsolási feladatokra és rendelkeznek a legtöbb olyan műszaki kerámiákra jellemző mechanikai és összetételre vonatkozó tulajdonsággal, melyek segítségével megfelelő információk birtokába tudtunk jutni a tesztek során. A darabokra jellemző anyagtulajdonságok a 2.2.1. és 2.2.2 táblázatban láthatók.



2.2.1. ábra



2.2.2. ábra

2.2.1. táblázat, 1. összetételű munkadarab tulajdonságai

Ásványtani összetétel	**Mullit 95%** **Üveges fázis 5%**
Öntési technológia	Nyomásos öntés
Összetétel [%]	
SiO_2	26-27
Al_2O_3	71-72
Fe_2O_3	0,2-0,3
TiO_2	0,2
CaO	0,3
MgO	0,3
K_2O	0,2
Na_2O	0,4
Hőtágulási együttható (20-1000°C) [x10exp-6/K]	5,2-5,7
Hőállóság nyomás alatt [°C]	min. 1500
Szakítószilárdság 20°C-on [N/mm^2]	70-95
Sűrűség [g/cm^3]	2,45±0,05
Porózusság [%]	20-23
Maximális alkalmazási hőmérséklet [°C]	1500

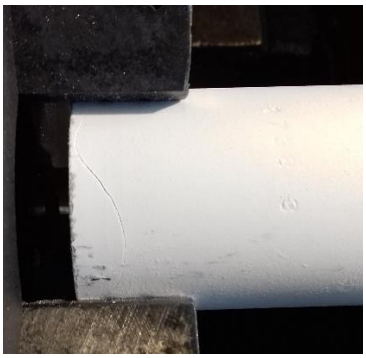
2.2.2. táblázat, 2. összetételű munkadarab tulajdonságai

Ásványtani összetétel	**Mullit**
Öntési technológia	Nyomásos öntés
Összetétel [%]	
SiO_2	38
Al_2O_3	59,2
Fe_2O_3	0,9
TiO_2	0,5
CaO	0,3
MgO	0,5
K_2O	0,4
Na_2O	0,2
Hőtágulási együttható (20-1000°C) [x10exp-6/K]	4,9
Hőállóság nyomás alatt [°C]	1550
Szakítószilárdság 20°C-on [N/mm^2]	32-37
Sűrűség [g/cm^3]	2,0-2,1
Porózusság [%]	30-34
Maximális alkalmazási hőmérséklet [°C]	1450

2.2. Kísérletek kezdő lépései

A forgácsolás megkezdésével elsőként a munkadarabok külső palástfelületén lévő, az öntés során kialakult alakhibát figyelhettük meg és ez fontos tényezője volt annak is, hogy megfogási problémákba ütköztünk. A próbatestek végein változó mértékben, átlagosan 10 mm hosszon 0,1-0,2 mm átmérőnövekedés volt tapasztalható. Emiatt a hengeres felületek befogására kialakított hárompofás esztergatokmány pofáinak szorítóereje nem megfelelően oszlott el mindegyik munkadarab felületén. Emiatt és a kerámia ridegsége miatt a darabok megrepedtek illetve eltörtek.

Az alábbi képeken láthatók a keletkezett repedések és törések.



A tokmány használatával ezeken kívül fellépett másik nem kívánatos jelenség. A szorítópofák fogai benyomódást okoztak az anyag felületén illetve a külső palástfelület éleinél és a homlokfelületen anyagrészek pattantak le a darabról, ezek a következő képeken jól kivehetők:

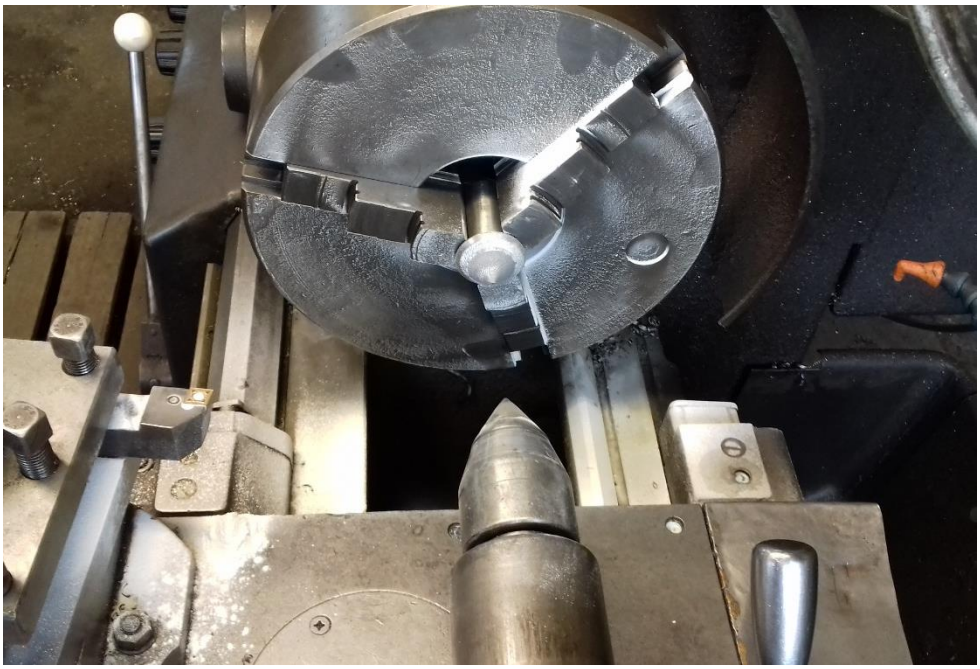
Mindezeket figyelembe véve két csúcs közé fogtuk a megmunkálandó próbadarabokat.

2.2.1. ábra, Próbatest két csúcs közé fogva

Ez a megfogási módszer lényegesen jobbnak bizonyult az előzekben tapasztaltakhoz képest, azonban a forgácsolóerők hatására könnyen megforgott a munkadarab a csúcsokon. Ezért készítettünk egy másik, tokmányba fogható állókúpot melynek kúpfelületét görgős recézőszerszámmal munkáltuk meg. Ez a megoldás jónak bizonyult a későbbi megmunkálások során is.

2.2.2. ábra, Befogás tokmányba fogott recézett állócsúccsal

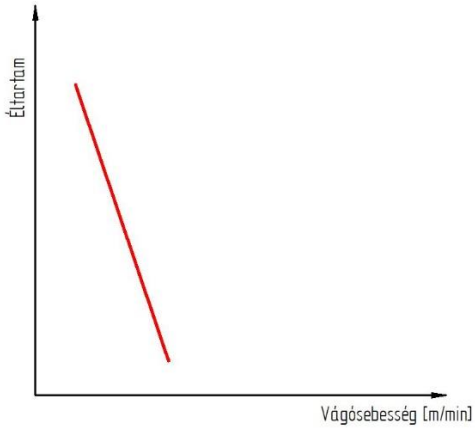
Megmunkálás során feltűnő jelenség a forgácsképződés során kialakult nagy mennyiségű por, mely könnyen lerakódik a szerszámgépre. Megállapítottuk, hogy védőszemüveg és pormaszk használata ajánlott.



2.2.3. ábra, Por lerakódása a szerszámgépre

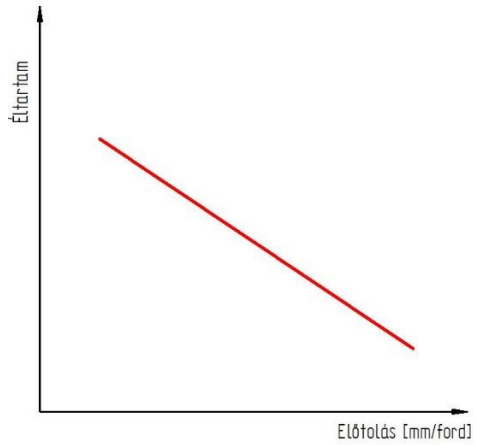
2.3. Kísérletek felépítése

Esztergálási kísérleteink különböző technológiai paraméterek vizsgálatára épültek, különböző szerszámanyagok és eltérő hűtőközegek felhasználásával. A vizsgálatokat keményfém és CBN lapkával végeztük. Tapasztalati úton elért eredményeket felhasználva kijelenthetjük, hogy a forgácsolószerszámok éltartamára a vágósebesség van a legnagyobb (2.3.1. ábra),



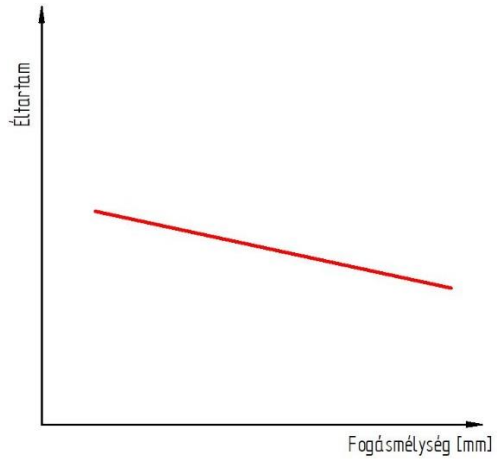
2.3.1. ábra

az előtolás ehhez képest kevésbé (2.3.2. ábra),



2.3.2. ábra

és a fogásmélység a legcsekélyebb koptató hatással (2.3.3. ábra).



2.3.3. ábra

Ennek megfelelően először különböző nagyságú vágósebességeket vizsgáltunk azonos mértékű előtolással és fogásmélységgel. Majd az adott technológiai környezetben az általunk meghatározott célok eléréséhez legoptimálisabbnak bizonyult vágósebességgel különböző előtolás értékeket vizsgáltunk. Végül – az eredmények alapján kiválasztva – az optimális vágósebességgel és előtolással, különböző fogásokkal végeztük a forgácsolást. Minden egyes technológiai paraméterrel 4 munkadarabot munkáltunk meg. Négy élű keményfém lapkát és 3 élű CBN lapkát használtunk, hűtés nélkül, sűrített levegős hűtéssel és emulziós hűtőfolyadékkal. Forgácsolás közben a szerszámtartóba épített forgácsolóerő mérővel mértük az erőket, tapintós hőmérővel a megmunkálás végén a hőmérsékletet. A kész darabokon felületi érdességet és az alkalmazott lapkákon a kopás mértékét mértük. Az

átmérőkülönbségből adódó vágósebesség-változásoktól eltekintettünk a mérések során. A két különböző anyag vizsgálata azonos logikai sorrendben történt.

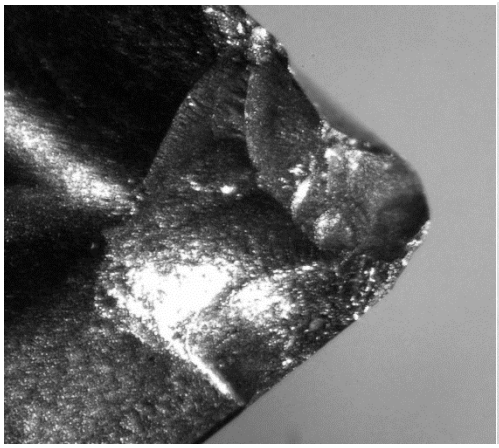
A próbaforgácsolások során tapasztalt por lerakódása a különböző hűtőközegek alkalmazásával eltérően alakult. Szárazforgácsoláskor a por a többi eljáráshoz képest lokalizálódott a forgácsolás helyére, a sűrített levegős módszernél a szerszámgép nagyobb területén rakódott le és a hűtőfolyadék alkalmazásakor a por nagyobb része a folyadékkal elegyedve folyt le a forgácstérbe.

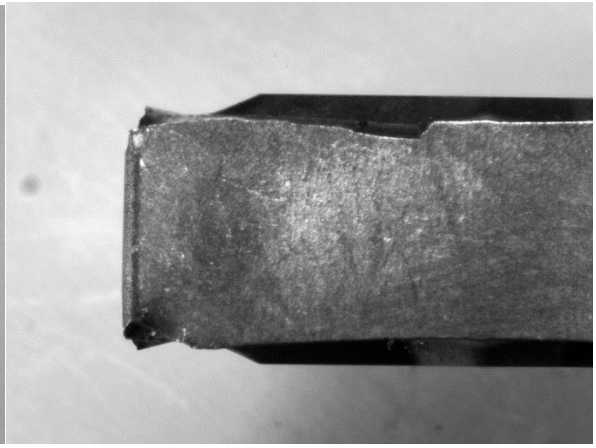
Alkalmazott mérési módszereink:

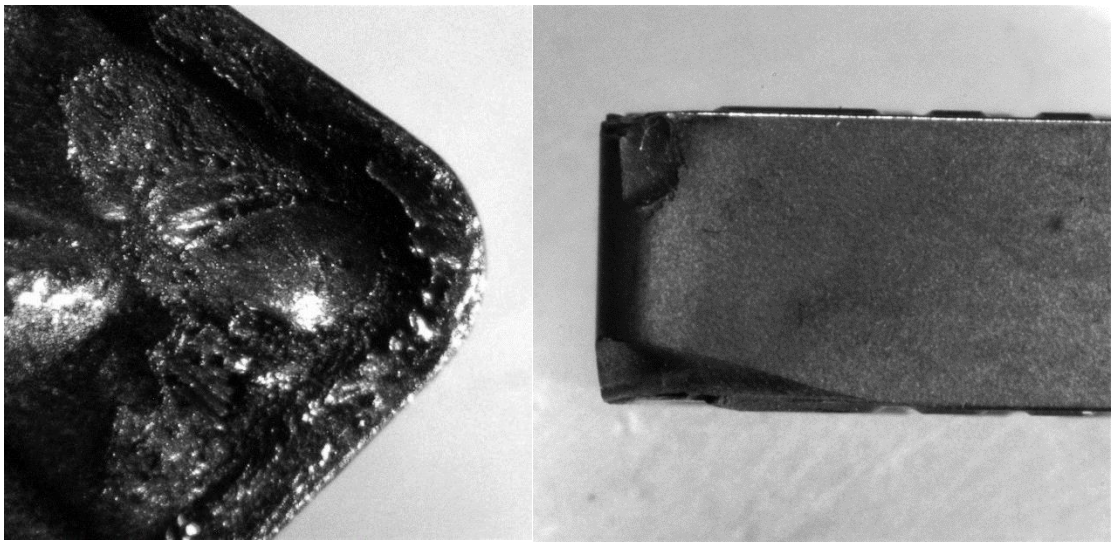
- hőmérsékletek mérve a szerszám homloklapján a csúcs közelében minden fogás végén,
- felületi érdességmérés az utolsó fogás után 3 ponton,
- forgácsolóerők mérése az utolsó fogásban,
- és az összes munkadarab egymáshoz viszonyított értékei (hőmérséklet az utolsó fogásban és átlagos felületi érdességek).

Mikroszkopikus képek jellegzetes lapka kopásokról:

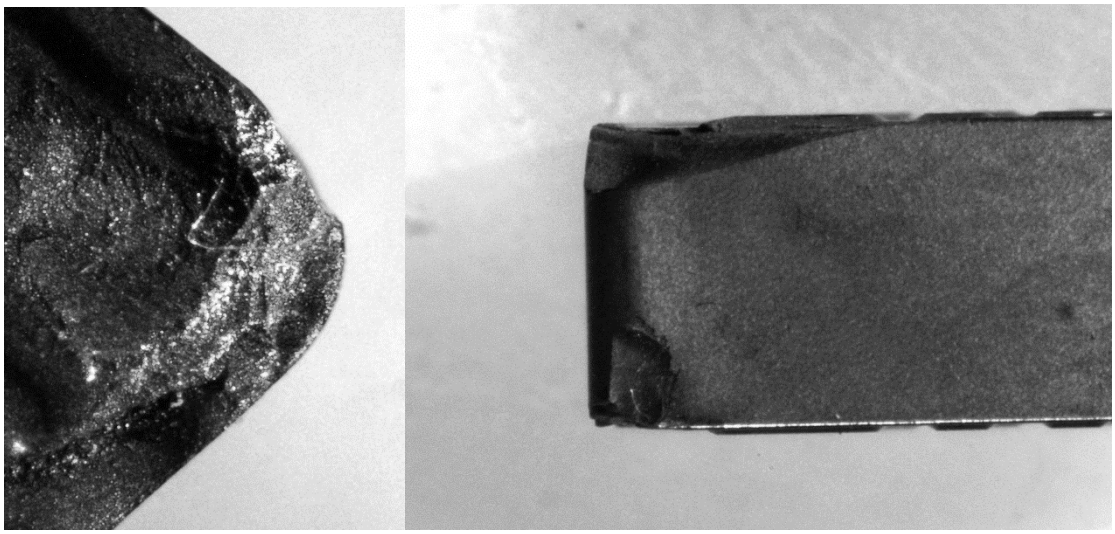
- szárazforgácsolás,

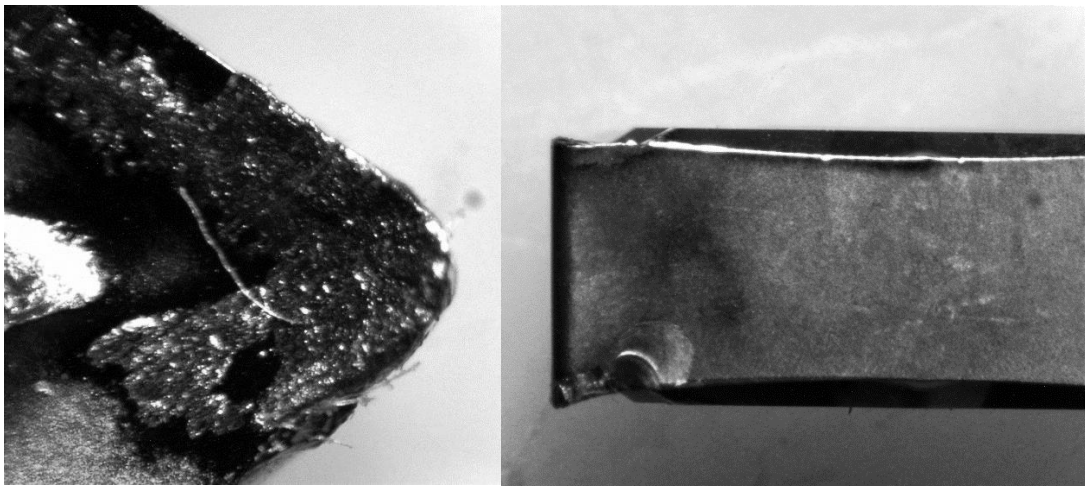




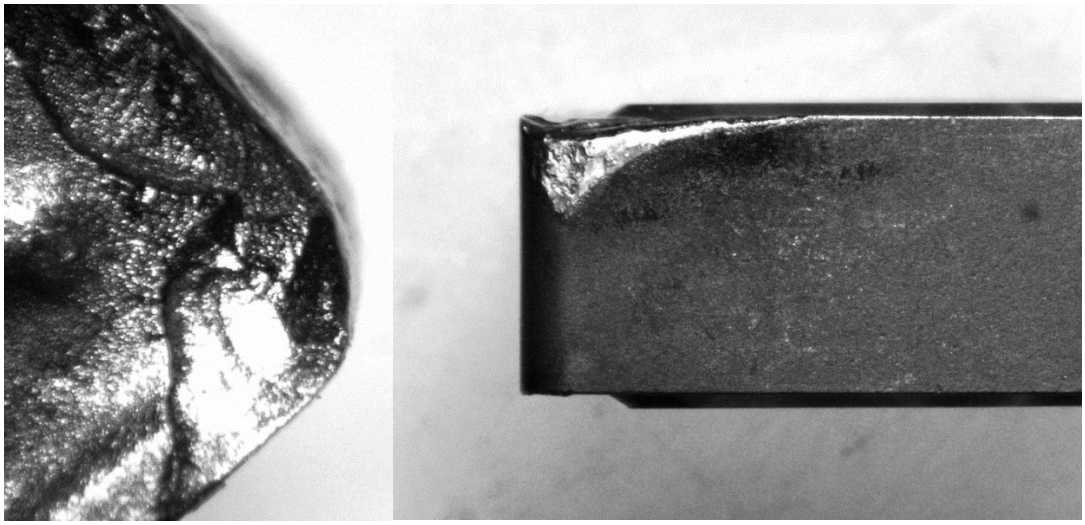


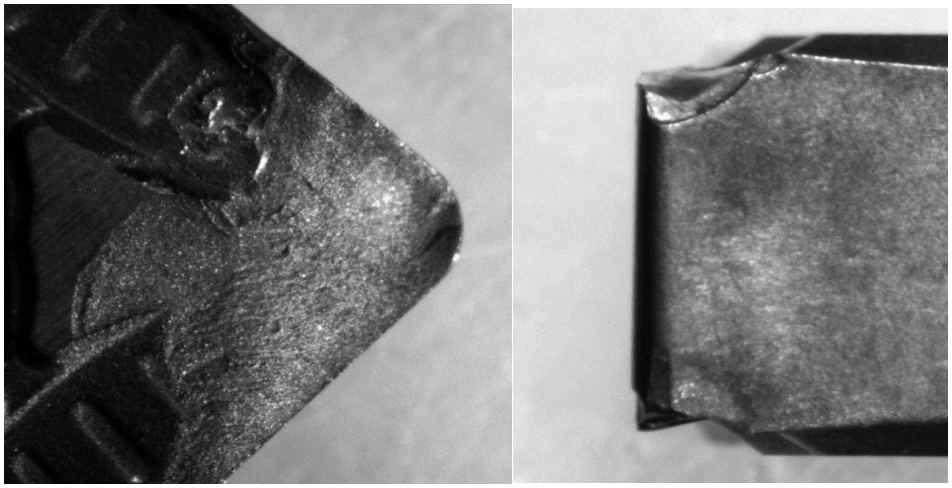
- sűrített levegős hűtéssel végzett,



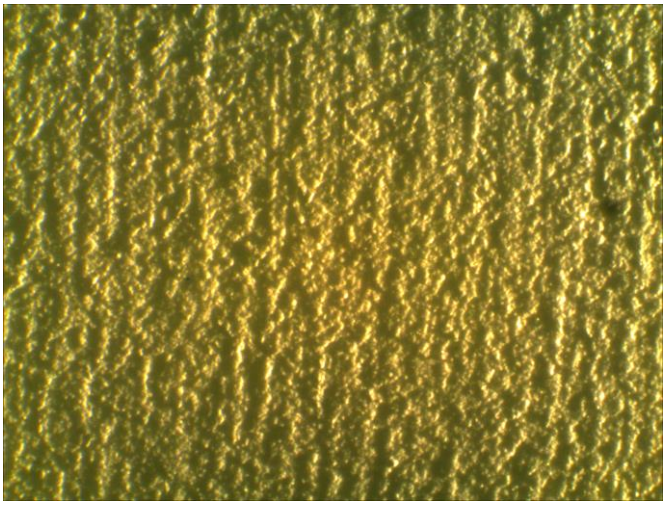


- és folyadékhűtéssel végzett forgácsolás során





Mikroszkopikus felvétel forgácsolt munkadarab felületéről:



3. Eredmények

A nagy számú vizsgálat által a különféle anyagok forgácsolásához kellő tapasztalatot szereztünk a megfelelő technológiai paraméterek meghatározásához a műszaki kerámiák utólagos megmunkálásának területén.

Ezen szakmai eredményeket felhasználtuk egy 3 tengelyes prototípus CNC marógép gyártásához. Ezzel a géppel a legkülönfélébb alkatrészek is megmunkálhatóak, hiszen egyenes vonalak és szabályos illetve görbe vonalak mentén mozgathatók a vízszintes tengelyek. Ezt kiegészítve a Z tengellyel történő egyidejű vezérléssel különböző méretű alakos felületek munkálhatók meg egy alkatrészen.

4. Konklúzió

Vizsgálataink során megbizonyosodhattunk arról, hogy a szerszámok éltartama illetve a termelékenységi mutatók a már ismert módon változtak (az általunk vizsgált) műszaki kerámiák esetében is. A különböző hűtési módok és a szerszámanyagok esetében is elmondhatók ezek az összefüggések. Azonban az eltérő költségvetésű illetve sorozatnagyságú termeléseknél fontos lehet megállapítani a feladathoz éppen megfelelő technológiát.

Szárazforgácsolási eljárást a kisebb költségvetésű termelésekhez ajánljuk. A sűrített levegős illetve folyadék hűtéssel végzett forgácsolás között többször tapasztaltunk egymáshoz közeli értékeket (ez főként a felületi érdesség értékeinél jelentős, a forgácsleválasztás és annak eltávolítási módja miatt), azonban a folyadékhűtés hosszabb távon jobb mérési adatokat mutatott. Szerszámanyagok tekintetében a gyémánt anyagú lapkák egyértelműen jobbnak bizonyultak a köbös bór-nitrid lapkáktól. Megfigyelhettük, hogy átlagos 50%-kal nagyobb szakítószilárdság 10-20% körüli éltartam csökkenést eredményezett.

Olyan alkatrészeknél ahol a kész munkadarab kívánt tűrése várhatóan nem valósul meg a gyártás technológiája miatt, fontos lehet az általunk vizsgált forgácsolási tapasztalatok alkalmazása.

Bővebb információért a technológiával illetve a prototípus megmunkálógéppel kapcsolatban látogasson el weboldalunkra: http://solditech.hu/kapcsolat/

Szeged, 2019.07.31.