

SZINTAKTIKUS FÉM HABOK MARÁSSAL MEGMUNKÁLT FELÜLETI STRUKTÚRÁJÁNAK ELEMZÉSE

Szalóki István¹, Sipos Sándor² és Viharos Zsolt János³

¹ Budapesti Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és –technológia
Tanszék

² Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- és
Gyártástudományi Intézet, Gyártástechnológiai Intézeti Tanszék

³ Magyar Tudományos Akadémia, Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

Absztrakt. Az autó- és repülőgépiparban elsősorban a tömegcsökkentés, a kedvező mechanikai tulajdonságok, a megfelelő szilárdság és hőállóság, valamint a műszaki szempontból egyre kritikusabb környezeti hatások új, speciális tulajdonságú anyagok kifejlesztésére ösztönzik a mérnököket. Kutatásaink fémkompozit alapanyagának mátrixa AlMgSi1 típusú alumíniumötvözet, amely 50-55 térfogatszázalékban tartalmaz 100 µm és 150 µm átlagos átmérőjű Al₂O₃ szemcséket. A forgácsolást követően az ilyen nagyméretű szemcséket tartalmazó anyag felülete nyitott üregekkel tagolt, ezért a felületi struktúra leírására és jellemzésére más módszereket kell alkalmazni, mint a homogén szerkezetű acél vagy alumínium alkatrészére. Cikkünkben a kísérletekhez gyártott fémkompozit anyagminőségek sarokmarással megmunkált felületének mikrogeometriai tulajdonságait elemezzük és kiválasztjuk azokat a mérőszámokat, amelyek az előállított felület egzakt kiértékelésére alkalmasak.

Kulcsszavak: fémkompozitok, erősítőfázis, féminfiltráció, gyémántbevonat, ferdeségi- és lapultsági mérőszámok, hordfelületi görbe, magparaméterek

Bevezetés

A piaci igények kielégítése érdekében a mesterségesen előállított kompozit anyagok felhasználása a jövőben várhatóan meg fog tízszeresedni [1] [2] [3]. Ezt a prognózist elsősorban azok az elvárások támasztják alá, amelyek a különböző alapanyagú kompozitok különlegesen előnyös tulajdonságaira vezethetők vissza. Az egyre újabb fémkompozitok kifejlesztésének elsődleges célja a mechanikai szilárdság növelése, a

súrlódás és kopási ellenállás kedvezőbbé tétele, a termikus tágulás/stabilitás befolyásolása, illetve a súlycsökkentés az alacsony sűrűség megőrzése révén [4].

Az ISO-szerinti anyagminőségek hatos csoportja (P, M, K, N, S, H) most egy új taggal bővült: a kompozit anyagokat (MMC, PMC, IMC) ezután a „C” csoportba soroljuk. Az ilyen anyagból készült alkatrészek megmunkálása a szerszámgyártók számára nagy kihívásokat jelent, de egyben új lehetőségeket is teremt. A kompozit anyagok forgácsolása nem csak a szerszámél-geometriát és a szerszámanyagot illetően igényel új megközelítést, hanem a szerszám által megmunkált felület minőségének (érdesség, hullámosság, rétegtulajdonságok) értelmezésében, sőt, az alkatrészek működő felületeinek minősítésében is. A fémkompozit anyagok alapmátrixai (Al, Cu stb.) általában nagyon lágyak, az erősítő fázisait viszont nagy keménységű, abrazív anyagok (Al_2O_3 , SiC) alkotják. Ez utóbbiak ezért jobban koptatják a hagyományos marószerszámokat és a forgácsolási hőmérséklet is növekszik a megmunkáláskor. A felület szempontjából ez viszont azt jelenti, hogy a hődilatáció, a mikroszerkezeti átalakulás és a forgácsolóerők okozta jelentős mértékű mechanikai behatás miatt megváltozik a felület minősége. A megmunkált felület érdességénél inkább a szerszám extrém gyors elhasználódása a meghatározó, ugyanis a kopás előrehaladtával az érdesség folyamatosan módosul, gyakran ingadozik, tendenciáját tekintve azonban többnyire romlik.

1 A marási kísérletek anyagai és körülményei

A kompozit olyan többfázisú anyag, amely alapanyagból (beágyazó, befoglaló, ún. mátrix) és második (szerkezeti anyagok esetén nagy szilárdságú és nagy rugalmassági modulusú erősítő) fázisból áll. A kompozit komplex tulajdonságait adó egyik összetevő tehát kisebb szilárdságú alapanyag, míg a másik, a teherviselő, nagy szilárdságú komponens. Ez utóbbi lehet folytonos vagy szemcsés anyagú, amelynek (különböző előállítási technológiákat alkalmazva) két fontos feladata van: egyrészt kötést hozzon létre a mátrix anyaggal, másrészt betöltse a terhelésközvetítés szerepét. Csak abban az esetben képes a két komponens a magas szintű mechanikai igénybevételnek ellenállni, ha közöttük tartósan fennmaradó, erős (adhéziós) kapcsolat van. Általánosan elmondható, hogy a kompozitok tulajdonságait az említett két összetevő minősége, szerkezete, az erősítő fázis morfológiája (alakja) és az alkotóelemek közötti határfelület határozza meg [5].

1.1 Kísérleti alapanyagok

A kísérletek alapanyagait a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék Fémes Kompozitok Laboratóriumában gyártották, mégpedig nagy nyomású, infiltrációs (átítatásos) eljárással. Az eljárás lényege, hogy az olvadt fémet (vákuum alatt) nagy nyomással (kb. 36 bar) juttatják be a porózus előformába. Ezen eljárás nagy előnye, hogy a gyártott termék a végső geometriai formájához közeli („net-shape”), ezért viszonylag kevés, de meghatározó minőségű utólagos megmunkálást igényel [5]. Ezen utómunkát a forgácsolás különböző eljárásai (fűrészelés, vízsugaras vágás, marás stb.) jelentik.

A 1. táblázatban az általunk megmunkált kétféle szintaktikus fémhab (speciális részecskerősítésű kompozit), illetve alapanyaguk (mátrix) tulajdonságait foglaljuk össze.

1. táblázat Részecskerősített kísérleti kompozit anyagok tulajdonságai [9] [10] [11]

Mátrix anyag		AlMgSi1 (ASM ekvivalens: Al6061)				
Főbb összetevők, tömeg%	Al	Si	Mg	Cu	Sűrűség, g/cm ³	Szakítószilárdság
	97	1	1,2	0,3	2,70	310 (UTS T6)
Szintaktikus fémhabok		AMSF-SL150		AMSF-SL300		
Erősítő típusa		SL150		SL300		
Erősítő kémiai összetétele (mindkét erősítőre vonatkozik)		tömeg% 55-65 SiO ₂ tömeg% 30-36 Al ₂ O ₃		tömeg% 1-2 Fe ₂ O ₃ tömeg% 0,5-1 TiO ₂		
Erősítő átlagos mérete, μm		100		150		
Erősítő mérettartománya, μm		56-183		101-330		
Mikrogömbhéj térfogatszázalék, V%		50,9		48,2		
Average density of AMC, g/cm ³		1,42		1,51		

1.2 Sarokmarási kísérlet célja, körülményei

Tanulmányunk elsődleges célja a kísérletekhez gyártott szintaktikus fémhabok (AMSF (alumin(i)um matrix syntactic foam)) sarokmarással megmunkált felületeinek elemzése volt. A forgácsolt felületek mikrogeometriája olyan jellegzetességeket mutatott, hogy további vizsgálatokat tartottunk szükségesnek. A tanulmány célja volt az is, hogy olyan mérőszámokkal jellemezzük a mart felületi struktúrákat, amelyek alkalmasak az előállított felület egzakt kiértékelésére és valamelyest utalnak a felület későbbi működési viselkedésére is.

A forgácsolási kísérleteket a Bánki Gépészmérnöki Kar Műhelyében telepített, elsősorban kutatási célokat szolgáló MAZAK Nexus 410A megmunkálóközponton (vezérlés: Mazatrol™), hűtött-sűrített levegőt fúvó berendezést (CAG™) felhasználva hajtottuk végre. A CAG-fúvókák beállításakor elsődleges cél a szerszám éléhez közeli, ún. forgácsolási zóna aktív hűtése volt. A szemcsés fémhabok forgácsolásakor elengedhetetlen (egészségmegőrzési) követelmény a keletkező porszerű képződmény (azaz a nagyon apró forgácslemek) elszívása. Ezt is a CAG-gal értük el, amely az elszívóberendezés szívócsonkjába juttatta a leválasztott anyagot.

A forgácsolást Fraisa gyártmányú, 12 mm átmérőjű, háromélű, gyémánt bevonatos, tömör keményfém szármaróval (jelölés: B5640501) végeztük, melynek forgácsolás előtti állapotát sztereomikroszkóppal ellenőriztük. Előkísérletek tapasztalatai alapján [6] [7] a fogásmélységek érdességet befolyásoló szerepe jelentéktelen. Ezért mindkét szintaktikus fémhab sarokmarásakor az axiális fogásmélységet (a_p , mm) és a radiális fogásszélességet (a_e , mm) állandó értéken tartottuk. A két változó tényező a forgácsolósebesség (v_c , m/min) és a fogankénti előtolás (f_z , mm) volt. Az előbbit három, az utóbbit pedig öt variációs szinten kombináltuk (2. táblázat). A 15 kísérleti beállítást véletlenszerű sorrendben hajtottuk végre, anyagonként a vizsgálatot új állapotú szerszámmal kezdtük.

2. táblázat Marás körülményei, a teljes faktoriális kísérletterv bemenő paraméterei és szintjei

<i>Állandó marási adatok</i>						
Axiális fogásmélység	Radiális fogásszélesség	Marási úthossz	Hűtés	Szerszám-befogás	Radiális szerszámütés	
$a_p = 6$ mm	$a_e = 2$ mm	$l_w = 70$ mm	CAG™	Hidegzugor	3-5 μ m	
<i>Változó marási adatok</i>						
<i>Anyagminőség</i>	Szintek	1	2	3	4	5
<i>AMSF-SL150</i>	v_c, m/min	100	200	300		
<i>AMSF-SL300</i>	f_z, mm	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14
<i>AlMgSi1</i>	v_c, m/min	400				
	f_z, mm	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14

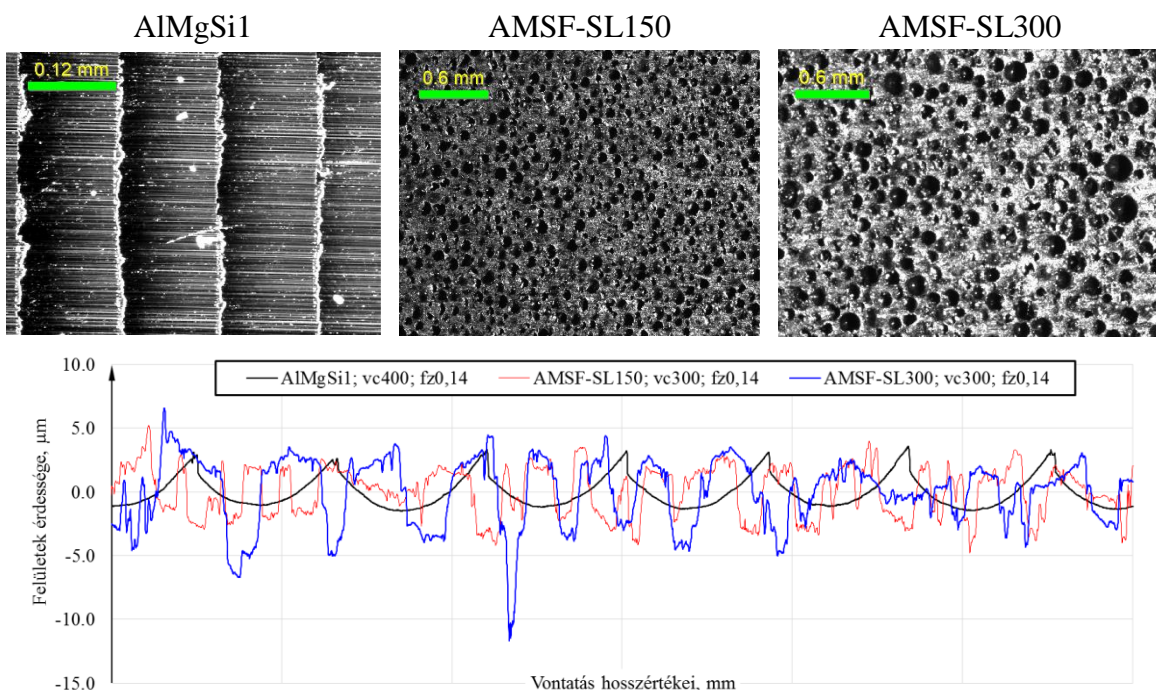
A táblázat szerint a fémhabokat a $100 \leq v_c$, m/min ≤ 300 sebességtartományban és az $0,06 \leq f_z$, mm $\leq 0,14$ fogankénti előtolásoknál vizsgáltuk. Az AlMgSi1 alumíniumötvözetnél (mátrix anyag) növelt ($v_c=400$ m/min) forgácsolósebességet állítottunk be az élrátét elkerülése érdekében, a fogankénti előtolást azonban ugyanazokon a szinteken tartottuk. A mátrix anyagminőség marására azért került sor,

hogy könnyebben összehasonlíthassuk a mátrix és a habok megmunkált felületeinek struktúráját egymással.

A felületvizsgálatot a Mahr-Perthen Perthometer PRK Concept-2D, 3D felületvizsgáló nagyműszeren végeztük, a méréshez Mahr-gyártmányú, 90° -os kúpszögű, $2\ \mu\text{m}$ csúcssugarú tapintót használtunk. A felületek érdességmérését a következő beállításokkal végeztük: alkalmazott vontatási hossz (L_t) $5,60\ \text{mm}$, a szűrési határhullámhossz (cut-off) $L_c = 0,8\ \text{mm}$, a kiértékelési szakasz (L_m) $4,00\ \text{mm}$, a beállított vontatási sebesség pedig $0,10\ \text{mm/s}$. A méréseket a sarokmart oldalfelületen geometriailag azonos pozícióban és irányból végeztük, 10 ; 30 és $50\ \text{mm}$ -re a belépési felülettől. Cikkünkben ezen három mérésből átlagolt eredményeket és/vagy a nyers adatait közöljük.

2 Szintaktikus fémhabok mart felületeinek leírása érdességtani paraméterekkel

Az acélok forgácsolt felületeinek leírására jól bevált és megszokott paramétersor áll rendelkezésünkre [8]. A szintaktikus fémhabok (Aluminium Matrix Syntactic Foams, ASMF) forgácsolt felületeinek jellemzését azonban más szemlélettel kell megközelíteni, hogy valóban eredményes és egzakt legyen a felületstruktúra leírása (1. ábra).

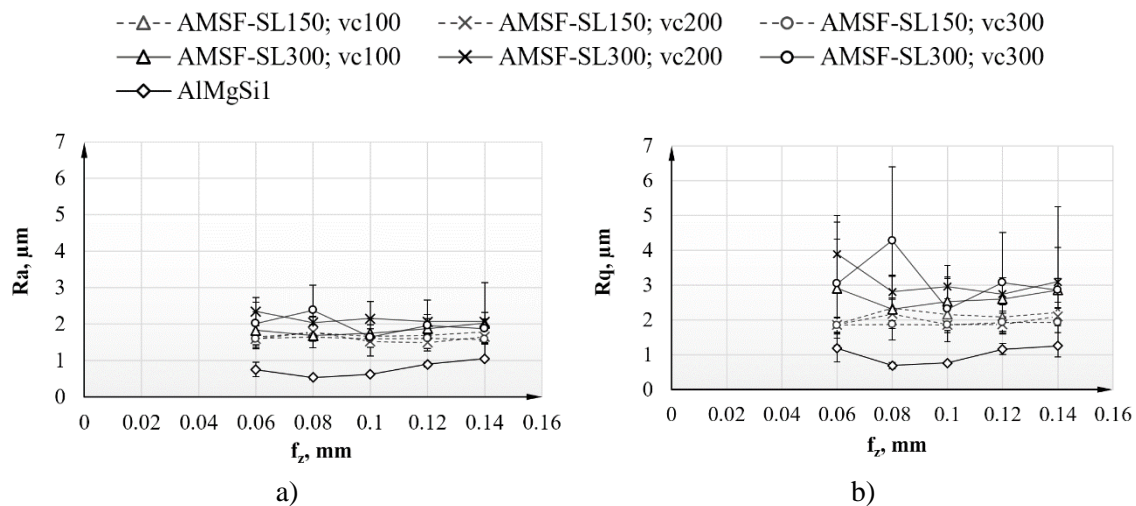


1. ábra Az AlMgSi1 alumíniumötvözet és az AMSF szintaktikus fémhabok mart felületeinek jellege

Cikkünkben sorra vesszük azokat a szokásos érdességi jellemzőket, amelyeket elterjedten használ az ipar. Mérési adatainkra támaszkodva bemutatjuk az egyes paraméterek alakulását és elemezzük alkalmazhatóságuk mértékét. Külön kitérünk a megmunkált felület magasság- és hosszirányú paramétereire, csakúgy, mint a formai és hibrid jellemzőire.

2.1 Átlagos érdesség és négyzetes középérték paraméterek

A felület magasságirányú jellemzését szolgáló átlagos érdesség (R_a) – homogén szerkezetű, konvencionális anyagok megmunkálásakor – általában jól jellemzi a 2D-s felület simaságát. Az R_a értékének módosulása a gyártási folyamatban bekövetkezett változást jelzi, mint például szerszámkopást, rezgések megjelenését stb. Fontos látni azonban, hogy ezen paraméter nem tesz különbséget a profil „völgyei” és „csúcsai” között, ez pedig – különösen a nagy szemcséket tartalmazó anyagoknál (ezekhez tartozik az általunk vizsgált AMSF) – jelentős torzítást visz a felület értékelésébe. Két azonos átlagos érdességi mérőszámmal rendelkező felület között jelentős működés közbeni eltérés lehet: az R_a ugyanis sem a profil hosszirányú alakulásáról (ún. spacing parameters), sem pedig a középvonal körüli eloszlásáról nem ad felvilágosítást. Mindezen információk azonban elengedhetetlenek az érintkezési, kopási és kenési tulajdonságok pontos megismerése szempontjából, mert ezekből a felület jövőbeni működési sajátosságaira lehet következtetni [12].



2. ábra Mért átlagos érdesség és négyzetes középérték értékek

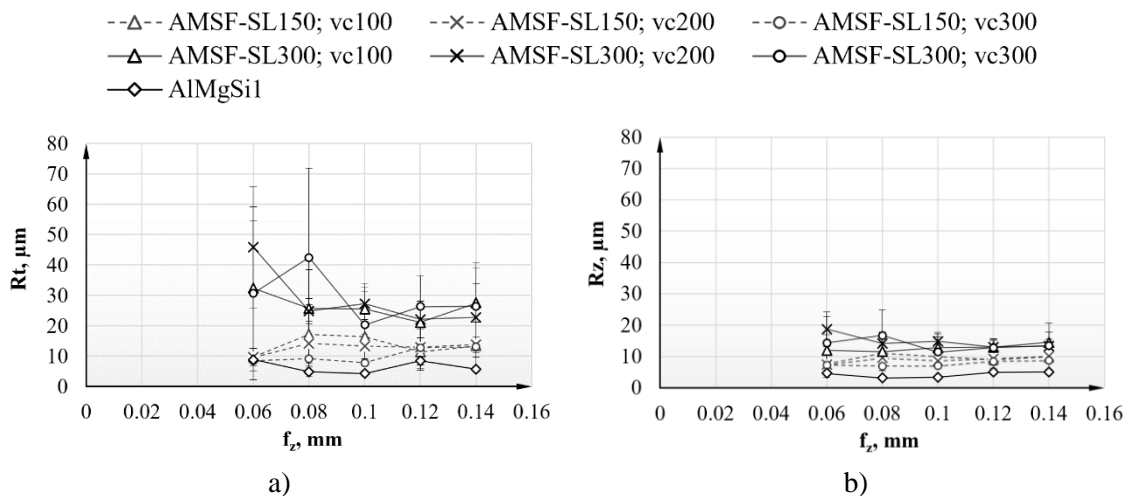
Az R_q négyzetes középérték tartalma hasonló az átlagos érdességéhez, azonban minden magasságirányú eltérést négyzetesen kell figyelembe venni. Ennek következtében az R_q

paraméter jóval érzékenyebb a felületen lévő változásokra (kiugrások, bemélyedések), azaz felerősíti azokat [12].

A 2. ábrán látható, hogy a kompozit habok mart felületein mért Ra értékek több mint kétszer akkora, mint a mátrix anyag forgácsolásakor mértek. Az Rq esetében pedig nem ritkák a háromszoros eltérések sem, mert a mély árkok megjelenése a profilon valóban felerősíti a mérőszám értékét.

2.2 Maximális egyenetlenség és egyenetlenség-magasság paraméterek

Jóllehet a hazai gyakorlatban általános az átlagos érdesség (Ra) használata, és ez a különböző mérési szakaszokon közel állandó is maradhat, azonban elfedi a felületi profilok közötti jellegzetes különbözőséget. Könnyen előfordulhat tehát, hogy egy mért felület azonos átlagos érdességétől az Rt – maximális egyenetlenség és az Rz – érdességmagasság paraméterek nagyban eltérnek [13]. A kiugró érdességvölgyekkel nagymértékben tagolt AMSF forgácsolt felületein ez fokozottan igaz (3. ábra).



3. ábra Mért maximális egyenetlenség és egyenetlenség-magasság értékek

Az átlagolt adatokhoz képest az Rt és Rz paraméterek jóval több információt adnak a mély árkokkal tagolt felületről, kiértékelésükkel sokkal közelebb kerülhetünk a valós struktúrához. Az Rt mérőszám a kiértékelési hosszban mért legmélyebb völgy és legnagyobb csúcs távolságát jelenti, ami teljes mértékben attól függ, hogyan helyezkednek el a tapintótű vontatási irányában a mátrix anyag részecskéi és a szemcsék a mart felületen. A 3/a. ábrán egyértelműen látható, hogy az Rt paraméter –

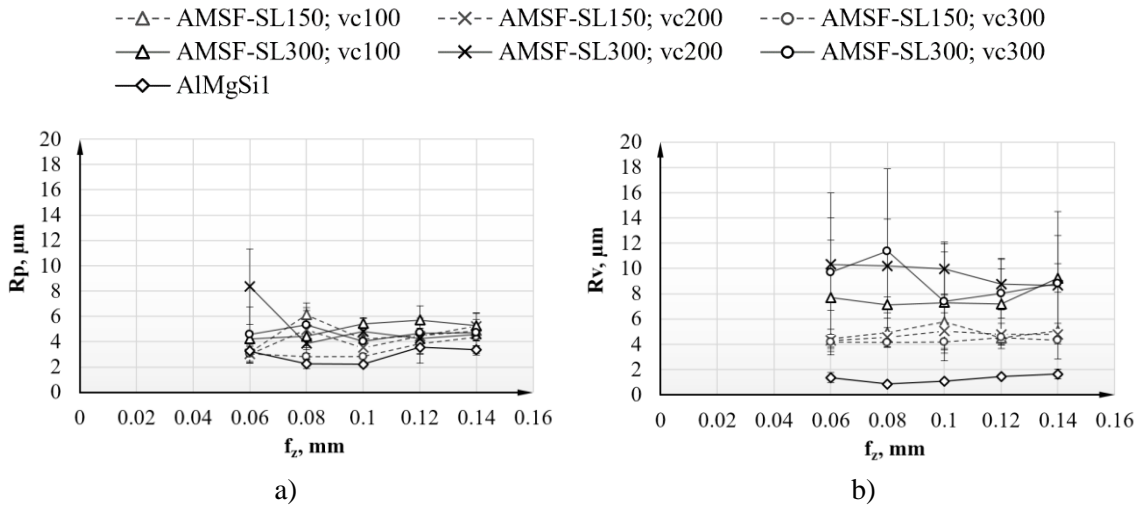
kiváltképpen kis (0,06 és 0,08 mm) fogankénti előtolásokon – igen nagy szórást mutat, ami egyrészt arra enged következtetni, hogy a szintaktikus fémhabok felülete sok hibával (árokkaal és/vagy hiányzó anyagrészekkel) tagolt, üreges szerkezetű. Másrészt arra is felvilágosítással szolgál, milyen körülmények között vágja át éppen a szemcséket a szerszám éle, illetve, milyen módon keni be a mátrix lágyabb anyagát a kifordított/átvágott szemcsék árkaiba. Ez természetesen teljesen véletlenszerű és nagyrészt a forgácsolási paraméterek függvénye. Az R_t maximális egyenetlenség mérőszám tehát olyan alkatrészek jellemzésére szolgál, ahol a felületen megjelenő egyedi hibák (kiugró értékek) nagy jelentőségűek [14]. A 3/b. ábrán (az alkalmazott skálaértékeknél!) az R_z értékek eltörpülnek az R_t adatai mellett. Az R_z számításakor az érdességi profil kiértékelési hosszán 5 alaphosszt definiál (egyetlen alaphossz $L_c=0,8$ mm), majd az algoritmus mindegyikre megkeresi a legnagyobb völgy-csúcs távolságot (azaz a felület magasságirányú lokális szélsőértékeit), majd ezek átlagából adódik az R_z értéke. Bár az egyenetlenség magasság paraméterét egyre elterjedtebben használják az autó- és repülőgépgyártók beszállítói szegmensében, illetve a formaszerszámgyártásban, univerzális használatát megnehezíti az a körülmény, hogy R_{zISO} , R_z („ten-point height”) és R_{3z} (ISO) is létezik egyszerre.

2.3 Profil max. csúcsmagassága (R_p) és völgymélysége (R_v)

Az alaphosszon értelmezett legmagasabb csúcs koordinátáiból a kiértékelési hosszön átlagolva kapjuk a profil maximális csúcsmagasságát (R_p). Hasonló módon határozható meg a maximális völgymélység (R_v) paramétere is [14]. Mérési eredményeinket a 4. ábrán összegezzük.

A csúcsmagasság-értékek (R_p) eredményeiből (4/a. ábra) megállapítható, hogy a mátrix alumínium forgácsolásakor mindegyik előtoláson a legkisebbek (2-3 μm), mindez kicsiny, néhány tized mikronos szórás mellett. A fémkompozitok esetében az R_p értékek „összemosódnak”, ezek alapján nem lehet különbséget tenni a két anyagminőség között.

A 4/b. ábra az egyes beállításokon mért R_v maximális völgymélységeket szemlélteti. Az ábrából jól látszik, hogy a homogén szerkezetű mátrix anyagnál a völgyek egységes mélységűek, a mért adatok szórása pedig elhanyagolhatóan kicsi. A két fémhab anyagminőség viszont jól elkülöníthető egymástól: az R_v paraméter az AMSF-SL150 jelű fémkompozitnál körülbelül a 3 és 6 μm -es sávba esik (igen kis szóródással), az AMSF-SL300 esetében pedig a 6 és 12 (szórással együtt 18) μm -es tartományban változik. A nagyobb szemcseméretű anyagnál megjelenő nagy szórásértékek a forgácsolást követően megmaradt felület lyukacsosságára, azaz sok mélyebb völgyre utalnak.



4. ábra Mért maximális csúcsmagasság és völgymélység értékek

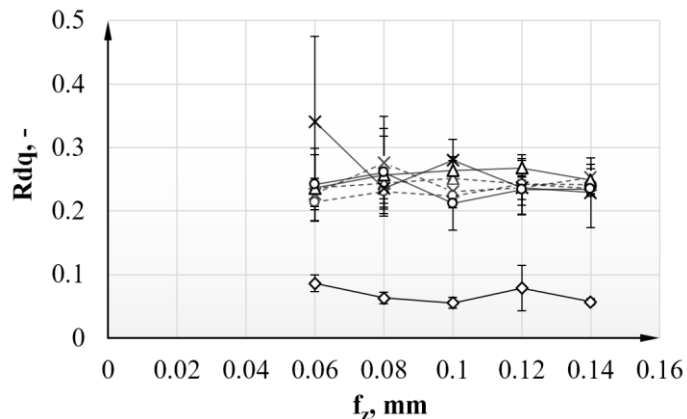
Összefoglalóan megállapítható az, hogy profil magasságyirányú eltéréseinek paraméterei, mint az átlagos érdesség (R_a), a négyzetes középérték (R_q), a maximális egyenetlenség (R_t), az érdességmagasság vagy egyenetlenség-magasság (R_z), a maximális csúcsmagasság (R_p) és maximális völgymélység (R_v) mérőszámok az üreges szerkezetű kompozit anyagoknál – bár hordoznak lényeges információkat - de önmagukban semmiképpen sem tekinthetők korrekt mutatószámoknak.

2.4 A profil hajlásának négyzetes középértéke (R_{dq})

Az R_{dq} a hibrid paraméterekhez sorolandó és az érdességi profil hegyeinek és völgyeinek átlagos lejtését adja meg. Tehát egy olyan geometriai sajátosságot ír le, amely a profil amplitudófüggetlen jellemzésére alkalmas, értéke pedig az egymást követő profilelemek elhelyezkedésének komplexitására utal.

Az 5. ábra az AlMgSi1 alumínium mátrix anyag és a kétféle fémhab esetén mért, jelentősen eltérő R_{dq} értékek láthatók. Amíg az alumíniumötvözet mátrix rendre 0,1 alatti átlagos lejtést ér el, addig a fémhabok – a szemcsemérettől függetlenül – ennek legalább a kétszeres értékeit mutatják. Ez a jellemző ugyan egyértelműen mutatja az alumíniumanyag és a fémhabok profiljai közötti jelentős mikrogeometriai eltérést, de csekély mértékben függ az alkalmazott fogankénti előtolástól.

--△-- AMSF-SL150; vc100 --x-- AMSF-SL150; vc200 --o-- AMSF-SL150; vc300
 --▲-- AMSF-SL300; vc100 --x-- AMSF-SL300; vc200 --o-- AMSF-SL300; vc300
 --◇-- AlMgSi1



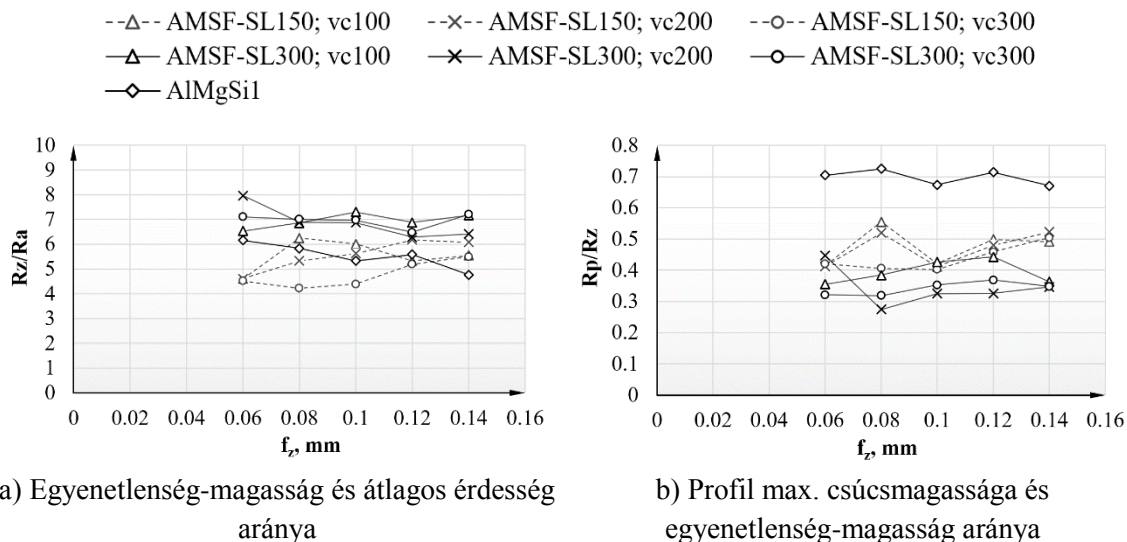
5. ábra Profil hajlásának mért négyzetes középértékei

2.5 A mart felület leírása a paraméterek arányszámaival

A műszaki gyakorlatban elterjedt átszámítás szerint az egyenetlenség-magasság (R_z) négyszer nagyobb, mint az R_a . Hosszú évek méréseinek kiértékelése és a tapasztalatok azt mutatják (és erre a publikált szakirodalmakban [12] [15] utalunk), hogy a szorzótényező értéke – eljárástól függően – nem feltétlenül négy, hanem attól eltérő, mégpedig többnyire nagyobb szám. A fémhabok esetén az R_z/R_a aránypár négy és nyolc közé esik (6/a. ábra). Jelen cikkünk korábbi megállapítása az volt, hogy a fémhabok üreges felületi struktúráján mért R_t paraméterértékek körülbelül kétszer nagyobbak, mint az R_z adatok. Ez viszont azt jelenti, hogy a magasságirányú csúcs- és völgytávolságok, azaz a felület valós magasságirányú profileltérései (R_t/R_a) jó közelítéssel 8...16-szor nagyobbak, mint az átlagos érdesség által megadott értékek.

A szakirodalmakban szereplő másik vizsgált aránypár az R_p/R_z . Amennyiben a csúcsmagasság és egyenetlenség-magasság (R_p/R_z) aránya 0,5-nél nagyobb, akkor a csúcshézag „tűszerű”, ha az arány kisebb 0,5-nél, akkor a megmunkált profil sokkal kedvezőbb, az anyag lekerekített „telített” profilú [14]. A 6/b. ábrán a mért R_p/R_z arányok láthatók mindhárom vizsgált anyag esetében. A mátrix anyag forgácsolását követően mért felületi profil R_p/R_z aránya minden beállított fogankénti előtolásnál közel 0,7, ami egyértelműen utal a hegyes csúcshézagokra. A fémkompozitoknál azonban az esetek többségében az R_p/R_z arány 0,5 alatti, ami a szakirodalom [14] szerint a robusztus, lekerekített anyagprofilok jellemezője. A mart fémhab felületek struktúrája

ezek szerint olyan, hogy a forgácsoló él által kifordított/összetört/átvágott gömbhéjak hátrahagyott üregeit a mátrix anyag viszonylag egyenletesen tölti ki. Minél nagyobb a szemcsék mérete (SL300), annál nagyobb helye van a kis szilárdságú mátrix anyagnak benyomulnia („elkenődés”).



6. ábra Vizsgált paraméter arányok

Megállapíthatjuk tehát, hogy az inhomogén szerkezetű AMSF anyagok megmunkált felületeit nem lehet adekvát módon leírni sem a kiválasztott hibrid paraméterrel, sem pedig a paraméterek arányszámaival.

3. Kísérleti fémhabok mart felületeinek leírása statisztikai és hordfelületi görbe paraméterekkel

3.1 Statisztikai paraméterek elemzése

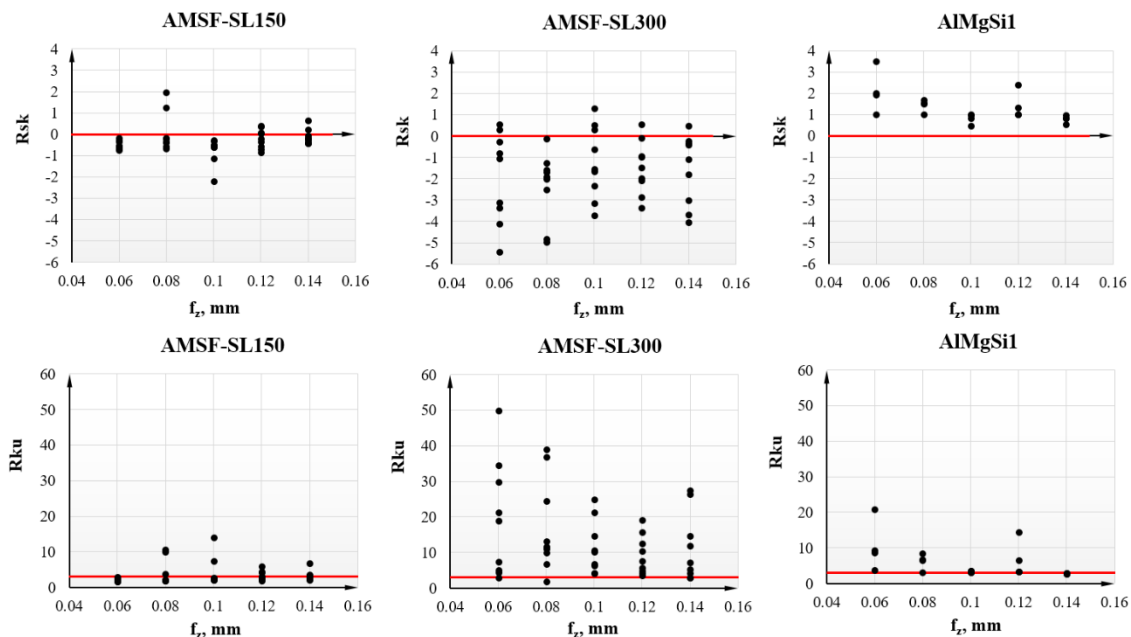
Az érdességmérésnél mintavételezett pontok statisztikai adathalmazt alkotnak, amelyek sűrűségfüggvénye a magasságeloszlás, a sűrűségfüggvény integrálja pedig az eloszlásfüggvény, azaz a hordozófelületi görbe (Abbott-Fireston Curve, AFC).

Az R_{sk} ferdeségi mérőszám (a profil aszimmetriája) jól jellemzi a magasságeloszlás hegyességét, azaz a profil alakját. A vizsgált felületek textúrája ezen mérőszám alapján pozitív, nulla vagy negatív lehet. A pozitív ferdeségi mérőszám „üres” felületet jelent, azaz a magasságeloszlás-görbe nagyobb hányada a középsík alatt helyezkedik el. A

megmunkálási eljárások közül ilyen jellemzi az esztergálását, gyalulást, szikraforgácsolást stb. Negatív R_{sk} esetén „teli” a felület struktúrája [16], mely jó hordozótulajdonságú felületet jelent. Az ide sorolható forgácsolási módok a marás, a köszörülés, a hónolás stb. Az $R_{sk}=0$ teljesen véletlenszerű (random) felületi profil jelez.

A 7. ábra jól mutatja, hogy az AlMgSi1 mátrix ötvözet marásakor készült felület túszerű, üres (erőteljes kopásra hajlamos) profilt mutat, mert R_{sk} mindvégig nagy, pozitív értékű. A fémhabok esetében az R_{sk} értékei már változatosabb képet mutatnak. Bár néhány fogankénti előtolásnál mértünk pozitív értékeket is, döntően azonban a negatív ferdeségű felületek dominálnak. Az R_{sk} paraméter számszerűen az AMSF-SL150 anyagnál a +2 ... -2,2 között van, az AMSF-SL300-nál pedig +1,2 ... -5,4 értéktartományban szóródik. Ezek a profilok telt, kopásálló felületről árulkodnak. Ez érthető is, hiszen a nagyobb szemcsék kifordulása/átvágása/benyomódása után maradó üregek és a mátrix anyaga jóval teltebb profilú felületről árulkodnak.

A másik elterjedt statisztikai paraméter az R_{ku} lapultsági mérőszám, amely a magasságeloszlás csúcsosságát, tehát szórását (szórásterjedelmét) jellemzi. Gaussi-jellegű felületeknél az R_{ku} értéke 3 [14].



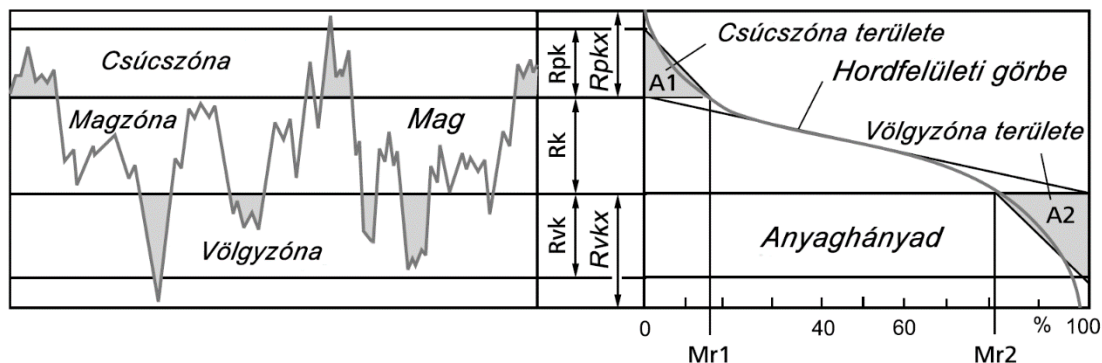
7. ábra R_{sk} és R_{ku} értékek forgácsolt anyagminőségénként a fogankénti előtolások függvényében (vörös vastag vonallal a gaussi felületekhez tartozó értékeket jelöltük)

Az R_{ku} paraméter a két szintaktikus fémhab közötti különbséget egyértelművé teszi (lásd 7. ábra, alsó része). Az AMSF-SL300 anyagnál mért szokatlanul nagy R_{ku} értékek a sok mély völgyre, míg a másik fémhabnál mért $R_{ku} \sim 3$ körüli értékek kis méretű üregekkel tarkított, inkább a gaussihoz közeli felületjellegre utalnak.

Összefoglalásként az állapítható meg, hogy megmunkált profilt jellemző statisztikai paraméterek (mivel ezek a magasságirányú eltérések harmad- (R_{sk}), illetve negyedrendű (R_{ku}) nyomatékát fejezik ki), nagyon érzékenyek minden változásra (rezgés, élrátét, álforgács stb.). Porózus, mély gödrökkel és keskeny platókkal rendelkező textúrák jellemzésére inkább csak korlátozottan alkalmazhatók.

3.2 Hordfelületi görbe paramétereinek elemzése

Az ISO 13565 szabvány rögzíti a hordfelületi görbe (AFC) jellemzőit, ezek alapján a görbét csúcs-, mag- és völgyzónára oszthatjuk (8. ábra).

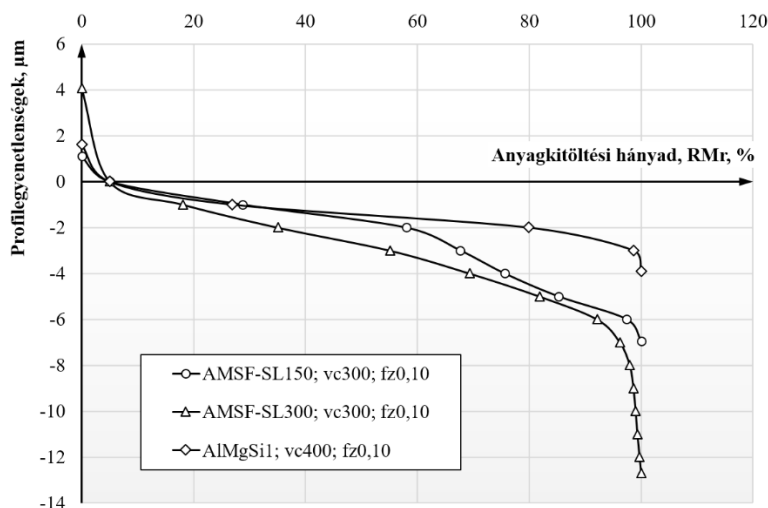


8. ábra Hordfelületi görbe paramétereinek elemzése (ábra minta: [17])

A hordfelületi görbe paramétereinek meghatározásához annak két egymástól 40%-nyi távolságban lévő pontját (R_k) használjuk fel, amely a legkisebb meredekségű. Ez az egyenes hordképes szakasz a magzóna. A 0 (felület), illetve 100% (anyag) közötti magasságirányú metszéspontok csúcs-, mag-, és völgyzónára osztják fel az AFC-diagramot. A magzóna fölötti rész csúcszónaként (R_{pkx}) értelmezett, az alatta lévő hányad pedig a völgyzóna (R_{vix}). Ezen zónák magasságait a gyakorlatban jobban jellemzik a redukált csúcsmagasság (R_{pk}), magzóna magassága (R_k) és redukált völgyzónamélység (R_{vk}) paramétereik [14]. Megjegyezzük, hogy a 8. ábrán az A1 paraméter az érdességszcúcsok területét, az A2 paraméter pedig a völgyek üres, kenőanyag befogadásra alkalmas zónáját jelenti. Így az A1 paraméter a bejáródás során lekopó anyagterfogaatra, míg A2 a felület kenőanyag „raktározó” képességére utal.

Az Mr_1 a csúcszóna kezdeti magassági szintjén, az Mr_2 paraméter pedig a völgyzóna kezdeti mélységében adják meg az anyaghányad %-os értékét. Az Mr_1 kis, az Mr_2 viszonylag nagy értéke – geometriai értelemben – a megmunkált felület „ideális” hordképességére utal [14].

A 9. ábrán a vizsgált három anyag AFC-görbéje látható mart felületeknél.

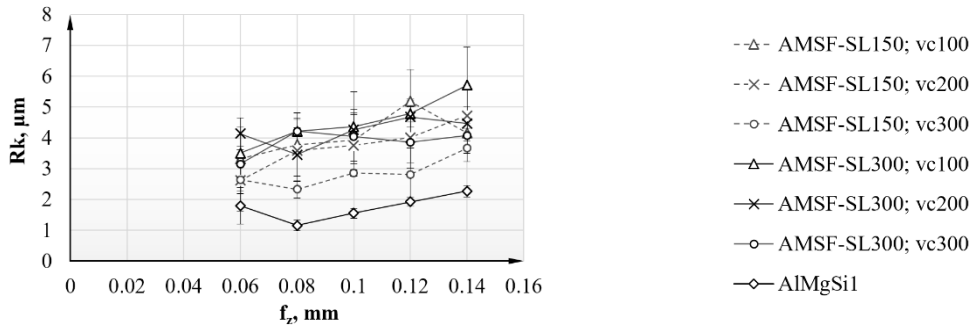


9. ábra A hordfelületi görbe jellegének szemléltetése a vizsgált anyagoknál

A mátrix anyag a legkisebb meredekségű, csúcszónájának aránya nagy, ezért (a bejáródás során) kopásra igen hajlamosak lesznek a mart felületek. A fémhabok (különösen a AMSF-SL300 jelű) igen sok árkot/üregt tartalmaznak, ezért a hordfelületi görbéjük „szétnyílik”, így sokkal nagyobbak a profílegyenetlenségeik. A továbbiakban a 9. ábra szerint kialakult profilokat elemezzük kicsit részletesebben.

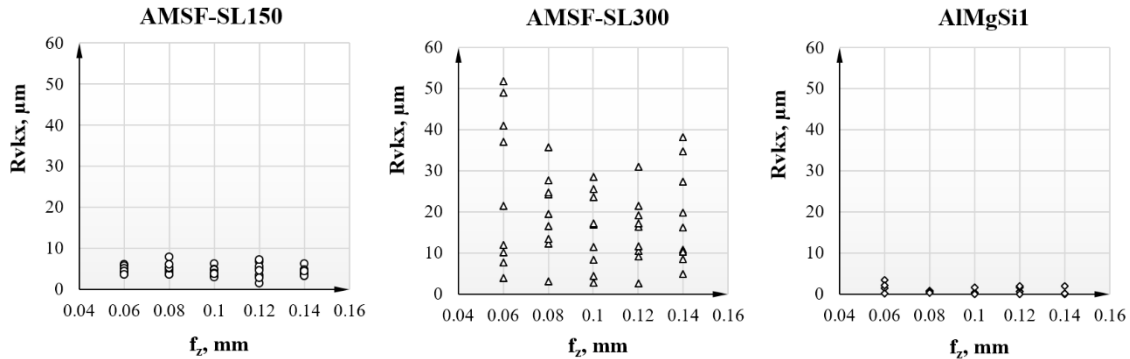
3.2.1 Mag- (R_k) és völgyzóna (R_{vkx}) paraméterek

A 10. ábra megfelelően szemlélteti a mátrix anyag és a két fémhab közötti különbségeket. Az ábrán látszik, hogy a fogankénti előtolás növelésével a magzónát jellemző profílegyenetlenségek növekednek. Az AlMgSi1 anyag magzónáját $1 \leq R_k$, $\mu\text{m} \leq 2$, a kisebb szemcséket tartalmazó fémhab $2 \leq R_k$, $\mu\text{m} \leq 5$, míg az AMSF-SL300 jelzésű fémhab $3 \leq R_k$, $\mu\text{m} \leq 6$ egyenetlenségek alkotják.



10. ábra Az Rk magzónamagasság mért értékei

A 8. ábra szerint az Rvk (redukált völgyzóna) paramétert az A2 völgyzóna területéből lehet kiszámítani. Az Rvk mérőszám hasznos információt szolgáltat, amelyet tanulmányunk további részében még megvizsgálunk. Ez a mérőszám azonban a nem fejezi ki elég meggyőzően a fémhabok mart felületeinek vizsgálatokor kapott értékek nagy mértékű eltéréseit, mivel a mély üregekkel tagolt textúrák hordfelületi görbéi a profílegyenetlenség irányában extrém mélyek is lehetnek. Véleményünk szerint a fémhabok felületének leírásakor az Rvkx paramétert célszerűbb használni, mert a valósághoz közelebb völgyadatokat szolgáltat.

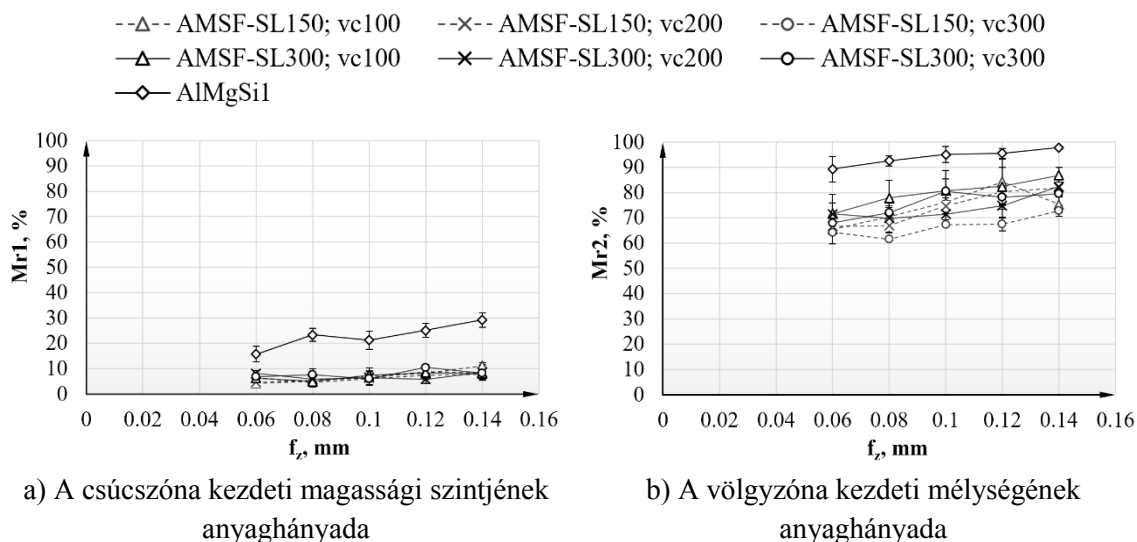


11. ábra Az Rvkx völgyzónamélység mért értékei

A 11. ábra a völgyzóna Rvkx mélységeit tartalmazza. A mért értékek értelemszerűen már semmilyen összefüggést nem mutatnak a fogankénti előtolással. A völgyzóna profílegyenetlenségei kisebb mértékű szóródást mutatnak a mátrix anyag és a AMSF-SL150 estében, azonban sokkal nagyobbak ($2 \leq Rvkx, \mu m \leq 50$) a nagyobb szemcséjű fémhabnál. Átlagban legkisebb a szóródásuk az $f_z=0,12$ mm fogankénti előtolás beállításakor.

3.2.2 Az anyaghányadot jellemző paraméterek ($Mr1$ és $Mr2$)

A hordfelületi görbét bemutató 8. ábra alapján határoztuk meg az anyaghányadot jellemző két paramétert, amelyeket ismét közös diagramban ábrázoltunk (11. ábra). A csúcszóna kezdeti magassági szintjének ($Mr1$) és a völgyzóna kezdeti mélységének ($Mr2$) anyaghányada szintén jól rámutat a mátrix alumíniumötvözet és a fémhabok struktúrájában fellelhető szignifikáns különbségekre.



12. ábra Anyaghányad értékek az előtolás függvényében

A 12/a. ábra alapján egyértelmű, hogy a fogankénti előtolás növelésével a csúcszóna kezdeti magassági szintje mindhárom anyagnál növekszik. Ez az emelkedés a homogén mátrix anyagnál markánsabb (10%-ról 30%-ra), a két fémhab mart felületeinek esetében éppen eléri a 10%-ot. Ezen adatok kétségtelenül azt jelentik, hogy az AlMgSi1 anyag mart felületei nem ideálisak a hordfelület szempontjából, mert a profilalak csúcsos/tűszerű. Ugyanakkor a fémhabok – a kis méretű, kiugró csúcsoktól eltekintve – üregekkel erőteljesen tagolt, lapos, robosztus csúcszónával jellemezhető.

A 12/b. ábra szerint a völgyzóna kezdeti mélységi szintje mindhárom anyagnál növekszik a fogankénti előtolás növelésével. Ez az emelkedés a homogén mátrix anyagnál kisebb ugyan (90%-ról 95%-ra), de a százalékos értékek nagyok. A két fémhab mart felületeinek esetében az anyaghányad 60-85%-os szinten marad, azonban az AMSF-SL150 típusnál csaknem minden esetben a kisebb értékeket adja.

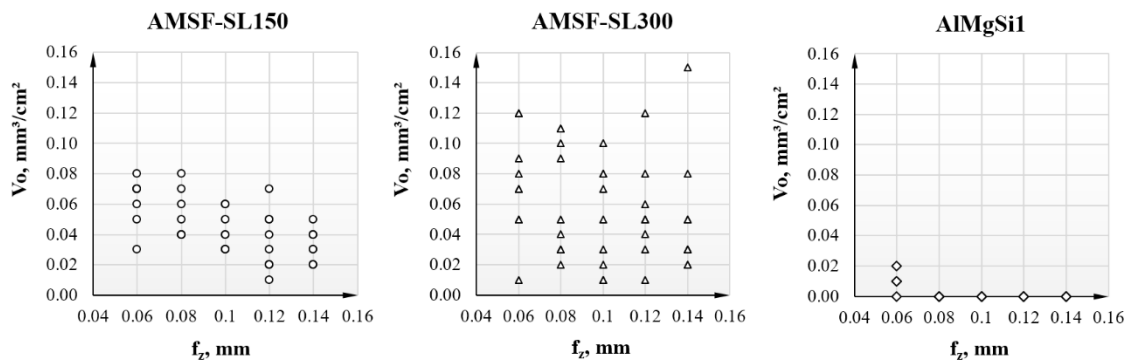
3.2.3 Olajmegtartó képességet leíró paraméterek

A vizsgált fémhabok felülete mikrogeometriailag – a nagyságrendi eltérésektől eltekintve – a hónolt felületekhez hasonlítható. Tribológiai szempontból ideális hordfelületi képről akkor beszélhetünk, ha a platószerű, igen sima felület kis kiterjedésű, de relatív mély árkokkal tagolt. Ekkor a felület működés közbeni kopásállóságáért a terhelést viselő plató felel, a mély árkok/üreges pedig „olajtartályként” szolgálnak [18].

A felület olajmegtartó térfogata (Oil Retention Volume - V_o) az (1) egyenlet szerint számítható az Mr_2 és az Rvk paraméterekből.

$$V_o = \frac{(100 - Mr_2)}{2000} \cdot Rvk \left[\frac{mm^3}{cm^2} \right] \quad (1)$$

A 13. ábrán feltüntetett V_o értékekből jól látszik, hogy az AlMgSi1 alumínium ötvözet olajmegtartó képessége nagyon csekély, csupán kis előtoláson eredményezett (nullától eltérő) kicsiny térfogatot, amiért valószínűleg a mátrix anyag felkenődései a felelősek. A kis szemcséket tartalmazó fémhab olajmegtartó képessége a fogankénti előtolás növelésekor (tendenciájában) csökken, a nagyobb névleges méretű szemcséket tartalmazó fémhab (AMSF-SL300) viszont esetenként majdnem másfélszer jobb olajmegtartó térfogatot is jelenthet, ami az alkalmazott technológiai adatoktól csaknem független, sztochasztikus jelleget mutat.



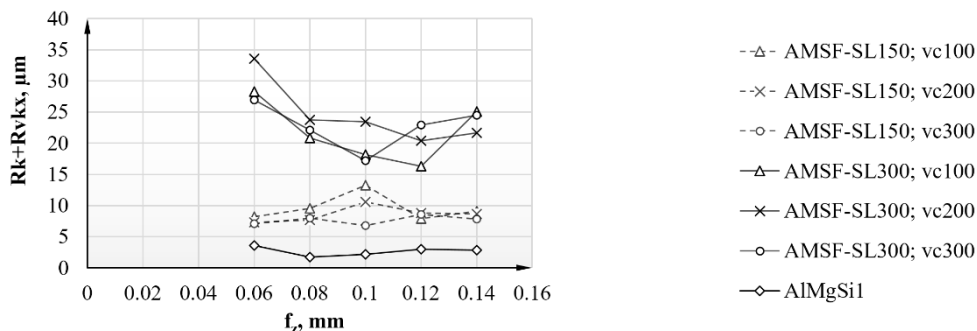
13. ábra Olajmegtartó térfogat az előtolás függvényében

3.2.4 Szintaktikus habok mart felületeinek újszerű jellemzése

Érdeességtani szempontból a fentebb részletesen vizsgált paraméterek segítségével nem lehet egyértelműen (egzakt módon) jellemezni a sarokmarással megmunkált, egészen

eltérő anyagminőségű felületeket. Olyan „szintetikus” mérőszámokat kell a leíráshoz alkalmazni, amelyek egyaránt alkalmasak a homogén és a több komponensből álló anyagok megmunkálás utáni felületi textúráinak jellemzésére.

A hordfelületi görbe fentebb ismertetett **paramétereinek kombinálása** jó lehetőséget teremt a különböző jellegű anyagok érdességi profiljainak alaposabb jellemzésére. A 14. ábra az R_k+R_{vkx} összegzett adatait tünteti fel.



14. ábra Az átlagos $R_k + R_{vkx}$ értékek összege az előtolás függvényében

A három anyagminőség megmunkált felületei ezzel a jellemzési módszerrel teljesen egyértelműen szétválaszthatók. Jól látszik ugyanis, hogy az R_k+R_{vkx} paraméterek összege az AlMgSi1 ötvözetnél 0-5 μm , az AMSF-SL150 jelű fémhabnál 6-14 μm , az AMSF-SL300 anyagnál pedig 15-35 μm közé esik.

Megjegyezzük továbbá, hogy az AMSF-SL150 fémhab R_k+R_{vkx} paraméterösszege kis ($f_z \leq 0,08$ mm) és nagy ($f_z > 0,12$ mm) fogankénti előtolásokon igen kis tartományban változik (gyakorlatilag mindhárom forgácsolósebességen azonos átlagértékek adódnak). Az $f_z=0,10$ mm adatnál viszonylag nagy az eltérés az értékek között. Ennek feltehetően az az oka, hogy az AMSF-SL150 fémhab átlagos szemcsemérete 100 μm , azaz azonos a fogankénti előtolással. A forgácsolósebesség megháromszorozása jótékony hatással van a szemcsekifordulások gyakoriságára.

Összegzésként elmondható, hogy a fémhabok (különösen az AMSF-SL300 jelű) megmunkált felületei igen sok bemélyedést/üregt tartalmaznak, ezért sokkal nagyobb profílegyenetlenségekre lehet számítani a hordfelületi görbéjükénél. Megállapítottuk továbbá, hogy az R_{vkx} paraméter – a redukált völgyzónához (R_{vk}) képest – a valósághoz közelebbi értékeket ad. Az Mr_1 és Mr_2 paraméterek jól kifejezik a mátrix alumíniumötvözet és a fémhabok struktúrájában fellelhető szignifikáns különbségeket. Bár az elemzett V_o olajmegtartó képességi paraméter az előtolás függvényében sztochasztikus jelleget mutat, ugyanakkor e mérőszám értékéből következtetni lehet a

felület porózusságára/üregességére. A felület újszerű jellemzésére az R_k+R_{vkx} paraméterkombinációt vezettük be. Ennek alkalmazásával anyag típusonként megtalálható az az optimális f_z , amivel a legkedvezőbb hordfelületi képet el lehet érni.

4 Összefoglalás

Cikkünkben részletesen elemeztük a vizsgált kétfajta fémhab és azok mátrix anyagául szolgáló alumíniumötvözet mart felületi struktúrája közötti eltéréseket. Megállapítottuk, hogy a profil magasságirányú eltéréseinek paraméterei, mint az átlagos érdesség (Ra), a négyzetes középérték (Rq), a maximális egyenetlenség (Rt), az érdességmagasság vagy egyenetlenség-magasság (Rz), a maximális csúcsmagasság (Rp) és maximális völgymélység (Rv) az üreges szerkezetű kompozit anyagoknál önmagukban semmiképpen sem tekinthetők korrekt mutatószámoknak.

Tanulmányunkban arra is rámutattunk, hogy az inhomogén szerkezetű anyagok megmunkált felületeit nem lehet adekvát módon leírni sem a kiválasztott hibrid paraméterrel (Rdq), sem pedig a paraméterek arányszámaival (Rz/Ra; Rp/Rz).

Eredményeinkből továbbá az is látszik, hogy a megmunkált profilt jellemző statisztikai paraméterek (mivel ezek a négyzetes középérték eltéréseinek harmad- (Rsk), illetve negyedrendű (Rku) nyomatékát fejezik ki), nagyon „érzékenyek” minden változásra (rezgés, élrátét, álforgács stb.). Porózus, mély gödrökkel és keskeny platókkal rendelkező textúrák jellemzésére ezért csak korlátozottan alkalmazhatók.

A hordfelületi görbe paramétereinek elemzése rávilágított a fémhabok (különösen a AMSF-SL300 jelű) igen sok bemélyedést/üreget tartalmazó jellegére. Kiemeltük, hogy az R_{vkx} paraméter – az R_{vk} paraméterhez képest – a valósághoz közelebb álló jellemzést ad a profilról. Megállapítottuk továbbá azt is, az alumíniumötvözet mátrix és a fémhabok struktúrájában fellelhető szignifikáns különbségeket az Mr_1 és Mr_2 paraméterekkel is ki lehet mutatni. Az olajmegtartó képességi paraméter mérőszámából következtetni lehet a felület porózusságára/üregességére. A különböző anyagú, mart felületeket jellemzésére egy újszerű paraméterkombinációt vezettünk be. A R_k+R_{vkx} összegének alkalmazásával anyag típusonként megtalálható az az optimális f_z , amivel a legkedvezőbb hordfelületi képet elő lehet állítani. Ennek bizonyítására azonban még újabb, tribológiai jellegű vizsgálatokat kell majd elvégeznünk.

Köszönetnyilvánítás

Cikkünk Dr. habil. Orbulov Imre és Dr. Májlinger Kornél (a vizsgált anyagok biztosítása), illetve Bohner Attila (a marószerszámok biztosítása) segítségével valósulhatott meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Davim, J. Paulo, "Machining of Metal Matrix Composites," Springer London, (2012). DOI 10.1007/978-0-85729-938-3
- [2] Mohamed A. Taha, Ahmed M. El-Sabbagh and Iman M. Taha, "Trends in Composite Materials and their Design," Key Engineering Materials, vol. 425, (2010). ISBN-13: 978-0-87849-301-2
- [3] M. Saxena, A. Pappu, A. Sharma, R. Haque and S. Wankhede, "Composite Materials from Natural Resources: Recent Trends and Future Potentials," Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials, INTECH", Published: September 9, (2011), ISBN 978-953-307-449-8
- [4] HOFFMANN GROUP (THE QUALITY COMPANY): Die Zukunft heißt Leichtbau, Garant Zerspanungswerkzeuge für Alu, Polymere, ADI, Composites und Superlegierungen. Hoffmann Hungary Quality Tools Kft., München, KW1326 DE (2013)
- [5] Gácsi, Z. – Simon, A. – Pázmán, J.: Fémkompozitok (2011), Miskolci Egyetemi Kiadó, ISBN 978-963-661-979-4.
- [6] Szalóki, I.; Viharos, Zs. J.: Keményfém és gyémánt élanyagok teljesítőképességének elemzése alumínium mátrixú kompozit síkmarásakor (Performance analysis on hard metal and diamond cutting tool materials for plate drilling of aluminium based matrix composites), GÉPGYÁRTÁS (ISSN: 1587-4648) LV.: (2015/2) pp. 87-92. (2016)
- [7] István Szalóki, Sándor Sipos, Zsolt János Viharos: Aluminum-Based MMC Machining with Carbide Cutting Tool; Key Engineering Materials Vol. 686 (2016), Precision Machining VIII, pp 149-154, © (2016) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.686.149 (ISBN-13: 978-3-03835-625-7, ISSN: 1662-9795)
- [8] Béla, Palásti-Kovács, Sándor Sipos, Szabolcs Biró: The Mysteries of the Surface First Part: The Characteristic Features of the Microgeometry of the Machined Surface Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 11. No5, 2014. p. 5-24. DOI: 10.127000/APH 11.05.2014.05.1
- [9] Islam M M, Kim H S, Novel syntactic foams made of ceramic hollow microspheres and starch: theory, structure and properties, J. Mater. Sci, 42, (2007), 6123-6132.
- [10] Orbulov IN, Dobranszky J, Nemeth A. Microstructural characterisation of syntactic foams. J Mater Sci (2009);44(15):4013–9.
- [11] Orbulov IN, Ginsztler J: Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams, Composites Part A, 43 (2012) 553-561.

- [12] Szalóki, I.: Analysis of drilling surface microgeometry, 2nd Regional Conference - Mechatronics in Practice and Education, Subotica, Serbia, (December 5-6. 2013). pp 111-114 ISBN 978-86-7892-565-8
- [13] Béla Palásti-Kovács; Sándor Sipos; István Szalóki: Experimental research of cutting performance and quality abilities of modern drilling tools; Key Engineering Materials Vol. 581 (2014) pp 32-37 ISSN 1013-9826 (<http://www.scientific.net/KEM.581.32>)
- [14] A., Czifra: Útmutató a mikrotopográfiai vizsgálatok laborgyakorlatához, Obuda University, Budapest, (2011), pp. 14. (In Hungarian)
- [15] B., Palásti-Kovács – S., Sipos – A., Czifra: Interpretation of “ $R_z = 4 \times R_a$ ” and other roughness parameters in the evaluation of machined surfaces. Devices, Tools and Machines 2012. p. 20 – 24. (In Hungarian). ISSN 1587 - 9267
- [16] Surface integrity in machining by J. Paula Davim, Chapter 2, Georgios P. Petropoulos, Constantinos N. Pandazaras, J. Paulo Davim, Springer Velag London Limited, (2010).
- [17] Jenoptik Industrial Metrology Germany GmbH: Roughness measuring systems from Jenoptik – Surface texture parameters in practice, (2015).
- [18] Michael A. Stewart: Numerical Engineering Research & Design, Calculation of Oil Retention Volume – V_o , Holland, (2004).