

# Keményfém és gyémánt élanyagok teljesítőképességének elemzése alumínium mátrixú kompozit síkmarásakor

Szalóki István\* – doktorandusz  
Dr. Viharos Zsolt János –  
tudományos főmunkatárs,  
témavezető



## 1. Bevezetés

Autó-, repülőgép- és vasútipari vállalatok az acélt és öntöttvasat kívánják helyettesíteni olyan mechanikai szempontból kedvezőbb anyagokkal, amelyek kisebb tömegük mellett megfelelő szilárdságúak. Erre a törekvésre jó példa az alumínium mátrixú fémkompozit (AMC) anyagok elterjedése [1, 2]. Az AMC alkatrészek további követelménye a kedvezőbb kopásállóság, amelyet a megmunkált felületek minősége jellemez, ez pedig megadja a felhasználás lehetséges körülményeit [4]. Az ilyen extrém abrazív hatású anyagok forgácsolásakor a szerszámra gyakorolt koptató hatás jelentős mértékű, ezért a megmunkálási költségek tetemesek. A gyakorlat szempontjából tehát fontos feladat a keményfém és gyémánt szerszámanyagok forgácsolóképességének összevetése. Az AMC anyagok forgácsolásához elsőszámú választás a polikristályos gyémánt (PCD) forgácsolóél [5, 6]. A forgácsolósebesség növelésével a forgácsolási hőmérséklet is fokozódik, a szerszámanyag kilágyul és felgyorsul a diffúziós kopás [5]. Ezen jelenség különösen intenzív azoknál a kemény kerámiarészecskékkel erősített munkadarab anyagoknál, amelyek forgácsolásakor a szerszámél jóval nagyobb gyakorisággal ütközik igen kemény alkotóelemekbe, és a nagy lokális terhelések következtében gyorsan elveszíti képességét a további forgácsolásra. Az is lényeges tény, hogy a forgácsolóerő hatására a lágy mátrix és a kemény erősítő részecske eltérő mértékben deformálódik [4]. Jelen cikkünk a különféle élanyagú marólapkák forgácsolóképességét a fellépő erőhatásokkal, valamint síkfelületek érdességi paramétereivel jellemzi. Részletesen elemezzük a forgácsolási adatok hatásait a mért értékekre, sőt a kísérlet folyamán elhasznált szerszám kopásának jellemzőiről is beszámolunk.

**Kulcsszavak:** alumínium mátrixú kompozit, szimmetrikus síkmarás, abrazív kopás, normálirányú erő, felületi érdesség.

## 2. A homlokmarási vizsgálat céljainak és körülményeinek leírása

A vizsgálatok során a legfőbb célkitűzésünk a többféle szerszámgeometria és -élanyag érdességelőállító-képességének kimutatása volt szimmetrikus elrendezésű homlokmarásakor. Emellett a forgácsolási

adatok erőtani hatásának tanulmányozása is kulcsszerepet kapott.

A vizsgálatokhoz az Aluivent Zrt.-től kapott alumínium mátrixú kompozitot (jelölés: 12ALO50) és annak mátrixanyagát (jelölés: MÁ), 150×100×70 mm méretű kísérleti darabok formájában használtuk fel.

A forgácsolási méréseket főként az alumínium mátrixú kompozitban (általunk mért keménysége HB 80±2) a részletes tervnek megfelelően hajtottuk végre, míg a mátrixanyagban (általunk mért keménysége HB 60 ±1) néhány referenciamérést is végrehajtottunk az egyik gyémánt lapkával.

A fém mátrixú anyagminőség fontosabb tulajdonságait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat Alumínium mátrixú kompozit főbb jellemzői

Fémkompozit típusa	részecske erősítésű	
Mátrix anyaga	AlSi10Mg(b)	
Erősítőanyag tulajdonságai	anyaga	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	keménysége	2000 HV
	rendezettsége	véletlenszerű
	térfogataránya	12V%
	átlagos átmérő mérete	50 µm
<b>Rövidített jelölés</b>	<b>12ALO50</b>	

A referenciául szolgáló mátrixanyag kémiai összetételét a 2. táblázat tartalmazza.

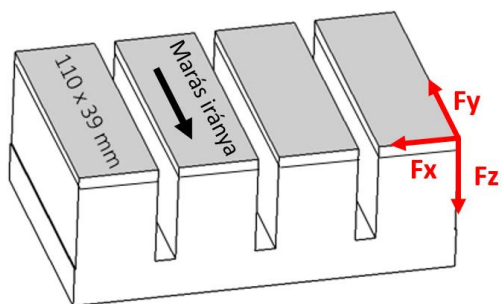
2. táblázat Mátrix anyag (AlSi10Mg(b) – ENAC-43100) kémiai összetétele

Ötvözők (%)	Si	Mg	Fe	Mn	Ti
	9-11	0.2-0.45	<0.55	<0.45	<0.15
Cu	Zn	Ni	Pb	Sn	Al
<0.1	<0.1	<0.05	<0.05	<0.05	maradék

Kutatásunk fő célja tehát a fentebb ismertetett, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kerámiával erősített szemcsés kompozit anyag forgácsolásakor feltérképezni a folyamatot leginkább jellemző erőhatásokat, illetve az előállított felület 2D-s érdességi paramétereinek (Ra és Rz) alakulását.

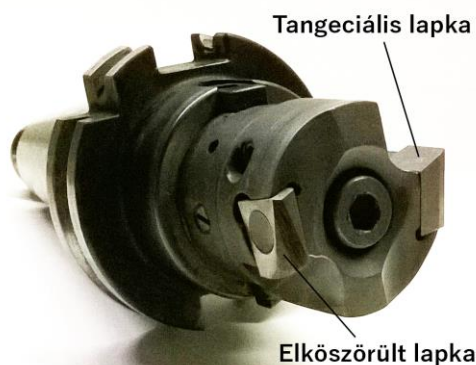
A forgácsolási kísérleteket a Bánki Gépészmérnöki Kar Műhelyében telepített, szerszámkutatási célokat szolgáló MAZAK Nexus 410A megmunkálóközponton (vezérlés: Mazatrol™), hűtött sűrített levegőt fúvó berendezést felhasználva hajtottuk végre. A fúvókát közvetlenül a fogásba lépő homloklapra irányítottuk. Az erőtani mérések elvégzését a Kistler 9257 típusú erőmérőpad, a mérőerősítő és a DynoWare™ kiértékelő szoftver tette lehetővé.

A síkmarási folyamatnál a munkadarabra olyan leválasztási tervet készítettünk, amely lehetővé tette egy befogással egyszerre négy felületszakaszon (mérete: 110 x 39 mm) négy különböző forgácsolási beállítással tudjunk kísérletezni. A különböző adatvariációs beállításokat szintenként tudtuk variálni, tehát az újabb „négyes” adatbeállítás az előzőt minden esetben eltávolította (1. ábra).



1. ábra Síkmarás leválasztási körülményei  
(előmart próbadarab + első fogásvételi szint + erőirányok)

A kísérlethez a tangenciális elrendezésű, Ø40 mm méretű homlokmaró szerszámot (a gyémántlapkákkal együtt) a Delphi Thermal Hungary Kft. munkatársa, a tangenciális keményfém lapkákat pedig a Kennametal Hungaria Kft. képviselője bocsátotta rendelkezésünkre.



2. ábra Kísérleti tangenciális marófej ( $D_c=40$  mm)

A gyémántlapkák kétféle minőségben álltak rendelkezésünkre. A gyémántszemcsék átlagos mérete KD1410 jelzésűben a 25  $\mu$ m, a KD1415 jelűben pedig 10  $\mu$ m volt. Mindkét lapkatípus 0,5×45° sarokvédelemmel ellátott volt.

A forgácsolás egyetlen aktív forgácsolóélel történt. Ilyen esetben a kiegyensúlyozottságról gondoskodni kell, amit a túloldali lapkafészekbe rögzített elköszörült keményfém lapkával biztosítottunk. A „segédlapkát” természetesen csak addig köszörültük el, hogy az semmiképpen se érintkezhesen a munkadarabbal. Ezt a követelményt optikai mérőgépen többször ellenőriztük is.

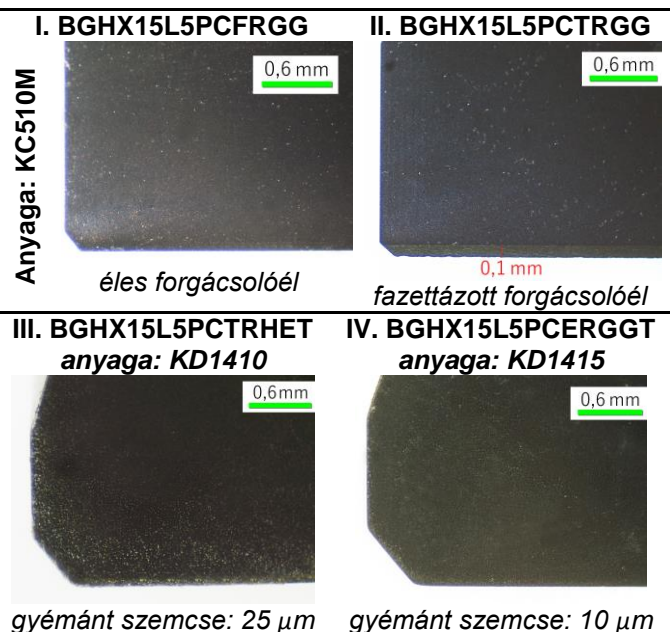
A kutatás során a 3. táblázat adatai szerint 15 különböző forgácsolási adatkombinációt vizsgáltunk.

3. táblázat Homlokmarás forgácsolási adatai

Állandó adatok		
$a_p$ , mm	$a_e$ , mm	Hűtés
1	39	CAG
Változó adatok		
5 szinten	3 szinten	
$f_z$ , mm	$v_c$ , m/min	$v_c$ , m/min
0,05	250	600
0,075	275	800
0,1	300	1000
0,125	↑	↑
0,15		
<b>Élanyagok:</b>	<b>KC510M (keményfém)</b>	<b>KD1410/KD1415 (gyémánt)</b>

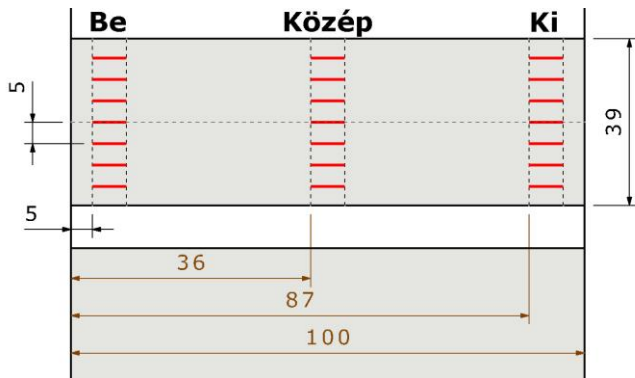
A táblázatból megállapítható, hogy az axiális fogásmélységet ( $a_p$ ) és a radiális fogásszélességet ( $a_e$ ) állandó értéken tartottuk, míg a fogankénti előtolást ( $f_z$ ) és a forgácsolósebességet ( $v_c$ ) több szinten variáltuk. Az élanyagokhoz eltérő forgácsolósebességeket állítottunk be, figyelembe véve a lapkaanyagok nagyon eltérő fizikai tulajdonságait (keménység, szívósság, kopásállóság stb.) és a fémkompozit anyagba kevert, erősen koptató szemcsék éltartósságra gyakorolt hatását is [4]. A 15 kísérleti beállítást véletlenszerű sorrendben hajtottuk végre.

A tanulmányban közölt mikrogeometriai eredményeket a Mahr-Perthen Perthometer PRK Concept-2D, 3D felületvizsgáló nagyműszer alkalmazásával kaptuk. A mérést Mahr-gyártmányú, 90°-os kúpszögű, 2  $\mu$ m csúcssugarú tapintóval végeztük. A próbadarabok geometriai adottságait figyelembe véve az érdességméréshez speciális készüléket terveztünk és gyártottunk. Minderre a mikrogeometriai vizsgálat meggyorsítása és a mérések helyének geometriailag azonos, egzakt pozícióban történő végrehajtása miatt volt szükség (4. ábra).



3. ábra Kísérleti tangenciális lapkák

A mérésekhez felhasznált lapkák keményfém és gyémánt élanyagúak voltak (3. ábra). A TiAlN PVD bevonatos keményfémlapkák anyaga egységesen KC510M, a lapkák csúcsait 0,2×45° letörés védi.



4. ábra Érdességmérés kivitelezésének módszere  
(a méretek mm-ben értendők)

Az érdességméréskor a felületet három vizsgálati sávra osztottuk: a be- és kilépés, valamint a szürkével jelzett teljes maró felület középső szakaszára. Minden sávban a maró középtengelyén, illetve - egyenletesen elosztva - attól balra és jobbra, egymástól 5 mm-es távolságban mértünk.

### 3. A vizsgálatok eredményeinek leírása

A vizsgálati eredmények részletezése előtt megegyezünk, hogy a kompozit anyagban a keményfém szerszám nagyon gyorsan elhasználódott. Ennek következtében minden negyedik felület marása után a keményfém forgácsoló élt cserélni kellett, így az eredmények objektív értékelése a keményfém szerszám anyagánál nehézségekbe ütközött. Az új állapotú él feltételezhetően kedvező hatású az erők és érdességek szempontjából, azonban az egyre kopottabb él nagyon megnehezíti a pontos kiértékelést. Jelen cikk ezért túlnyomórészt a gyémánt lapkával elért eredményeket tartalmazza.

#### 3.1. Erőtani eredmények

A homlokmaráskor ébredő erők mérése lehetővé teszi a kísérleti anyagminőségek közötti eltérések feltárását, továbbá számszerű értékeket ad meg az egyes élananyagok erőtényezőre.

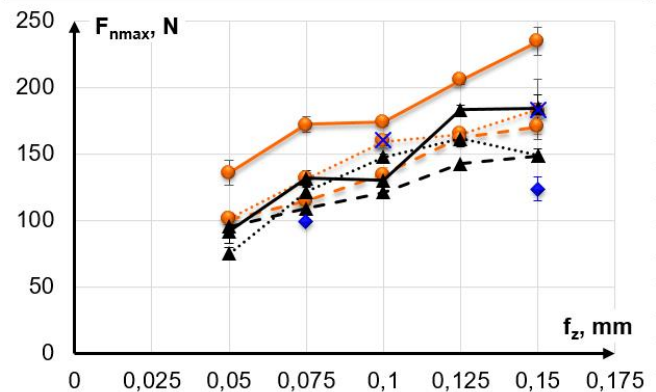
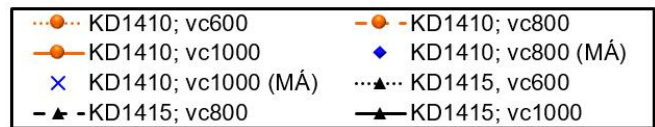
A próbadarabokon három irányban (X-Y-Z → 1. ábra) végrehajtott erőméréskor az előtolás irányára merőleges (normális irányú), tehát az X-irányú ( $F_x$ ) komponens elemztem. Szimmetrikus síkmarásnál, amikor a fogásszélesség kisebb, mint a szerszám átmérője ( $a_e < D_c$ ), a normálirányú erők – a marás irányától függően – mindig azonos előjelűek, esetünkben pozitívak. Ezen erők az aktuális forgácsoló vastagságnak megfelelően változó mértékűek, és a maximális forgácsoló vastagság kis előtolás esetén (a szerszám csúcsa által leírt ciklois pálya elenyésző torzulása miatt) a szimmetriasíkban van, amely azonos a fogankénti előtolás értékével. A maximális forgácsoló vastagság helyén az  $F_n$  ( $\equiv F_x$ ) erő maximuma azonos a forgácsolóerővel ( $F_c$ ). Azért előnyös ezen erőkomponenssel dolgozni, mert a maximális terheléskor a marási folyamat teljesítményigénye közvetlenül számítható.

A keményfém szerszámokkal elvégzett teszteknel – a már említett négy egymást követő beállításonkénti

élcseré és a rohamos mértékű szerszámelhasználódás miatt az erőmérés kusza diagramvonalakat eredményezett, mert az élcseré miatt az új állapotú élek eltérő erőigénnyel dolgoztak, mint a kopás különböző fázisaiban lévőek.

A gyémánt szerszámok diagramjaiból egyértelmű következtetések vonhatók le (5. ábra). A feltüntetett erőértékek egy felület marásának teljes időtartamából 10 db véletlenszerűen mintavételezett ciklus (egy szerszám fordulat) átlagértékét tükrözik, így a diagramokra a szórások is felkerülhettek.

A fémmozgató forgácsolásával foglalkozó egyik szakirodalom szerint a forgácsolósebesség a legtöbb esetben nem befolyásolja jelentősen a forgácsolóerőket [3]. Esetünkben ez nem mondható el, hiszen a 600 és 800 m/min forgácsolósebességen kb. 25-30%-kal kisebbek a normálirányú erők, mint a legnagyobb sebességen.



5. ábra Gyémánt szerszámokon mért normálirányú erőmaximumok

Az 5. ábra arra is rámutat, hogy a mátrix anyag a KD1410 gyémántlapkával kis előtoláson kb. 10%-kal, növelt előtoláson pedig kb. 30%-kal kisebb normálirányú erővel forgácsolható.

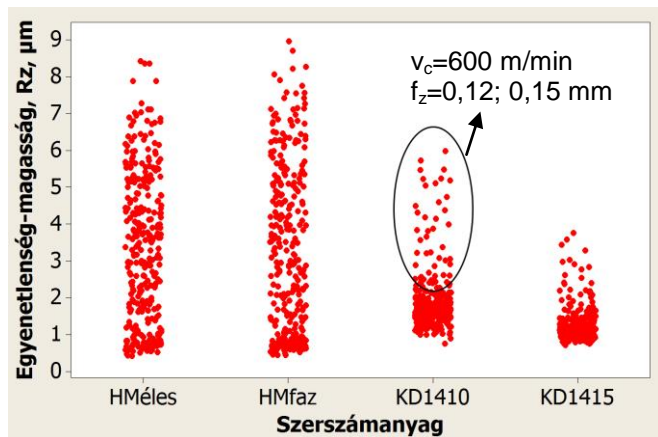
A KD1415 minőségénél némileg alacsonyabb normálirányú erők ébredtek, mint a KD1410 jelzésűnél.

#### 3.2. Felületek érdességének eredményei

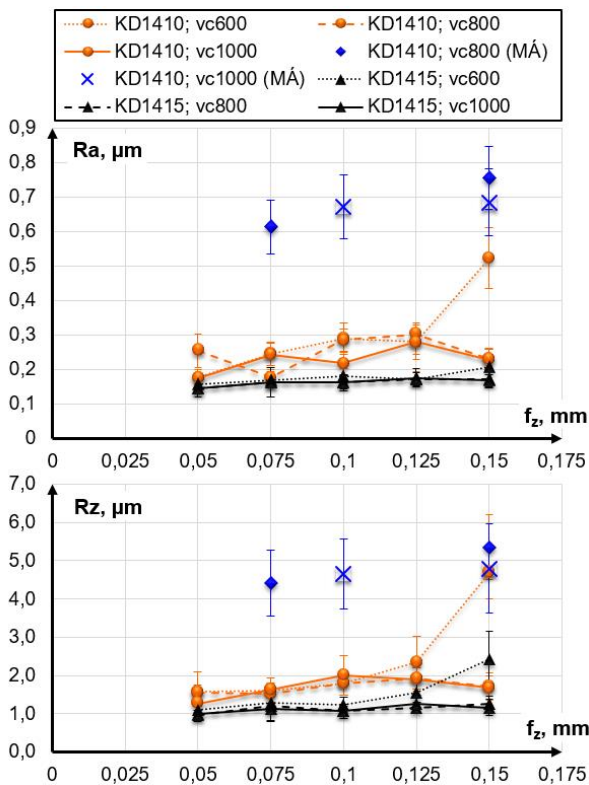
A 6. ábrán a 15 különböző forgácsolási beállítással megmunkált felület mérési eredményeit közöljük összefoglaló jelleggel. Megállapítható, hogy a különféle lapkával és eltérő paraméterekkel megmunkált felületek Rz egyenetlenség-magasság paraméterei a gyémánt szerszámánál egyértelműen kedvezőbb értékeket és sokkal kisebb szórást mutatnak.

A 6. ábrán a KD1410 gyémánthoz tartozó mérési adatokból ellipszis jelöli ki azokat, amelyek a legkisebb 600 m/min forgácsolósebességhez és a legnagyobb (0,125 és 0,15 mm) előtoláshoz tartoznak. Szintén nagy szórást mutattak ezen beállítások a KD1415 jelű lapkánál is. Az összes többi paraméterkombinációt

tekintve azonban a PCD szerszámok kedvező felületet állítottak elő.



6. ábra Egyenetlenség-magasság (Rz); 315 mérési pont (21x15) szerszámnyagonként



7. ábra Gyémánt élminőségek (KD1410 és KD1415) érdességelállító képessége

Lényeges tapasztalati megállapítás, hogy a keményfém forgácsolólé új, vagy alig használt állapotában hozta a legdurvább felületet, és ekkor a szórás is jelentős volt. Kissé kopott állapotában - a nagymértékben jelentkező vasaló hatás miatt - jó, esetenként a gyémánttal megmunkált felületek érdességével egyező eredményt mutatott. A keményfém szerszámok a legjobb eredményt – nem meglepő módon - kis előtolás és közepes sebesség beállításakor, kopott éllel érték el.

A 7. ábra világosan rámutat arra, hogy a gyémánt élanyag alumínium kompozitban jól teljesít: többnyire 0,3 µm alatti Ra, illetve 2,5-3 µm alatti Rz értékek

voltak mérhetőek. A mátrix anyag (MÁ) érdessége kis előtolásokon (0,05 – 0,1 mm) azonban kb. 60%-kal rosszabb, mint a 12ALO50 anyagban mért értékek.

#### 4. Összefoglalás, következtetések

Cikkünkben arra kerestük a választ, hogy alumínium mátrixú kompozit anyag egyélű síkmarással történő forgácsolásakor milyen nagyságú erők ébrednek és a vizsgálat keményfém illetve gyémánt szerszámanyagokkal milyen felületi érdességek előállítása lehetséges. A lapkával elvégzett 15 kísérleti beállítás azt mutatta meg, hogy a 12ALO50 jelű fémmatrixú anyag bevonatos keményfém lapkával nagyon nehezen forgácsolható, mert a szerszámkopás drasztikus. Az elhasználódás fokozódik a  $v_c$  és az  $f_z$  növelésével, de legdominánsabb hatás a forgácsolósebessége, a nagy lokális terhelések miatt. A gyémánt élanyagoknál a normálirányú erő degresszíven változik az előtolással, míg nagyobb sebesség értékeknél ezen erőkomponens növekszik. A PCD gyémánt lapkák – a keményfém lapkákhoz képest – valószínűleg többszörös éltartam mellett alkalmazhatók. Ráadásul a gyémánt élanyag jobb felületi érdességet eredményez és kedvezőbb folyamatbiztonság is. A forgácsolósebesség növelésével a felületi érdesség javul, míg az előtolás fokozása – a várakozásokkal ellentétben - nem okoz jelentős érdességromlást.

A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Sipos Sándornak, Dr. Mikó Balázsnak, Dr. Szalay Tibornak, és Palánszky Márton TDK-s hallgatónak a segítő munkáért, valamint Verebesi Dánielnek és Papp Zoltánnak a tesztszerszámokért.

#### Irodalom:

- [1] Katona B., Szebényi G., Orbulov I. N.: Fémmatrixú szintaktikus fémhabok fáradási tulajdonságai, *Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület*, 148.évfolyam, 2. szám, 30-33 (2015).
- [2] S. Durante, G. Rutelli, and F. Rabezzana, "Aluminum-based MMC machining with diamond-coated cutting tools," *Surf. Coat. Technol.*, vol. 94–95, pp. 632–640, Oct. 1997.
- [3] A. Pramanik, L. C. Zhang, and J. A. Arsecularatne, "Machining of metal matrix composites: Effect of ceramic particles on residual stress, surface roughness and chip formation," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 48, no. 15, pp. 1613–1625, Dec. 2008.
- [4] Y. Quan and B. Ye, "The effect of machining on the surface properties of SiC/Al composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 138, no. 1–3, pp. 464–467, Jul. 2003.
- [5] J. T. Lin, D. Bhattacharyya, and C. Lane, "Machinability of a silicon carbide reinforced aluminium metal matrix composite," *Wear*, vol. 181–183, Part 2, pp. 883–888, Mar. 1995.
- [6] Q. Yanming and Z. Zehua, "Tool wear and its mechanism for cutting SiC particle-reinforced aluminium matrix composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 100, no. 1–3, pp. 194–199, Apr. 2000.