

A kutatási munkaterv szerint vállalt feladatokat megoldottuk és az új eredményeket rendszeresen publikáltuk, többségét nemzetközi konferenciákon és folyóiratokban (34 publikáció). Újabb két cikk külföldi folyóiratban és egy cikk egyetemi közleményekben fog megjelenni (L. publ. jegyzék [32, 33, 34]).

A projekt két területen folyt:

- egyik: határozott élgeometriájú szerszámmal végzett ultraprecíziós esztergálás,
- másik: határozatlan élgeometriájú, abrazív szerszámmal végzett dörzsköszörülés (honorálás).

Az új kutatási eredményeket témakörönként foglaljuk össze.

1. ION – EGYKRISTÁLYOK MIKROFORGÁCSOLÁSNAK VIZSGÁLATA MOLEKULÁRIS DINAMIKAI SZIMULÁCIÓVAL (MDS)

Az ultraprecíziós forgácsolásnál a leválasztott forgácskeresztmetszet μm^2 nagyságrendű, vagy kisebb. Kísérleti nehézségek miatt MDS-t alkalmaztunk, ami ezen a téren új módszer.

Ion – egykristályok (pl. NaCl) mikroforgácsolását modelleztük Gurzó Józseffel. Minden kristályosodási típusnak van olyan csúszási síkjja, amelyben alakváltozás (mikroforgácsolásnál a nyírás) elsősorban végbemegy. Ennek ismerete számos előnnyel jár, pl. kis rezgések, jó felületminőség a forgácsolt felületen, kis forgácsolóerők, stb.

Elméletileg két pontszerű töltés között fellépő Coulomb-féle vonzóerő vagy taszítóerő kölcsönhatására alapoztuk a potenciális energia és erők számítását [3].

Sikerült igazolni, hogy min. 40 rácstávolságon belüli szomszédok hatását kell figyelembe venni ahhoz, hogy a generált számítógépes kristályrács használható legyen és egyben maradjon, ne bomoljon fel konvergencia és szimulációs problémák miatt [1].

A szimuláció szemléletesen mutatja a kristályszerkezet alakváltozásait, a szerszám behatolási folyamatát, deformációk alakulását, illetve számolja pl. a forgácsoló erőket a forgácsolás irányától függően, amit [1, 6, 7] publikációink foglalnak össze.

A szimulációk a forgácsolási gyakorlat számára használható következtetéseket adnak.

2. ULTRAPONTOS ESZTERGÁLÁS ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA

Kis forgácskeresztmetszetű forgács leválasztása nagy elméleti, technikai és gyakorlati felkészültséget igényel. A gyakorlati megvalósítás ME Gépgyártástechnológiai Tanszék UP-1. típusú esztergáján valósítottuk meg. Kistler piezoelektromos erőmérőt alkalmaztunk.

Együttműködtünk a Krakó Egyetemmel is. Különböző anyagok forgácsolásához új technológiai adatbázist állítottunk össze illetve kísérletileg is ellenőriztük azt [4].

A kísérletek mellett végelem módszerrel is sikeresen modelleztük a forgácsolásban és az anyagba hatoló szerszámban a kialakuló feszültségállapotot és hőmérsékletet, munkadarabban lévő diszlokációkat. Elméleti és kísérleti módszerek eredményei fedik egymást [12, 18].

3. ULTRAPONTOS MINŐSÉGHEZ SZÜKSÉGES KÖRNYEZETI FELTÉTELEK

A hagyományos pontosságú gyártás nem túl érzékeny a külső zavaró-, a minőséget rontó körülményekre. Ilyen zavaró hatások: környezeti rezgések, levegő portartalma, munkatér hőmérsékletének változásai. Ultrapontos minőség (pontosság, felületminőség) előállítása a környezettel szemben is fokozott követelményeket támaszt, illetve attól való elszigetelést követeli meg. Természetesen a jelenlévő munkaerő (dolgozó) ergonómiai igényeire is tekintettel kell lenni. Elkészítettük EMBER + MKGSI + KÖRNYEZET – rendszer kapcsolatainak új blokk-sémáját [28], valamint a környezettel kapcsolatos követelményeket behatároltuk illetve ellenőriztük azokat, ami pl. nanotechnológiai laboratóriumok és üzemei, mérőlaborok tervezésénél hasznosulhat. A passzív gép és műszeralapozást a lengőrendszerre felírt differenciálegyenlet megoldásával tettük egzakttá és tervezhetővé. A témában készült [34] cikket lektorált külföldi folyóirat elfogadta.

4. ABRAZÍV KOPÁS MODELLEZÉSE ÉS A SZEMCSETÖRÉS VIZSGÁLATA

Dörzsköszörülésnél és köszörülésnél a megmunkált felület pontosságát és felületminőségét – más tényezők mellett – a szerszám és munkadarab kölcsönhatási zónájában szerszámból letört, kötésből kiszakadt, abrazív kemény szemcsék is rontják. A kutatás során a szemcsetörés mechanikai modelljét elkészítve, kérdéses: a szemcse törését milyen nagy erő okozza? A felállított differenciálegyenlet megoldása adja a kérdésre a választ. Így a lehetséges a helyes szerszámválasztás és a kívánatos technológiai adat beállítása. Amíg a szemcsetörés szabadon mozoghat a szerszám forgácsoló felülete és a megmunkált felület között a háromtest-abrazív kopás esete áll elő.

Hasonló a helyzet szerszámok és munkadarabok (pl. forgácsoló-, alakító szerszámok) esetén is. Ilyenkor pl. karbid szemcsék okozzák döntően a kopást. Más kopásfajtákat elhanyagoljuk, illetve aditív tagként számításba vehetjük. A háromtest-abrazív kopási folyamatának vizsgálatánál felírtuk a kopási sebességeket – általánosabban: anyagleválasztási sebességeket.

Így kapott differenciál egyenleteket integrálva az anyagleválasztás (kopás) meghatározható [13].

A kidolgozott új abrazív kopási modell gépelempárok, forgácsoló szerszámok hát- és homlok felületeinek abrazív kopását, abrazív szerszámok hasonló elvű tönkremenetelét helyesen leírja, tervezhetővé teszi.

Eredményeket nemzetközi szakmai fórumon publikáltuk, hazai és külföldi folyóiratcikk jelent meg [2, 5, 9, 13, 25, 30].

5. TÜKRÖSÍTÉSI FOLYAMAT MODELLELZÉSE

A szabad abrazív szemcsékkel végzett befejező megmunkálások, illetve mikroforgácsolási eljárás egyik válfaja a tükrösítés vagy leppelés. Leggyakrabban alkalmazott technológiai beállítás (szerszám- vagy tükrösítő tárcsa-nyomás) mellett fizikailag hasonlóak játszódnak le, mint amit az általunk kidolgozott abrazív kopásmodell ír le. Igazából az abrazív kopási folyamatokban mindig jelen van mikroforgácsolás is. Tükrösítésnél a felületi érdességcsúcsok és vékony roncsolt felületi rétegek leválasztása a feladat. Cél a munkadarab kívánt „tükrös” felületminőségének, pontos méretének és alakjának megadása (pl. nulla-osztályú mérőhasábok gyártása). Általunk kidolgozott kopásmodell kopási/anyagleválasztási sebességet megadó két differenciálegyenlete közül azt, amelyik most a tükrösítendő munkadarabra vonatkozik lehetőleg maximumra kell állítani, (intenzív legyen az anyagleválasztás) illetve a szerszámra (abrazív szemcsék + tükrösítő szerszám vagy tárcsa) vonatkozót a minimumra (lehetőleg keveset kopjanak).

A tükrösítés modelljét [16]-ban közöltük le, amelyhez a [13, 25, 30] publikációink eredményeit és levezetését is felhasználtuk.

6. ABRAZÍV MEGMUNKÁLÁSOK MODELLEZÉSE ÉS FELÜLETEINEK LEÍRÁSA SZTOCHASZTIKUS FÜGGVÉNYEKSEL, FRAKTÁLOKKAL

Abrazív megmunkálások (munkadarab és szerszám felületek, azok kölcsönhatásai) leírásának egyik korszerű, új lehetősége a sztochasztikus összefüggések alkalmazása. Abrazív szerszámok, amelyek apró szemcsék sokaságából állnak és a szemcsék geometriája egyenként egyedi, kötőanyagban való elhelyezkedése is véletlenszerű.

Fegyverneki Sándorral a következőket vettünk figyelembe: A felületek érdességének és azok érintkezésének leírása során az elmélet két fő vonulata alakult ki. A Greenwood-Williamson

cikkkel indított és a későbbiekben számos cikkben pontosított, továbbfejlesztett elmélet, illetve a Majumdar-Bhushan cikkhez köthető, de már számos előzménnyel rendelkező fraktáldimenziós leírás (hivatkozott cikkek [22, 23] publikációink irodalomjegyzékében). Vizsgálataink során az egyszerű fixdimenziós Majumdar-Bhushan elmélet helyett ennek általánosításával foglalkoztunk és a fraktálex fogalmán keresztül a legtöbb alkalmazásban előforduló esetben különböző módszerekkel lehetőség van a profilogramok alapján a fraktáldimenzió becslésére. Ehhez elkészült egy szoftver, amellyel a következő időszakban valódi méréseredményeket lehet feldolgozni. További eredmény, hogy a Blackmore-Zhou elmélet esetében nem bizonyított dimenziót sikerült némi kiegészítő (az általánosságot nem csökkentő) feltétel esetén bizonyítani [23]. Ez a gyakorlati példákkal együtt alkalmas arra, hogy egy újabb cikk szülessen a későbbiekben. Publikáltuk abrazív felületek újszerű osztályozását, matematikai leírását [22, 23]. E szerint megkülönböztettük Gauss eloszlású stracionárius izotróp és anizotróp felületeket, illetve Blackmore-Zhou módszer alkalmazásával anizotróp és szigorúan anizotróp felületeket [22].

Az abrazív befejezőmunkálások új sztochasztikus modelljét is eredményesen fejlesztettük és publikáltuk [10, 19]. A határozatlan élgeometriájú, sokélú abrazív szerszámokkal (pl. köszörülés, dörzsköszörülés) végzett mikroforgácsolás leírható úgy is hogy a szerszám- és munkadarab kölcsönhatásba lépő felületeit sztochasztikus mezőkkel írjuk le, illetve az anyagválasztás szempontjából meghatározó tengely- vagy normál metszeteivel, mikrogeometriai profilokkal, illetve azokat leíró sztochasztikus függvényekkel dolgozunk. A szerszámból kiálló, legmagasabb abrazív szemcsék kerülnek először forgácsoló helyzetbe.

A szerszámhoz, mint viszonyítási rendszerhez képest a munkadarab mozgási pályáját (trajektóriája) felírtuk.

A radiális anyagválasztási sebességet meghatároztuk, ami függ a munkadarab anyagjellemzőitől, abrazív szerszámtól valamint a szerszámra ható radiális erőtől (gépen szerszámnyomás állítható) és a sebességkomponensektől. Ezek a paraméterek a technológiai tervezés kezében vannak. A megmunkálási idő a ráhagyással arányos. A kísérleti vizsgálatok az új sztochasztikus modell helyességét igazolták.

7. DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS BEFEJEZŐ SZAKASZÁNAK OPTIMÁLÁSA

A dörzsköszörülésnél a folyamat eredményességét számos tényező befolyásolja. Ezek tételes összefoglalása [27] cikkünk első részében található. Kidolgoztuk technológiai tervezőmunkánál használható alapvető empirikus összefüggéseket, amelyek átlagos érdekesség,

anyagleválasztás és szerszámkopás értékeire adnak adatokat a szerszámnyomás függvényében [11]. Összehasonlítva például az egylépcsős és háromlépcsős szerszámnyomással végzett dörzsköszörülést, attól függően, hogy előmunkáló- vagy befejező fokozatban kívánunk dolgozni, különböző lesz a megmunkálás minősége és intenzitása. Előmunkáló fokozatnál viszonylag nagy a szerszámnyomás és ennek következtében nagy az anyagleválasztási sebesség, a szerszámkopás és a munkadarab felületi érdessége. Befejező fokozatban kis szerszámnyomást állítunk be, lecsökken az anyagleválasztási sebesség, a szerszámkopás és kis felületi érdességet kapunk. A megmunkálás befejező szakaszán megvizsgáltuk a szerszám forgácsoló felületét és azt tapasztaltuk (optikai mikroszkóp segítségével), hogy az abrazív szemcsék csúcsai lekopnak, szemcséken platók alakulnak ki, szemcsék között kötőanyaggal határolt terekbe leválasztott fémrészek, szerszámából kopástermékek tapadnak. „Kisimul” a szerszám felülete, ami a korábban sok éles, abrazív forgácsoló szemcsét mutatott és aktívan részt vett a munkadarab érdességi csúcsainak leválasztásában (L. [17] 1. ábra). Közben a munkadarab felülete egyre simább, érdesség lecsökken. A munkatér bőségesen kap hűtő-kenő olajat. A kísérleti tapasztalatok alapján megállapítottuk, hogy a hűtő-kenőanyagból olajfilm alakul ki a kisimult szerszám és munkadarab felületek között, utóbbiak kölcsönhatása (mikroforgácsolás és súrlódás, anyagleválasztás és szerszámkopás) megszűnik. A hosszúlökétű és rövidlökétű dörzsköszörülés (honolás vagy szuperfiniselés) esetére felírtuk a Navier-Stokes egyenletet, annak új alkalmazását, amelynek megoldása bizonyítja a fenti olajfilm kialakulását, meglétét. Ez egyben a folyamat automatikus végét jelzi, itt abba kell hagyni a dörzsköszörülést, nincs már anyagleválasztás [17]. Üzemi technológia számára ennek ismertében előre meghatározható a dörzsköszörülés befejező szakaszához az optimális szerszámnyomás értéke, illetve a megmunkálási idő.

A furatok dörzsköszörülésénél az anyagleválasztást megbízhatóan pneumatikus úton mértük, ennek a mérőfej fejlesztésnek egyik mellékterméke a poligon normálmetszetű furatok ellenőrzéséhez kifejlesztett pneumatikus mérőfej, új mérési megoldás, aminek méretezési összefüggéseit is kidolgoztuk és publikáltuk [26].

8. A DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS FELÜLETMINŐSÉGÉNEK TERVEZÉSE ÉS JAVÍTÁSA

A dörzsköszörült felület felületminőségét, a felület topográfiáját, kenőanyag tároló karrendszer tervezése és kialakítása céljából vizsgáltuk [29]. A topográfia egyrészt a szerszám (forgácsoló abrazív szemcsék) egyfajta forgácsolás általi háromdimenziós lenyomata, másrészt a munkadarab – szerszám páros relatív mozgásai által kialakított

trajektória kétdimenziós képe. A lehetséges mozgás kombinációkat a szükséges alapmozgásokra szuperponált rezgőmozgások biztosíthatják (L. [29] 1. ábra). A javaslat újdonsága az, hogy tangenciás mozgásra is rezgőmozgást ad, és a felületi topográfia célirányosan pl. jobb kenhetőség) változtatható. A [33] publikációt lektorált külföldi folyóirat közlésre elfogadta.

9. DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS JÓSÁGI MUTATÓI ÉS TECHNOLÓGIAI OPTIMÁLÁSA

A dörzsköszörülés eredménye, minősége (pontosság, felületminőség) és a folyamat lefolyása nagyszámú tényezőtől függ. Ezt a [27] publikáció 1. és 2. ábráján foglaltuk össze. Ábrák a technológiai beavatkozás lehetőségét mutatják, illetve technológiai paraméterek hatását a folyamatra. További fontos jellemzők: az anyagleválasztási és szerszámkopási sebesség és kettő hányadosa a dörzsköszörülési arány, ami megmutatja, hogy egységnyi térfogatú abrazív szerszámmal mennyi anyag választható le a munkadarabról. Ez alapján a szerszámok minősíthetők. A technológiai paraméterek megválasztásánál fontos a szerszámnyomás nagysága, illetve változásának jellege. Befejező dörzsköszörülés [26] esetén a folyamat leírható Taylor- éltartam egyenlettel analóg hatványfüggvénnyel [27]. Abrazív szemcsék fizikai jellemzői segítségével olyan komplex minőségi mutató vezethető le, amit dörzsköszörülés optimalására használunk.

A [31] cikkben bemutattuk a heurisztika alkalmazását. Kidolgoztuk a költségalapú optimalást, ami szintén újdonság. A kidolgozott eljárás szűkített megmunkálási költségből indul. Bevezetjük a fajlagos megmunkálási költséget (főidővel arányos) és fajlagos szerszámköltségeket, amelyből költségfüggvény felírható [31], illetve fajlagos dörzsköszörülési költséget bevezetve az egyenlet deriválása adja a lehetséges optimum helyeket (pl. költség minimum vagy anyagleválasztási sebesség maximum helyét). A kidolgozott új módszer más abrazív megmunkálásoknál is alkalmas optimalásra. A publikációt szakmai zsűri beavlogatta rangos egyetemi közleményekbe [32].