

## POLIAMID FORGÁCSOLHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA KÍSÉRLETTERV SEGÍTSÉGÉVEL

### THE EXAMINATION OF CUTTING ABILITY OF POLYAMIDE WITH THE HELP OF DESIGN OF EXPERIMENT

Horváth Richárd<sup>1</sup>, Drégelyi-Kiss Ágota<sup>2</sup>

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1081 Magyarország, Budapest, Népszínház utca, 8.

<sup>1</sup>[horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu](mailto:horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu);

<sup>2</sup>[dregelyi.agota@bgk.uni-obuda.hu](mailto:dregelyi.agota@bgk.uni-obuda.hu)

#### Abstract

The development of novel engineering plastics and their use in the industry are characterized by a growing tendency nowadays. The finishing operation of the engineering plastics can be cutting. In this article the authors examined the cutting ability of a commonly used engineering plastics (polyamide) by help of design of experiment. The basic goal was creating phenomenological models, by which it can be easily estimated the surface roughness parameters ( $R_a$ ,  $R_z$ ) as function of the input cutting parameters.

**Keywords:** polyamide, turning, design of experiment, surface roughness, phenomenological model

#### Összefoglalás

Új típusú műszaki műanyagok kifejlesztése és ezek egyre szélesebb körben való felhasználása napjainkban is jól érzékelhető tendencia. A műszaki műanyagok befejező megmunkálása gyakran forgácsolással történik. Jelen cikkben a szerzők egy általánosan használt műszaki műanyag (poliamid) forgácsolhatóságát vizsgálják kísérletterv segítségével. A kísérlet célja olyan fenomenológiai modell felállítása, mellyel az iparban gyakran használt  $R_a$  és  $R_z$  érdességi paraméterek könnyen becsülhetők a bemenő (vizsgált) forgácsolási paraméterek függvényében.

**Kulcsszavak:** poliamid, esztergálás, kísérletterv, felületi érdesség, fenomenológiai model

#### 1. Bevezetés

Műszaki műanyagoknak nevezzük azokat a hőre lágyuló vagy keményedő szintetikus anyagokat, amelyek alapvetően műszaki területen, szerkezeti anyagként használatosak. Többek között mechanikai szilárdságuk, villamos tulajdonságaik, alkal-

massá teszik őket a hagyományos szerkezeti anyagok helyettesítésére [1]. A műszaki műanyagok befejező felületi megmunkálása gyakran történik forgácsolással. A műszaki műanyagok egyre terjedő felhasználása következtében napjainkban számos kutató foglalkozik forgácsolhatóságuk beható vizsgálatával. Ezeket a vizsgálatokat több-

nyire célszerű kísérletterv segítségével végzik, hiszen az alkalmasan megválasztott kísérleti paraméterek felhasználásával viszonylag kevés mérési pontból is sok információ nyerhető ki.

Kumar és társai [2] üvegszál erősítésű műanyag esztergálása során mérték a fellépő forgácsoló erőket és Taguchi módszerrel keresték annak optimumát. Nagyszámú bemenő (forgácsolási) paraméter figyelembe vételével azt vizsgálták, hogy mely paramétereknek van szignifikáns hatása a fellépő forgácsoló erőkre.

Lazarevic és társai [3] szintén Taguchi módszert alkalmaztak, hogy meghatározzák a poliamid (PA6) anyagminőség esztergálása során azokat az optimális forgácsolási paramétereket, melyekkel minimalizálható a gyártott felületek érdessége.

Hanafi és társai [4] szénszál erősítésű polimer vizsgálata során olyan prediktív modelleket állítottak fel, amelyek alkalmasak a bemenő forgácsolási paraméterek és a forgácsolási erő közötti kapcsolatot leírására.

Mata és Gaitonde [5] szintén prediktív modelleket alkalmaztak, részben erősítetlen, részben 30% karbonszál és 30% üvegszál erősítésű PEEK esztergálásának vizsgálatakor. Céljuk volt, hogy a forgácsolási paraméterek és a forgácsolási erő kapcsolatát leírják, valamint elemezték a karbon és üvegszál erősítés hatását a forgácsolhatóságra.

Hanafi és társai [6] szintén 30% szénszál erősítésű PEEK esztergálását vizsgálták, és optimalizálták a technológiai paramétereket Taguchi módszert alkalmazva. Az optimalizálás célja a minimális forgácsolási erő és a legjobb felületi érdesség elérése volt.

Jelen cikkben poliamid forgácsolhatóságának vizsgálati eredményei ismertetjük esztergálás technológiára vonatkozóan. A vizsgálatokat egy célszerűen kialakított kísérletterv segítségével végeztük,

Célunk alapvetően egy olyan fenomenológiai modell kifejlesztése volt, mellyel a technológiai tervezésben elvárt pontossággal becsülhetőek a várható felületi érdesség szokásos paraméterei ( $R_a$  – átlagos felületi érdesség,  $\mu\text{m}$ ;  $R_z$  – egyenetlenség magasság,  $\mu\text{m}$ ) a bemenő forgácsolási paraméterek függvényében.

## 2. Anyagok és módszerek

### 2.1 A kísérletben felhasznált eszközök

Forgácsolási kísérleteinket poliamid (PA6) műanyagon ( $\varnothing 60\text{ mm}$ ) végeztük. A poliamid kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkező, szemikristályos, hőre lágyuló műanyag [1], terjedő felhasználását előnyös tulajdonságainak köszönheti: kiváló kopásállóság; siklási tulajdonságok; jó vegyszerállóság; megfelelő villamos tulajdonságok; az erősítetlen típusok az égést nem táplálják.

A forgácsolási kísérleteket MAZAK SUPER QUICK TURN 10MS CNC esztergán hajtottuk végre ( $P_{\text{max}} = 11\text{ kW}$ ;  $n_{\text{max}} = 6000\text{ 1/min}$ ).

A vizsgálatokat keményfém szerszámmal (TaeguTec TDA 6.00-3.00 K10) (1. ábra) végeztük (szerszám tartó: TaeguTec T-Clamp TTER 20 20-6).



1. ábra. Kísérletben alkalmazott keményfém szerszám

Felületi érdesség mérése Mitutoyo Surf-test SJ 301 műszerrel történt. A méréseket hatszor végeztünk el a hengeres munkadarab palástja mentén,  $60^\circ$ -onként (2. ábra).



2. ábra. Poliamid felületének édesség mérése

## 2.2 Az alkalmazott kísérleti módszer

Munkánkban, a kísérletek végrehajtásához a válaszfelület módszerét (RSM) alkalmaztuk, ún. centrál kompozit kísérlettervet (CCD) valósítottunk meg, amely során a 3 bemenő faktort (forgácsolási sebesség -  $v_c$ ; előtolás -  $f$ ; fogásmélység -  $a_p$ ) 5 szinten változtattuk és mértük a függő változók (output adatok) értékeit ( $R_a$ ,  $R_z$ ).

Kapcsolatot kerestünk a bemenő ( $v_c$ ,  $f$ ,  $a$ ) és a kimenő paraméterek ( $R_a$ ,  $R_z$ ) között az alábbi formula felhasználásával:

$$Y = \Omega(v_c, f, a) \quad (1)$$

A többváltozós  $\Omega$  válaszfüggvényt az alábbi alakban definiáltuk:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot v_c + b_2 \cdot f + b_3 \cdot a + b_{11} \cdot v_c^2 + b_{22} \cdot f^2 + b_{33} \cdot a^2 + b_{12} \cdot v_c \cdot f + b_{13} \cdot v_c \cdot a + b_{23} \cdot f \cdot a + \varepsilon \quad (2)$$

ahol  $b_0$ ,  $b_i$  és  $b_{ij}$  a számított koefficiens,  $v_c$ ,  $f$ ,  $a$  bemenő paraméterek, és  $\varepsilon$  a hibatar.

A három bemenő faktor szintenkénti értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A bemenő 3 faktor 5 szinten változtatva

Szintek	Faktorok		
	$v_c$ , mm/min	$f$ , mm	$a$ , mm
-1,28719	100	0,050	0,50
-1	167	0,089	0,67
0	400	0,225	1,25
1	633	0,361	1,83
1,28719	700	0,400	2,00

A centrál kompozit terv mérési pontjait a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A mérési pontok forgácsolási paramétere (két centrumpontbeli ismételéssel)

Mérési pontok	$v_c$ , m/min	$f$ , mm	$a$ , mm
1	167	0,089	0,67
2	167	0,089	1,83
3	167	0,361	0,67
4	167	0,361	1,83
5	633	0,089	0,67
6	633	0,089	1,83
7	633	0,361	0,67
8	633	0,361	1,83
9	100	0,225	1,25
10	700	0,225	1,25
11	400	0,050	1,25
12	400	0,400	1,25
13	400	0,225	0,50
14	400	0,225	2,00
15 (C)	400	0,225	1,25
16 (C)	400	0,225	1,25

## 3. Eredmények

A szignifikancia vizsgálatok elvégzését követően konstruált modellek kizárólag a szignifikáns tagokat tartalmazzák. A felületi édesség ( $R_a$ ,  $R_z$ ) paramétereinek becslésére a létrehozott modell-egyenletek (2) alapján az alábbiak:

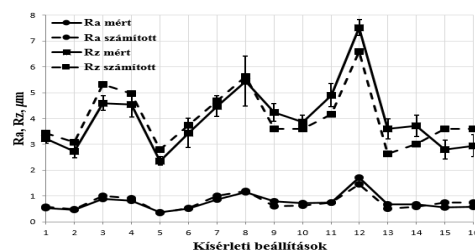
$$R_a = 0,42 + 2,24 \cdot 10^{-4} \cdot v_c - 3,87 \cdot f + 0,74 \cdot a - 1,52 \cdot 10^{-6} \cdot v_c^2 + 1,145 \cdot f^2 - 0,36 \cdot a^2 + 1,76 \cdot 10^{-3} \cdot v_c \cdot f + 4,99 \cdot 10^{-4} \cdot v_c \cdot a \quad (3)$$

$$(R^2 = 0,78)$$

$$R_z = 3,70 - 3,01 \cdot 10^{-3} \cdot v_c - 19,19 \cdot f + 2,728 \cdot a + 58,08 \cdot f^2 - 1,38 \cdot a^2 + 2,42 \cdot 10^{-3} \cdot v_c \cdot a \quad (4)$$

$$(R^2 = 0,71)$$

A mért értékek és a számított értékek ábrázolása a mérési pontok függvényében a 3. ábrán látható.

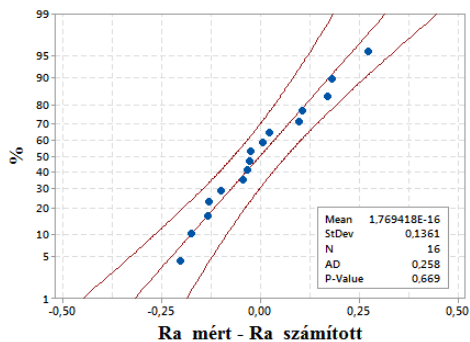


3. ábra. A mért és a számított felületi édességek ( $R_a$ ,  $R_z$ ) a mérési pontok függvényében

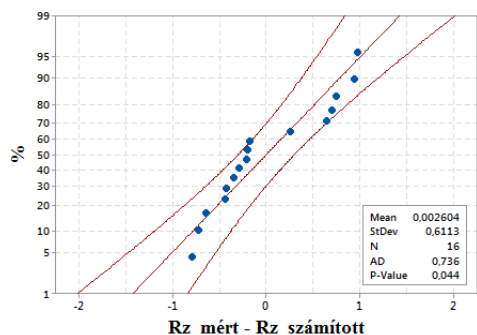
A diagramból (3. ábra) kitűnik, hogy a fenti egyenletekkel (3, 4) becsült érdességi paraméterek jól közelítik a mért értékeket. Az  $R_a$  érdességi paraméter esetében a számított értékek illeszkedése a mért pontokra jobb, mint  $R_z$  paraméter esetében.

Ennek valószínű oka az, hogy a mért felületi érdesség szórása nagyobb az  $R_z$  paraméter esetében, mint az  $R_a$  esetén. Ebből adódóan az egyenletek illeszkedési pontossága is különböző mérvű, az  $R_a$  paramétert becsülő modellé jobb.

A mért és a számított értékek közötti különbségek (a becslés hibája) normalitás vizsgálata azt mutatja, hogy a hibák várható értéke nulla körüli érték, az eltérések közel normál eloszlásúak (4. és 5. ábrák).



4. ábra. Az  $R_a$  paraméterre vonatkozó normalitás-vizsgálat eredménye



5. ábra. Az  $R_z$  paraméterre vonatkozó normalitás-vizsgálat eredménye

## 4. Következtetések

Vizsgáltuk a PA6 műanyag forgácsolhatóságát a gyártáskor létrejött felületi érdesség szempontjából egy alkalmasan választott kísérletterv segítségével. Következtetéseink az alábbiakban összegezhetők:

- a kísérlettervezés kiválóan alkalmazható módszer a forgácsolás-kutatásban, ugyanis viszonylag kevés számú mérésből jelentős információ mennyiség nyerhető, így a költségek csökkenthetők;
- az iparban elterjedten használatos  $R_a$  és  $R_z$  paraméterek becslésére a redukált, forgácsoló paraméterektől függő egyenleteket konstruáltunk. Ezekkel az elvárt pontossággal becsülhetők a felületi érdesség paraméterei.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Füzes, L., Kelemen, A.: *Műszaki műanyagok zsebkönyve*, Műszaki könyvkiadó, 1988
- [2] Kumar, S., Gupta, M., Satsangi, P.S.: *Multiple-response optimization of cutting forces in turning of UD-GFRP composite using Distance-Based Pareto Genetic Algorithm approach*, Engineering Science and Technology an International Journal, 2015, 680–695.
- [3] Lazarevic, D., Madic, M., Jankovic, P., Lazarevic, A.: *Surface roughness minimization of polyamide pa-6 turning by taguchi method*, Journal of production engineering, 2011, vol.15, 29–32.
- [4] Hanafi, I., Khamlichi, A., Jabbouri, A.: *Fuzzy rule based predictive model for cutting force in turning of reinforced PEEK composite*, Measurement, 2011, vol. 45
- [5] Mata, F., Gaitonde, V.N.: *Influence of cutting conditions on machinability aspects of PEEK, PEEK CF 30 and PEEK GF 30 composites using PCD tools*, Journal of materials processing technology, 2009, 1980–1987
- [6] Hanafi, I., Khamlichi, A., Cabrera, F.M., Almansa, E., Jabbouri, A.: *Optimization of cutting conditions for sustainable machining of PEEK-CF30 using TiN tools*, Journal of Cleaner Production, 2012, 1–9.