

Beállási idők előrejelzése polimerek forgácsolásánál

Viharos Zsolt János¹, Paniti Imre^{1*}, Farkas János²

¹MTA SZTAKI

²NYME SKK, EuropTec Kft.

*paniti.imre@sztaki.mta.hu

Összefoglalás

A cikk az EuropTec Kft. fő profiljával a polimer-forgácsolással foglalkozik, azon belül is a beállási idők előrejelzésével. Termékeik 20 %-a új munkadarab, azaz 5 évente csaknem lecserélődik a teljes termékportfólió. A beállási folyamat felépítésének vizsgálata mellett bemutatásra kerül egy empirikus úton kidolgozott modell, amely több száz valós ipari beállítás paramétere alapján került meghatározásra. A modellben használt korrekciós faktorok figyelembe veszik a szerszámok száma mellett az anyag forgácsolhatóságát, a felületi minőséget és a tűrésmező szélességét.

Kulcsszavak:

beállási idő, előrejelzés, polimer, forgácsolás

1. Bevezetés

A forgácsoló eljárások hallatán, az emberek zöme nyilván a fémgácsolásra, esetleg a fa forgácsolására gondol. Ha műanyag alkatrészek gyártásáról van szó, inkább a fröccsöntésre, és egyéb melegalakítási technológiákra asszociálunk, bár már polimerek esetében is beszélhetünk például dörzshegesztésről [1-2]. A gyártott műanyag alkatrészek nagy rész valóban ezekkel a hagyományosnak mondható technológiákkal készül, azonban a forgácsolásra is érdemes gondolni a gyártástechnológia kiválasztása során. Főleg akkor van létjogosultsága, ha a legyártani tervezett mennyiség nem túl sok (ideális esetben 100-1000 db). Ekkor az egy darabra vetített szerszámki költség fröccsöntés során túl magas lenne [3].

A forgácsolás CNC gépeken történhet; több műveletből álló marással, és/vagy esztergálással. A beállítás a forgácsolási művelet része, az azt megelőző gépbeállítást takarja. A beállítás onnan számítódik, hogy az előző termék gyártása befejeződött, és az új termékhez szükséges kellékek, mint pl. a szerszámok, anyag, stb. már elő vannak készítve. **Akkor tekintjük lezártnak, és sikeresnek a beállási folyamatot, ha a szerszám gép megfelelő darabot gyárt.**

A marás, és esztergálás műveleteit külön kell tárgyalni. Marás esetén az NC programok Mastercam® X6 CAM szoftver segítségével készülnek, míg az eszterga programok kézzel íródnak, ekkor a programírás hozzáadódik a beállási időhöz.

A fő cél az, hogy az egy termékre vetített idő, amit az a termelésben tölt, minél kevesebb legyen, azaz a termelésben a tartózkodási ideje csökkenjen. Vannak, akik az átállás azon részét vizsgálják, ahol a beállítás már befejeződött [4].

Diganta Das és munkatársai [5] átfogó irodalmi áttekintést nyújtanak a beállási idők különböző becslési

módszereiről. Munkájukban a termék befogási módjára épülő beállási idő becslését dolgozták ki 3 tengelyes megmunkálások esetén. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy a szakirodalom főleg ütemezési szempontból tekint a beállási időkre [5].

Az EuropTec Kft.-nél a munkák nagy része kis volumenben (100-200 db), de nem ritka az 5-6 darabos széria sem. Évente kb. 10 000 beállási művelettel kell kalkulálni, így már egy kismértékű időbeli nyereség beállásonként összességében rengeteg időt jelent.

Jelenleg a beállási idők a teljes termelési idő 20%-át teszik ki. Előzetes számításokból kiderült, hogy 20%-os beállási idő csökkenés - ami reális cél lehet - a termék összején, a termelési költséget 4%-al csökkenti.

2. A beállási folyamat felépítése, első számítások

A beállási folyamat több részfolyamatból tevődik össze, amit az alábbiakban mért átlagos időigényekkel részletezünk. A mérések 15 beállítás elemzésével készültek. Az előző munka kiszerszámozása után az új munkát elő kell készíteni.

Az előkészítés átlagos ideje: 4 [perc]

Patron cseréje, szorítóerő beállítása: 2 [perc]

• Programozás

$$t_{pr} = N \cdot 1[\text{perc}] \quad (1)$$

Ahol N a szerszámok száma, t_{pr} pedig a program átírásához szükséges idő.

• Bemérés

$$t_{bem} = N \cdot 2[\text{perc}] + B \cdot 2[\text{perc}] \quad (2)$$

Ahol N a szerszámok száma, B pedig az ellenorsó bemérése. Ha az ellenorsó nincs használatban B = 0, ha van, akkor B = 1.

• Az első darab, és az első jó darab

Ha már a gépnél mért darab megfelelőnek mondható, akkor lehet bevinni a MEO-ba, ahol minden méret, és a felület is mérésre kerül. Van olyan eset is, hogy az adott méretet csak a MEO-ban lehet megmérni. Ebből már látható, hogy az első darab, és az első jó darab között jelentős különbségek lehetnek, a kettő közt eltelt idő okozza a legnagyobb kieső időt, ami az elméleti modelltől való eltérést okozza. Ezt előre megmondani nehéz, több dologtól függhet. Ugyanakkor, ha ilyen hiba nem lép fel, akkor jó közelítéssel számolható, hogy az első darab gyártási ideje, korrigáláshoz szükséges idő, valamint az első jó darab legyártásához az alábbi idő szükséges:

$$t_e = (4 + 1) \cdot t_D + t_{HV} + t_{KORR} = 5 \cdot t_D + 15[\text{perc}] \quad (3)$$

Ahol t_e , az első jó darabhoz szükséges idő, t_D a darabidő, t_{HV} a hűtővíz beállításához szükséges idő, t_{KORR} a korrekciók elvégzéséhez szükséges idő.

A MEO-ban töltött részhez a továbbiakban 30 [perc] –et számítunk.

• Dokumentálás

Összességében nem jelent sok időt, 5 perccel számolható.

Fontos megjegyezni, hogy ezek az idők egy előzetes tájékozódáshoz szolgálnak, pontos időtagokat csak több tíz, esetleg több száz beállítás mérése után lehet megállapítani. Az előzetes megfigyelések közben is tapasztalható, hogy nem várt események miatt a beállási idő megnőtt, volt példa arra is, hogy a duplájára. Korábbi adatok elemzése alapján meg kell figyelni, hogy mi okozhat hibát, ezeket hogy lehet kiküszöbölni, csökkenteni.

3. Korrekciós faktorok

Vannak olyan tényezők, amik többször előfordulnak és feltételezzük, hogy az elhúzódo beállítások sztochasztikus jellegűek. A korábbi beállási adatokat (több évnnyi adat) kielemezzük, és ún. korrekciós faktorokkal kibővívte a beállási idő képletét egy, a valósághoz közelebb álló időt kapunk.

Három hipotézist állítunk fel, és az ezekből kapott eredmények alapján egy képletet hozunk létre a korrekciós tag kiszámítására.

A három hipotézis:

1. A beállási idő függ a termék anyagától: Vannak anyagok, amik esetében a beállási idő több. (Ilyenek a szálerősített anyagok, lágyabb anyagok - pl. PE.)
2. A beállási idő függ a kért felülettől: Minél finomabb a kívánt felület, a megfelelő beállítás annál több ideig tart.
3. A beállási idő függ a tűrésektől: A beállítás során, minél szűkebb a tűrésmező annál tovább tart a megfelelő beállítás.

4. Az empirikus úton kidolgozott modell

A korábban megállapított fix, és szerszámok számától, esetleg darabidőtől függő időrészeket rendezve adódik az új beállási időt meghatározó képlet;

$$t_{beállás} = N \cdot 5 + K \cdot 5 + t_D \cdot 5 + B \cdot 4 + C + t_{KORR} \quad (4)$$

Ahol N a szerszámok száma, K a szerszám tartó cserék száma, B a b oldal jelenléte (1 v. 0), t_{KORR} a korrekciós tag, t_D pedig a darabidő. Ezekon kívül még C, konstans idő adódik hozzá.

Összeadva a fix tagokat: $C = 66$ [perc]

Fontos megjegyezni, hogy jelen esetben, amíg a régebbi beállítások adatait nem elemeztük ki, a korrekciós tagot zérusnak tekintjük, azaz $t_{KORR} = 0$.

5. Az adatok általános kiértékelése

A rendelkezésre álló adatok rendszerezése, és táblázatba foglalása után kaphatunk képet a beállási műveletek tervezett, és valós időszükségletének különbségéről. **5603 beállítás adatai álltak rendelkezésre**, így valós következtetéseket vonhatunk le. A tervezett beállási időtől való százalékos eltérés

alapján számolhatunk tovább. Elsőként az adatok átlagát, és szórását vizsgáljuk. Ugyanakkor, ha csak a százalékos adatok átlagát képezzük az nem ad jó becslést. A súlyozott átlaggal kell tovább számolni, ahol a súlyozás a szerszámok száma lesz. Az 1. Táblázat ezt tárgyalja.

1. Táblázat. Az átlagos eltérések

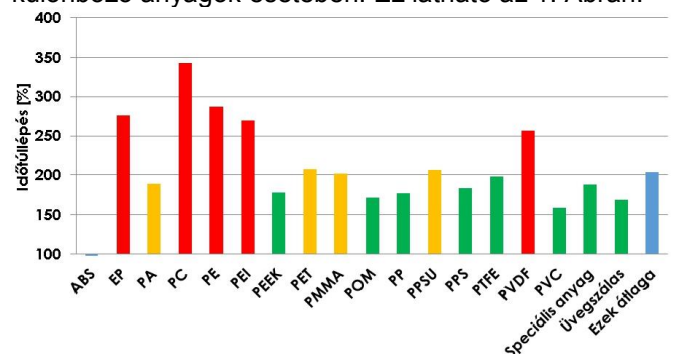
	Normál	Súlyozott	Pozitív súlyozott
Átlag	34,21%	22%	65,50%
Szórás	104%	86,13%	106,31%
Átlag szerszám	7	7	6
Átlagos többletidő	43 perc	28 perc	70 perc

Látszik, hogy a valós, és a kalkulált idők közt jelentős különbség van, pozitív előjelű, tehát **a technológiai idők alábecsülik a beálláshoz szükséges időket**. Amennyiben az elemzés alatt álló munkákhoz átlag 7 szerszám szükséges, ez beállásonként átlagosan 28 perc többletidőt jelent, ami napi 2 beállással számolva majdnem 1 óra kieső idő. Két azonos szerszámszámú munka beállási ideje között nagy eltérés lehet, az eltérések nagyon szórnak. Ebből következik, hogy **nehéz olyan képletet alkotni, amely nagy biztonsággal képes megadni a beálláshoz szükséges időt**.

A további adatelemzéseknél azokat a „problémás” munkákat vizsgáljuk, ahol a beállási idő túllépése több mint 100% volt (konkrétan 578 db esetben a kalkulált idő duplájára volt szükség a beállítás elvégzéséhez). Érdekes, hogy ebbe a sávba nem csak új munkák kerülhetnek, gyakori a már futott munkák beállási idejének nagymértékű túllépése is.

5.1 A beállási idő- anyag összefüggése.

Fontos vizsgálni a 100% időtúllépés feletti termékeket különböző anyagok esetében. Ez látható az 1. Ábrán.



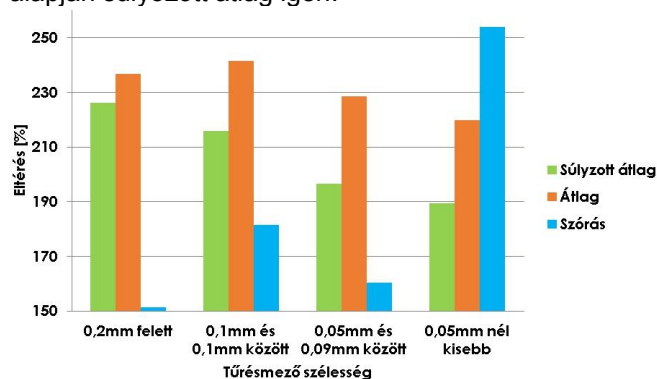
1. Ábra. Az alapanyag eloszlás problémásabb termékeknél.

Elmondható, hogy az anyagfüggésre vonatkozó hipotézis helytálló volt, az alapanyag, és a beállási idő között összefüggés van, és ezzel számolni kell. EP, PC, PE, PEI, és PVDF anyagok esetén több idő szükséges a beálláshoz. Ugyanakkor az a feltételezés, miszerint az üvegszál anyagoknál a beálláshoz több

idő kell nem igaz, az üvegszál erősítés nincs hatással a beállási időre.

5.2 Beállási idő- tűrésmező szélesség összefüggése

A 2. Ábrán látható, hogy az átlag nagyban nem csökken a tűrésmezővel, de a szerszámok száma alapján súlyozott átlag igen.

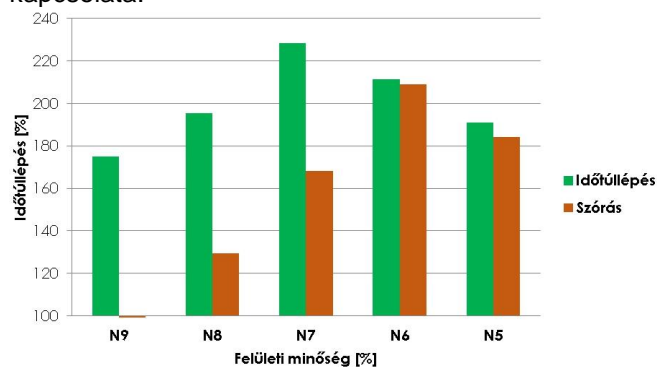


2. Ábra. Tűrésmező-időeltérések összefüggése

Amennyiben figyelembe vesszük a feltüntetett korrigált tapasztalati szórását is, látható, hogy az egyre kisebb tűrésmező szélességekhez egyre nagyobb szórás tartozik, az átlag körüli oszcilláció egyre nagyobb, nehezen megállapítható egy átlagos eltérése a tűrésmező függvényében. Elmondható, hogy a **tűrésmező szélessége, és a beállási idő között egyértelmű kapcsolat nem írható fel** a rendelkezésre álló adatok alapján.

5.3 A felületi minőség és a beállási idő kapcsolata

A 3. Ábrán látható a felületi minőség és az idők kapcsolata.

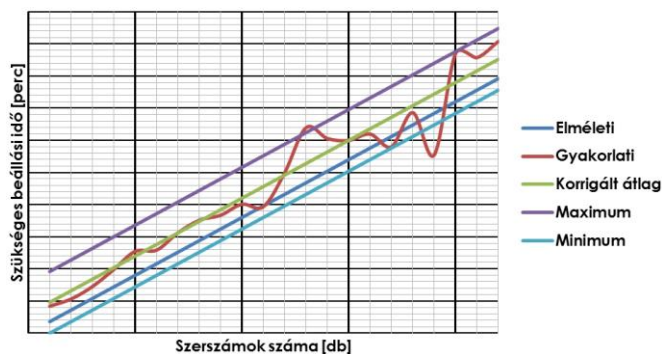


3. Ábra. Felületi minőség és beállási idő összefüggése

A **finomabb felületi minőséghez több beállási idő szükséges**, és ezt a modellben kompenzálni kell.

6. A régi modell összehasonlítása az archív adatokkal

A korábbi modell, és a valós beállási idők kapcsolatát mutatja a 4. Ábra. Az „elméleti” görbe a jelenleg alkalmazott lineáris összefüggést jeleníti meg, azaz a szerszámonként 18 perc beállási időt. A gyakorlati görbén a szerszámonként számolt valós idők láthatóak.



4. Ábra. A jelenlegi modell, és a valós beállási idők kapcsolata

Az ábrából látható, hogy 10 szerszámig a görbe meredeksége szinte egybeesik az elméleti képlettel, valamint 15 szerszámig is jó közelítést ad. A kettő között konstans eltérés tapasztalható. A gyakorlati görbe két burkoló egyenes között fekszik, ezek a minimum, és maximum egyenesek. Ezek esetén is 18 perc/szerszám meredekség jellemző, a jelleg alkalmazott képlethez képest csak konstans eltolás van. Fontos megjegyezni, hogy egyik egyenes sem adna megfelelő beállási időt, a maximum a legtöbb esetben túl, a minimum pedig alábecsülné a szükséges időket. Ezért a korrigált átlag nevű függvényt alkalmazzuk, ami 10 szerszám alatt jó pontossággal állapítja meg a beállási időt. A jelenleg alkalmazott képlethez képest egy 30 perces eltolást tartalmaz, azaz:

$$T = N \cdot 18 + 30[\text{perc}] \quad (5)$$

Ahol N a szerszámok száma. 10 szerszám esetén ez a képlet jól alkalmazható. E felett azonban a beállási idő, és a szerszámok száma között nem lineáris a kapcsolat, ezért itt más megfontolások alapján kell a beállási időt számolni. Itt a korábban említett korrekciós faktorok alkalmazása célszerű.

7. Kompenzáló tagok

Kompenzáláskor a fenn említett késtartó cseréken kívül figyelembe kell venni;

- Az anyagot (M)
- A tűrésmező szélességét (S)
- A felületi minőséget (F)

Az előzetes számítások alapján 34%-nyi eltérést 30%-ra redukáljuk, ezt a legkedvezőtlenebb esetben adjuk hozzá. A három kompenzáló tagot egyenlő súllyal számítjuk.

Anyagok esetén 3 csoportot különböztetünk meg; jól forgácsolható, általános, és nehezen forgácsolható anyagokat. Ezt a korábbi elemzés alapján soroljuk be. Az anyag forgácsolhatóságát az M mérőszámmal jellemezzük.

A felületi minőséget, valamint a tűrésmezőt 4 osztályba sorolhatjuk, S, és F értéke ettől függ. A három paraméter értékét a 2. Táblázat tartalmazza.

2. Táblázat. A korrekciós faktorok megállapítása

Anyag		Felületi minőség		Tűrésmező	
Forgácsolhatóság	M	Felület	F	Szélessége	S
Jól	1	N9 vagy durvább	1	szélesebb mint 0,2 mm	1
Átlagos	2	N8	2	0,2 – 0,1 mm	2
Nehezen	3	N7	3	0,1 – 0,05 mm	3
X	X	N6 vagy finomabb	4	szűkebb, mint 0,05 mm	4

8. Az új modell

Az új modell esetén az alábbi számítási képletet érdemes követni:
10 szerszám vagy az alatt:

$$T = N \cdot 18 + 30[\text{perc}] \quad (6)$$

ahol T a beállási idő, n pedig a szerszámok száma.

10 szerszám felett:

$$T = [1 + 0,1 \cdot (M - 1) + 0,1 \cdot (S - 1) + 0,1 \cdot (F - 1)] + K \cdot 5[\text{perc}] \quad (7)$$

ahol T a beállási idő, n a szerszámok száma, S, M, F a korrekciós faktorok, K pedig a szerszámtartók eltérésének száma.

9. Az új modell tesztelése

A modell alkalmasságát 10 korábbi beállításba visszahelyettesítve vizsgáltuk. Az eredményeket a 3. Táblázat tartalmazza.

3. Táblázat. A modell alkalmasságának vizsgálata

n	Elméleti	Valós	S	F	M	Új modell	Eltérés régi modell esetén	Eltérés új modell esetén
11	198	248	4	2	0	257,4	50	-9,4
12	216	299	1	3	3	302,4	83	-3,4
13	234	397	4	3	1	351	163	46
34	612	1189	4	3	1	918	577	271
15	270	487	3	2	3	405	217	82
21	378	631	3	3	3	604,8	253	26,2
20	360	1085	3	3	3	576	725	509
18	324	607	4	2	1	453,6	283	153,4
16	288	372	4	1	1	374,4	84	-2,4
26	468	659	4	3	1	702	191	-43

10. Értékelés, továbbfejlesztési javaslatok

A fenti próbaszámítások során az új modell kisebb hibával dolgozik a jelenlegi modellhez képest. Általában nagyobb időt ad meg, mint a jelenlegi modell, ami az esetek döntő többségében igaz, ám amikor kevesebb idő szükséges a beálláshoz, mint a jelenlegi modell által számított, akkor az új modell nagyobb hibát vét. Összességében sikerült pontosabb modellt alkotni, de még mindenképp szükséges a továbbfejlesztése. A továbbiakban egy jóval több paramétert magába foglaló modell megalkotása a cél, ami figyelembe veszi többek között a darabszám-, a tűrés-, a felület kategóriák mellett, a szint, a kivitelt, munkadarab egyes méreteit, az esetleges töltőanyagot, a hőkezeltségi állapotot, a gép kategóriáját, a műszak típusát, a technológiai besorolást, valamint a szerszám kategóriát. Fontos minden olyan adatot összegyűjteni, ami a beállási időt befolyásolhatja, majd a megfelelő algoritmusokkal kiválasztani azokat, amelyek az időt leginkább meghatározzák.

Irodalom

- [1] Bilici M. K., Yüklér A. I.: Influence of tool geometry and process parameters on macrostructure and static strength in friction stir spot welded polyethylene sheets. *Materials and Design*, **33**, 145–152 (2012).
- [2] Arici A., Mert S.: Friction stir spot welding of polypropylene. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **27**, 2001–2004 (2008).
- [3] Füzes László, Műanyagok forgácsolása, Műanyagipari Szemle, **6.** szám (2012), <http://muanyagipariszemle.hu/2012/06/muanyagok-forgacsolasa-14.pdf>
- [4] A.R. Mileham, S.J. Culley, G.W. Owen, L.B. Newnes, M.D. Giess, A.N. Bramley, The impact of run-up in ensuring Rapid Changeover, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume **53**, Issue 1, 407-410 (2004).
- [5] Diganta Das, Satyandra K. Gupta, Dana S. Nau: Estimation Of Setup Time For Machined Parts: Accounting For Work-Holding Constraints Using A Vise, *COMPUTERS IN ENGINEERING*, 619-632 (1995).
- [6] Ali Allahverdi, H.M. Soroush, The significance of reducing setup times/setup costs, *European Journal of Operational Research*, Volume **187**, Issue 3, 978-984 (2008).

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával megvalósuló VKSZ_12-1-2013-0038:"Stratégiai ipari ágazatok jövőbemutató gyártási technológiáihoz és termékeihez kapcsolódó térségi kutatási kompetenciák megerősítése széleskörű együttműködésben megvalósított kutatás-fejlesztési programmal" projekt támogatta.