HSC-technológia

Fordította: Major Tamás

GALIKA Szerszámgépek Kft.

+GF+ AgieCharmilles

Tartalomjegyzék

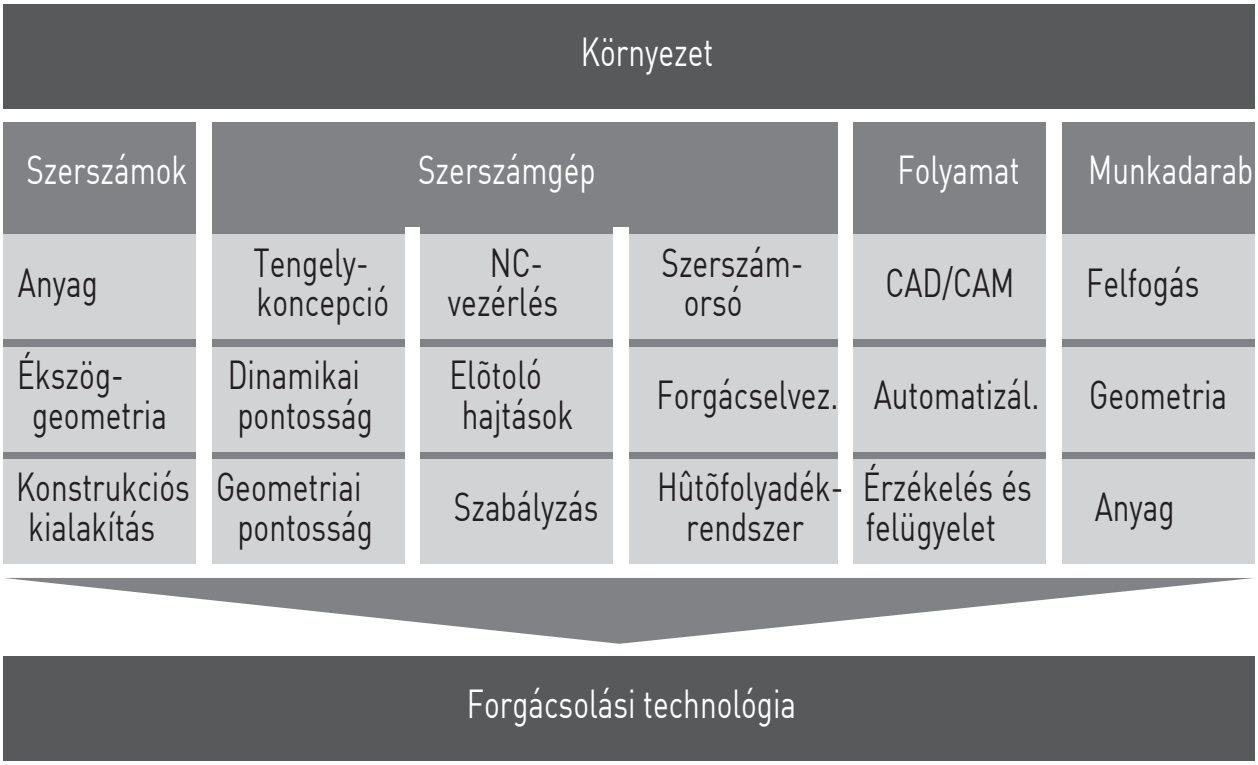
Elõszó **3**
A HSC-marás története **5**
A HSC-forgácsolás elmélete **7**
Forgácsképzõdés a HSC-marásnál 7
Technológiai paraméterek a HSC-marásnál 9
Forgácsolási sebesség 9
Fogankénti elõtolás 13
Fogásvétel 15
Mûveleti sorrend a HSC-marásnál 20
Szerszámgép kiválasztása 20
Munkaelõkészítés a CAx-folyamatláncban 21
Megmunkálási stratégia kiválasztása 22
Lezáró munkalépések 31
A HSC-környezet jellemzõi **33**
Szerszám és szerszámtartó 33
Szerszámtartó típusok 33
Kiegyensúlyozás minõsége és futás 34
A szerszámbefogás technikája 36
Követelmények a HSC-szerszámmal szemben 38
A geometria kihatásai a HSC-folyamatra 38
Szerkezeti anyagok és bevonatok 39
Mûhelykörnyezet 40
A HSC-szerszámgép **42**
Konstrukciós kialakítás 42
Hajtások 47
NC-vezérlés 50
Szerszámorsó 59
Elektronikai felügyelet 60
5-tengelyes technológia 61
A könyv elkészítésének partnerei **66**

Elõszó

Az egyre inkább globalizálódó világgazdaságban a termelõ vállalatok mindennap találkoznak azzal a kihívással, hogy megtartsák és növeljék a globális versenyképességüket. Az olyan tényezõk, mint rugalmasság, technológia, gyártási költségek és átfutási idõk határozzák meg a racionalizálás potenciálját. Csak a változtatásra késztetõ nyomás marad változatlan most és a jövõben.

A hálózatba kapcsolt, számítógéppel támogatott folyamatláncok helyes alkalmazása az új kulcstechnológiákkal együtt képes csak ennek az akrobatikus mutatványnak a megvalósítására.

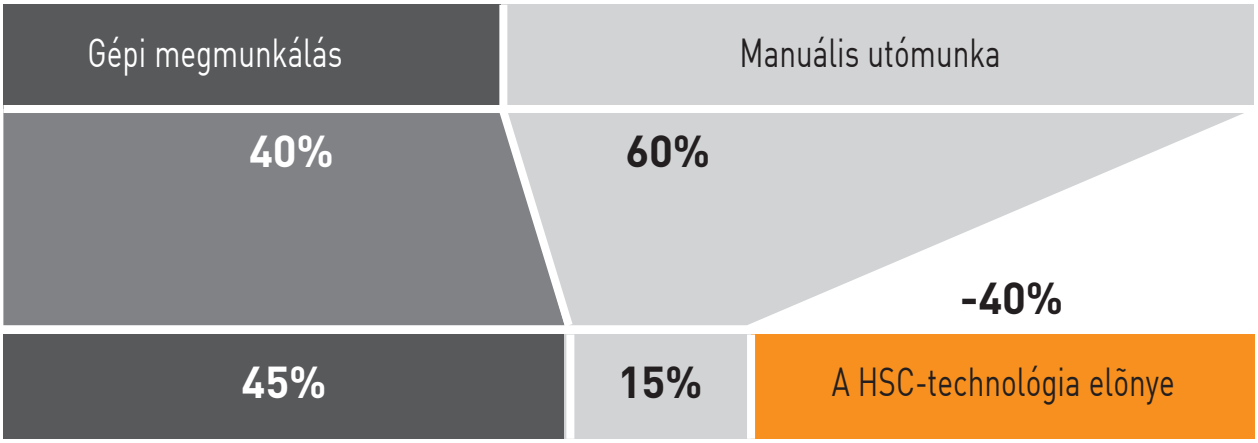
Az a komplexitás, ami a kulcstechnológiák - így a HSC-technológia - mögött rejtõzik, a termelõ vállalatok számára gyakran inkább elrettentõen, mint megvalósításra ösztönzõen hat. Nagy számú tényezõt kell figyelembe venni, ha a HSC-folyamatot megismételhetõen akarjuk kialakítani, ha a manuális utómunkát ki akarjuk köszöbölni, ha a várakozási és beállítási idõket minimalizálni vagy a gépkihasználtságot növelni akarjuk.



Így a HSC marógép gyártója, aki átfogó tanácsokkal látja el ügyfelét, fontos áthidaló funkcióval rendelkezik a HSC-folyamat értelmezése során. Az ügyfelet ezért átfogóan és szakszerûen vezeti be a HSC-technológiába, és iránymutató tanácsokkal látja el.

Ennek a könyvnek az a célja, hogy bemutassa a HSC-technológia fontos összefüggéseit.

Hogy ez a ráfordítás megéri, az alábbi, a forma- és szerszámgyártásra vonatkozó grafika is jól szemlélteti.



A HSC-marás története

A nagy sebességû forgácsolás (más néven High-Speed-Cutting - HSC) kulcsfontosságú technológia a marási technológiák széles spektrumában. A többi marási technológiához képest a különbséget a technológiai paraméterek - fogásvétel, elõtolás, és forgácsolási sebesség - megválasztása jelenti.

A HSC-történelem meglehetõsen korán elkezdõdött.
Az 1930-as évek elején Németországban C. Salomon benyújtott egy szabadalmat. Ebben leírta a hõképzõdés parabolikus lefolyását a forgácsolási folyamatok során. Az alapvetõ megfigyelés vagy hipotézis az volt, hogy egy bizonyos, nagyon nagy forgácsolási sebességtõl kezdve a szerszámélen keletkezõ hõmérsékleti hatás növekvõ forgácsolási sebesség esetén ismét csökken.
A remény, ami ebben az elméletben rejtõzik, a következõ:
A HSS-szerszámokat csak elég gyorsan kell forgatni ahhoz, hogy megakadályozzuk a HSS szerszámanyag elégését és felolvadását (a keményfém, mint szerszámanyag akkoriban még ismeretlen volt). A következõ évtizedekben történt alapkutatások és -kísérletek ellenére az ipari áttörésre hosszú ideig kellett várni. Sõt, Salomon hipotézisét idõ közben el is kellett vetni.
Csak az 1990-es években került a forgácsolási sebesség, mint technológiai paraméter ismét újra a tudományos érdeklõdés középpontjába. Ezúttal azonban módosított feltételek mellett:
A szerszámtechnológiában már keményfém szerszámok is rendelkezésre álltak, és a pályakövetéshez olyan nagy teljesítményû NC-vezérlések léteztek, melyek az NC-mondatokat nemcsak milliszekundumok alatt dolgozták fel, hanem a szerszámpálya változásait is elõre ki tudták számítani. Ezen kívül a gépelemek átfogó ipari szabványosítása az árak és teljesítmények érdekes keverékéhez vezetett.

Kísérleti felismerések	Ok	Alkalmazás
Kiváló pontosság	Munkadarab torzulásmentes megmunkálása. Hõelvezetés a forgáccsal. Kisebb forgácsolási erõk a kevesebb idõegység alatt leválasztott forgács miatt.	Precíziós alkatrészek alumíniumból, acélból, titánból, rézbõl. Vékony és meredek falakkal rendelkezõ alkatrészek megmunkálása lehetséges.
Tökéletes felületek	Nehéz munkadarabok rezgésmentes megmunkálása, mert a gerjesztõ frekvenciák nagyok.	Formák és szerszámok megmunkálása acélból 65 HRC-ig. Szikraforgácsoló elektródák megmunkálása.

A HSC marási technológiának köszönhetõen a megfelelõ szerszámanyagokkal szinte az összes kemény és szívós szerkezeti anyag megmunkálható. Ezen kívül kitûnõ pontosságot lehet a munkadarabokon folyamatbiztosan megvalósítani.

A HSC-forgácsolás elmélete

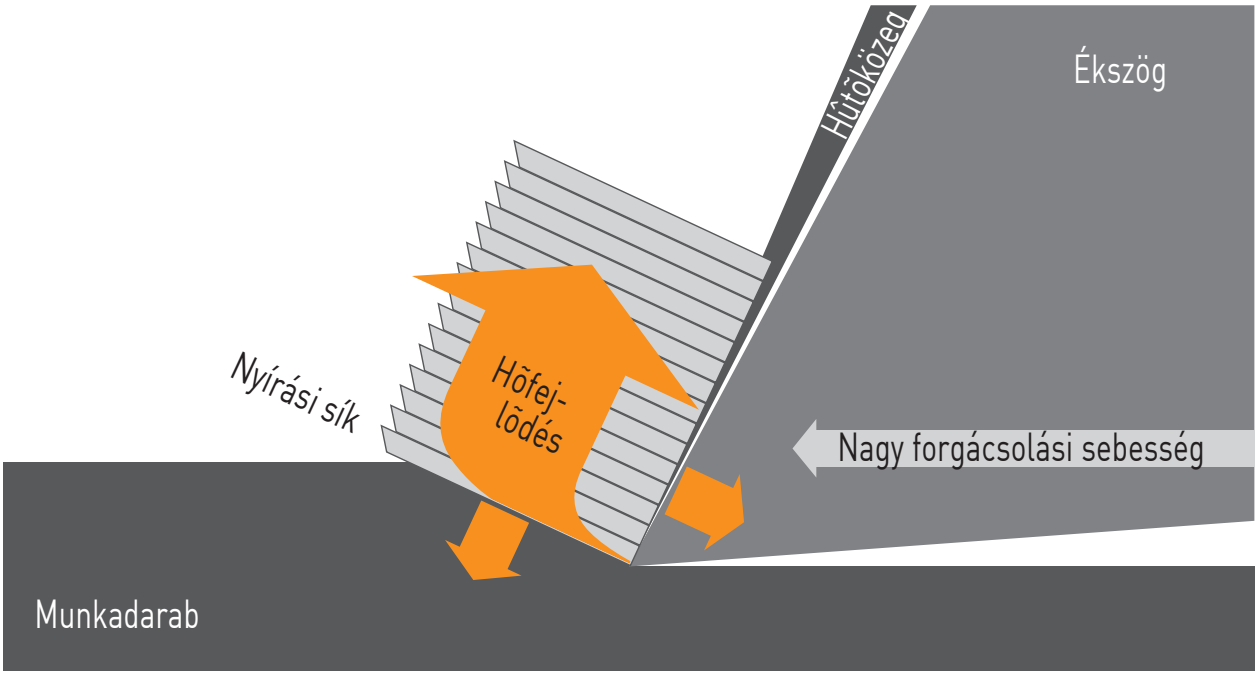
Forgácsképzõdés a HSC-marásnál

A forgácsképzõdési folyamatot lényegében az élgeometria, a fogásmélység és a forgácsolási sebesség befolyásolja.

A forgácsképzõdési folyamat során egy geometriailag definiált szerszámél a munkadarabról anyagot választ (nyír) le. A nyírási zónában történik az anyagátalakulás, majd ezt követi az anyag leszakadása.

Három lényeges mechanizmus figyelhetõ meg:

1. Maradó alakváltozás (alakváltozás az eltolódás miatt a csúszás-síkokban), amit az anyag nyírása követ a nyírási síkban,
2. Súrlódás a képzõdõ forgács és a szerszám között a relatív mozgás miatt,
3. Súrlódás a létrejött - vagyis megmunkált - munkadarab-felület és a szerszám hátlapja között.



A HSC-forgácsképzõdés struktúrális és átfogó beavatkozást jelent a forgácsolás folyamatába. Ez a szerszámélnél kezdõdik és a szerszámgépnél végzõdik.

Ennek a hatásláncnak az eleje a megváltozott forgácsalaknál és -leválasztásnál van. Ezt jelentõsen befolyásolják a technológiai paraméterek: szerszámél geometriája, fogásvétel, fogankénti elõtolás és forgácsolási sebesség.

		Szerszám-Ø 6mm Tömör HM (z = 2) szerszámacélban HRC 58			
		Példa nagyolásra		Példa simításra	
Technológia paraméter		hagyo-mányos	HSC	hagyo-mányos	HSC
Forgácsolási sebesség	m/perc	45	150	160	650
Pályaelõtolás	mm/perc	145	9600	1200	4500
Fogásvétel	mm	Ap = 9 Ap = 6	Ap = 0.1 Ap = 2.5	Ap = 0.06 Ap = 0.06	Ap = 0.06 Ap = 0.06
Fogankénti elõt.	mm	0.03	0.6	0.06	0.06
Orsó-fordulatszám	1/perc	2400	8000	10000	37000
Fajl. teljesítm. Térfogat Q	mm^3/perc	8000	2400	-	-
Fajl. teljesítm. Felület A	mm^2/perc	-	-	72	270
		Nagy leválasz-tott térfogat, nagy forgácsoló erõk	Kis leválasz-tott térfogat, kis forgácsoló erõk	Kis felü-letsimítá-si telje-sítmény	Nagy felü-letsimítá-si telje-sítmény

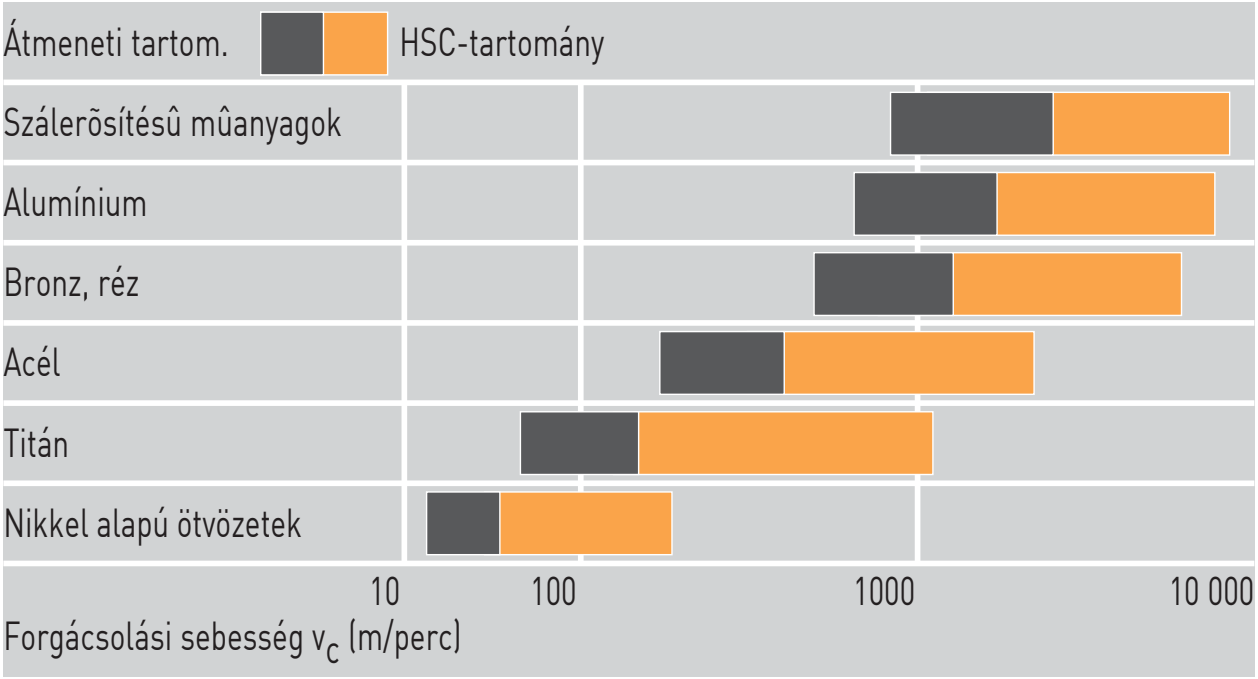
A megváltozott technológiai paraméterek miatt nagy mértékben megnövekszik forgácsolási zóna hõmérséklete. Mivel azonban a HSC-folyamatban a forgácsolási sebesség nagyobb, mint a megmunkálandó anyag hõvezetési sebessége, a munkadarab csak minimális mértékben melegszik fel.
Így megszûnik a munkadarab önfeszültségi állapotának és hõtágulásának megváltozásából adódó keménységi torzulás veszélye.

A kis fogásvétel alacsonyabb tengelyirányú erõt jelent a szerszámon, így kedvezõen befolyásolja a szerszám és a megmunkált felület minimális rugalmas alakváltozását.
A kis fogásvételek és nagy forgácsolási sebességek kombinálásával nagyon kis tûrések valósíthatók meg a munkadarabokon. Ezáltal a legtöbb esetben teljesen kiküszöbölhetõk az utómegmunkálás nagy ráfordítást igénylõ folyamatai.

Technológiai paraméterek a HSC-marásnál

Forgácsolási sebesség

Az optimális HSC-forgácsolási sebesség nagy mértékben függ a megmunkálandó szerkezeti anyagoktól:



A növekvõ forgácsolási sebességgel a forgácsolási zóna hõmérséklete is növekszik. Így egy lágyított hõálló acélfajta megmunkálása során 800 m/perc forgácsolási sebesség esetén kb. 750°C a hõmérséklet, ezzel szemben 1600 m/perc esetén a hõmérséklet már 1150°C.

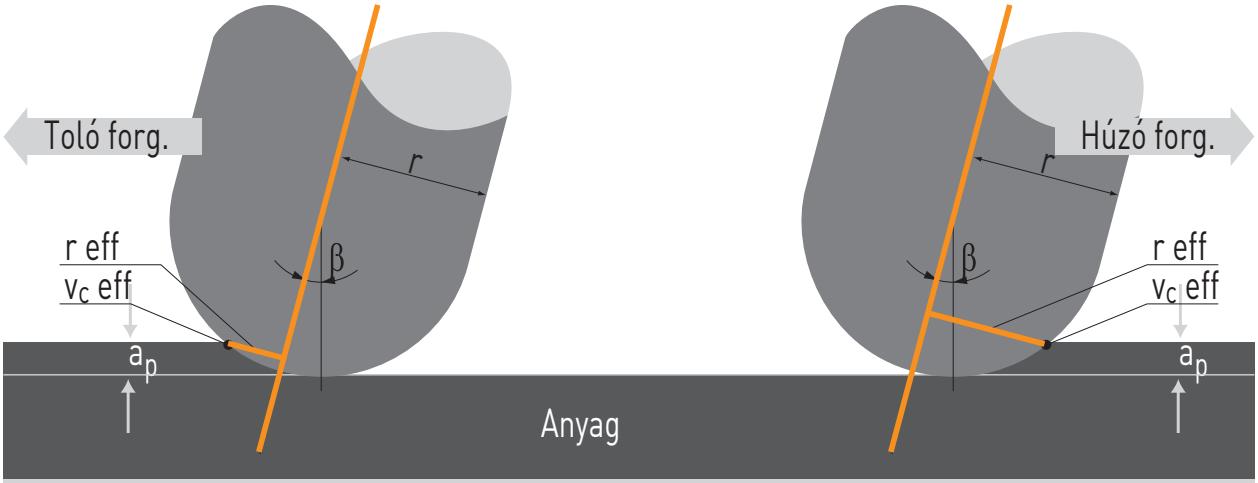
Csak a modern forgácsoló anyagok és felületbevonatok tették lehetõvé a HSC-megmunkálásokat a mai formájukban.
Ezek teszik lehetõvé a szerszám nagyfokú hõterhelése ellenére a kielégítõ kopásállóságot az egyidejûleg nagy forgácsolási sebességek mellett.

A szerszám gyártója határozza meg az általa kínált szerszámokhoz a megengedett forgácsolási sebességeket, a maximális axiális és radiális fogásvételeket, valamint a megengedett fogankénti elõtolásokat.

Ezen elsõ fontos, az elvileg lehetséges technológiai paraméterekre vonatkozó kiindulási pontok ellenére gyakran elõfordul, hogy a technológiai elõírásokat nem lehet egy az egyben átvenni az adott forgácsolási feladathoz. Ez a kijelentés a következõ fejezetekben válik világossá.

Ezen kívül javasolt a tematikus oktatások igénybe vétele a gépgyártóknál a helyes technológiai paraméterek megismeréséhez. A sikeres ügyfelek élnek is ezzel a lehetõséggel.

A 3D kontúrmarásoknál létezik egy különlegesség: a geometriai sajátosságok miatt legtöbbször gömbmaró használata válik szükségessé. Mivel ezek a szerszámok azonban - az egész gömbrádiuszhoz képest - csak kis részben merülnek bele az anyagba, és ezen kívül a marószerszám tengelyszöge (hozzáállítási szöge) változhat a felület normálisához képest (pl. 3-tengelyes gépeknél), az effektív forgácsolási sebesség, és ezzel együtt az ajánlott orsófordulatszám meghatározásához ki kell számítani az effektív szerszámrádiuszt:



Példa: Gömbmaró Ø 10.0 mm

r = 5 mm
a_p = 0.5 mm
β = 15°
n = 5000 1/perc

v_c = 157 m/perc r esetén

a_p = axiális fogásvétel
β = hozzáállítási szög
r = szerszámrádiusz
r_{eff} = effektív szerszámrádiusz
$v_{c\,eff}$ = effektív forgácsolási sebesség

Toló forgácsolás

$$r_{eff} = r \times \sin\left[\arccos\left(\frac{r - a_p}{r}\right) - \beta\right]$$

$$v_{c\,eff} = \frac{n \times \pi}{1000} \times 2\, r_{eff}$$

r_{eff} = 0.94 mm

$v_{c\,eff}$ = 30 m/perc r_{eff} esetén

Húzó forgácsolás

$$r_{eff} = r \times \sin\left[\arccos\left(\frac{r - a_p}{r}\right) + \beta\right]$$

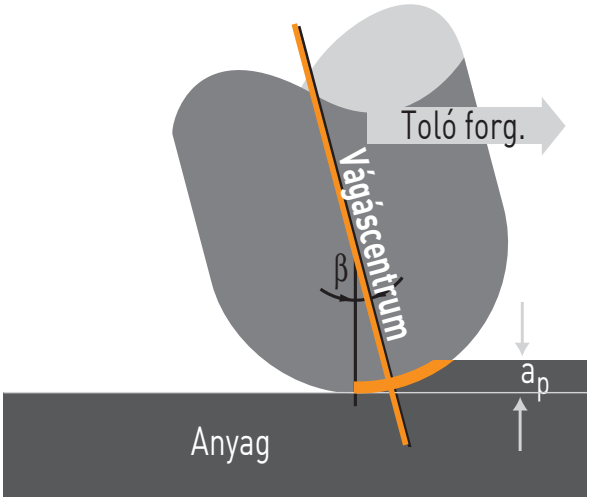
$$v_{c\,eff} = \frac{n \times \pi}{1000} \times 2\, r_{eff}$$

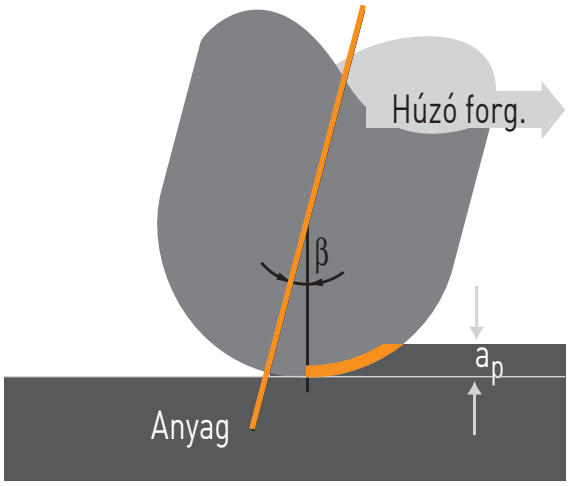
r_{eff} = 3.27 mm

$v_{c\,eff}$ = 103 m/perc r_{eff} esetén

Így például egy simításhoz használt 8 mm névleges átmérõjû gömbmarónál, ami a felülethez képest 90°-os tengelyszöggel dolgozik, az effektív átmérõ már csak 2.5 mm akkor, ha az axiális fogásvétel ap = 0.2 mm, és az effektív átmérõ 1.78 mm akkor, ha az axiális fogásvétel ap = 0.1 mm.

A munkadarab megmunkálása erõsen változó forgácsolási feltételek mellett, vagy részben a szerszám vágáscentrumában (a forgácsolási folyamat anyagátalakító folyamattá válik) nagyon elõnytelen az elérhetõ felületminõség és kontúrpontosság tekintetében.





Mivel az összetett formák 3-tengelyes megmunkálásánál a húzó és toló forgácsolás gyakran váltakozva lép fel, az 5-tengelyes technológia világos elõnnyel rendelkezik, mert lehetõség van a szerszám definiált hozzá állítására a felülethez, és így konstans fogásvételi feltételeket lehet biztosítani.

A felhasználó számára ez azt jelenti, hogy az effektív szerszámátmérõ és a megmunkálási feladathoz szükséges forgácsolási

Orsófordulatszám n [1/perc]	Forgácsolási sebesség v_c [m/perc]								
r_{eff} [mm]	30	50	70	90	120	150	180	250	300
0.1	47'770	79'620	111'460	143'310	191'080	238'850	286'620	398'090	477'710
0.2	23'890	39'810	55'730	71'660	95'540	119'430	143'310	199'040	238'850
0.3	15'920	26'540	37'150	47'770	63'690	79'620	95'540	132'700	159'240
0.4	11'940	19'900	27'870	35'830	47'770	59'710	71'660	99'520	119'430
0.5	9'550	15'920	22'290	28'660	38'220	47'770	57'320	79'620	95'540
1	4'780	7'960	11'150	14'330	19'110	23'890	28'660	39'810	47'770
1.5	3'180	5'310	7'430	9'550	12'740	15'920	19'110	26'540	31'850
2	2'390	3'980	5'570	7'170	9'550	11'940	14'330	19'900	23'890
2.5	1'910	3'180	4'460	5'730	7'640	9'550	11'460	15'920	19'110
3	1'590	2'650	3'720	4'780	6'370	7'960	9'550	13'270	15'920
3.5	1'360	2'270	3'180	4'090	5'460	6'820	8'190	11'370	13'650
4	1'190	1'990	2'790	3'580	4'780	5'970	7'170	9'950	11'940
4.5	1'060	1'770	2'480	3'180	4'250	5'310	6'370	8'850	10'620
5	960	1'590	2'230	2'870	3'820	4'780	5'730	7'960	9'550

sebesség segítségével a szükséges orsófordulatszám kiszámíthatóvá válik.

A szerszám vágóéleinek számából, az orsófordulatszámból és a fogankénti elõtolásból adódik a szükséges pályasebesség a szerszámra vonatkozóan.

Fogankénti elõtolás

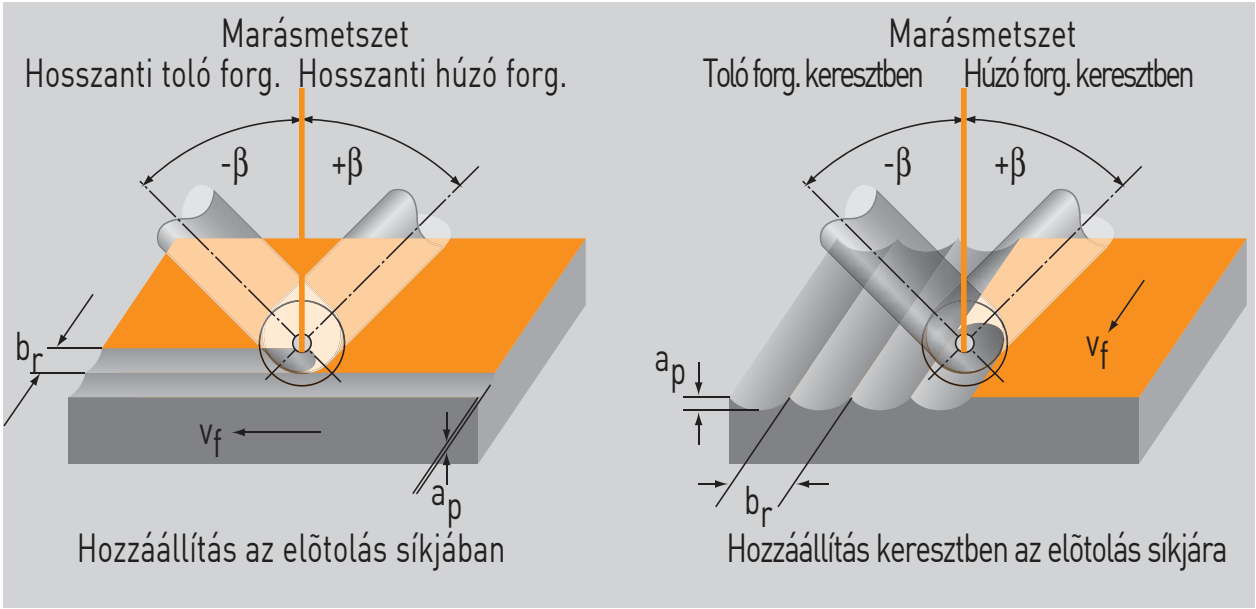
A HSC-megmunkálásnál nagyon fontos az alkalmas fogankénti elõtolás megválasztása. Míg a túl kicsi fogankénti elõtolások a forgácsképzõdésnél torlódási és súrlódási jelenségeket okoznak, így hozzájárulnak a magas hõmérsékletek kialakulásához és a fokozottabb szerszámkopáshoz, a túl nagyra választott fogankénti elõtolások a szerszámok mechanikai túlterheléséhez és ezáltal idõ elõtti éltöréshez vezethetnek.

Annak módja, hogy a szerszám és a munkadarab között a fogankénti elõtolás geometriailag hogy alakul ki, három lehetséges elõtolási és forgácsolási iránytól függ:

- Forgácsolási irány a szerszám forgássíkjában a munkadarabhoz viszonyítva.
  - Egyenirány (az elõtolás irányában a szerszám a marandó kontúrtól balra helyezkedik el),
  - Ellenirány (az elõtolás irányában a szerszám a marandó kontúrtól jobbra helyezkedik el).

- A szerszám munkadarab felülettel bezárt szöge az elõtolás irányában.
  - Hosszanti húzó forgácsolás (minden esetben elkerüljük a levegõben vágást, az effektív szerszám átmérõ és a forgácsolási sebesség nagyobb),
  - Hosszanti toló forgácsolás (levegõben vágás veszélye fennáll, az effektív szerszám átmérõ és a forgácsolási sebesség kisebb).

- A szerszám munkadarab felülettel bezárt szöge keresztben az elõtolás irányára.
  - Húzó forgácsolás keresztben (minden esetben elkerüljük a levegõben vágást, az effektív szerszám átmérõ és a forgácsolási sebesség nagyobb),
  - Toló forgácsolás keresztben (levegõben vágás veszélye fennáll, az effektív szerszám átmérõ és a forgácsolási sebesség kisebb).



Ezek az elõtolási ill. forgácsolási irányok jelentõsen befolyásolják a munkadarab felületminõségét és kontúrpontosságát. Ezért a következõ befolyásoló tényezõket mindenképpen figyelembe kell venni:

- Hozzáállítás szöge,
- Felület kialakulásának idõpontja (a fog bemerülésének elején vagy végén),
- Fogbelépés gerjesztõ frekvenciája és erejének amplitúdója,
- A gerjesztõ erõ és a szerszámél eltolódása közti fázis-eltolódás a munkadarabkontúrhoz képest.

A kísérletek azt mutatják, hogy nagyon jó felületminõséget és hosszú szerszámélettartamot lehet elérni 10° és 20° közötti

hozzáállításokkal, egyenirányú megmunkálással és hosszanti húzó forgácsolással az elõtolás irányában, amennyiben lehetõség szerint konstans elõtolási sebességet tudunk tartani.

Fogásvétel

Egy munkadarab HSC-megmunkálása általában legalább három alapvetõ megmunkálási mûveletet igényel.

Megmunkálási mûvelet	Cél	Folyamatjellemzõ	Gyakori szerszámtípusok
Nagyolás	Térfogatteljesítmény: fõ forgácsolt térfogat nagy leválasztási aránya	2 ½ D - nagy forgácsoló erõk, mivel nagy fogásvételek	Pl. váltólapkás, szár- vagy tórusz-maró
Elõsimítás	Közepes leválasztási arány és közelítés a kész alkatrészkontúrhoz konstans ráhagyással	3 D - közepes forgácsoló erõk, mivel közepes fogás-vételek, azonban heterogén megmunkálási feltételek	Pl. tórusz- vagy gömbmaró
Simítás	Felületteljesítmény: minimális leválasztási arány a végsõ kontúron (pontosság, felületminõség)	3 D - legkisebb forgácsoló erõk, mivel minimális fogásvételek lehetõség szerint homogén megmunkálási feltételek mellett	Pl. gömbmaró

Míg a simítás során minimális axiális fogásvételekkel dolgozunk, az elõsimítás vagy a nagyolás során egyértelmûen nagyobb axiális fogásvételekre van szükség, hogy gazdaságos eredményeket érjünk el. Ennek során a következõket kell figyelembe venni:

Axiális fogásvétel nagyolásnál és elõsimításnál
Ezekben az esetekben a felhasználót a szerszám maximálisan megengedett axiális fogásvétele érdekli. A fizikai határok lényegében két változótól függnek:

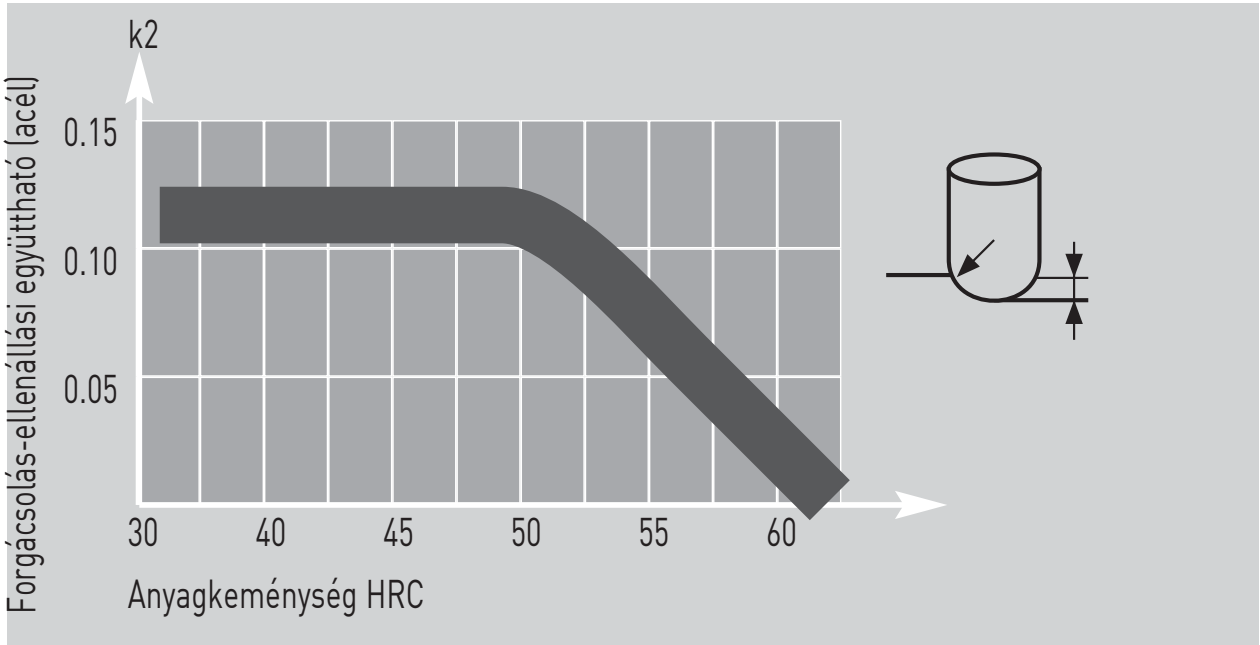
- Megmunkálandó anyag forgácsolási ellenállása
- Szerszám hossz-átmérõ arányszáma (merevség)

Ezért elsõ kiindulási pontként közelítõ módon meghatározható az axiális fogásmélység az alábbi ökölszabály alapján:

ap = R*k2*k3

ahol
R = a gömbmaró rádiusza
k2 = forgácsolás-ellenállási együttható
k3 = L/D együttható

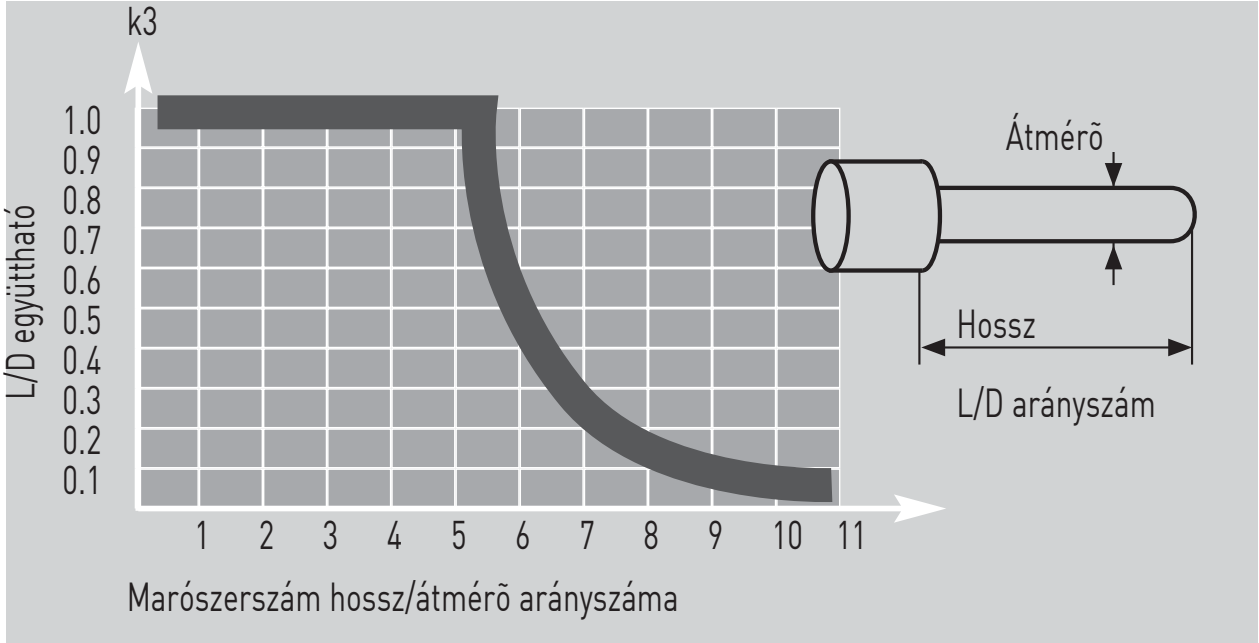
A forgácsolás-ellenállási együtthatóra edzett acél esetén az alábbi összefüggés érvényes:



Egyéb anyagok esetén a k2 forgácsolás-ellenállási együtthatóra az alábbiak érvényesek:

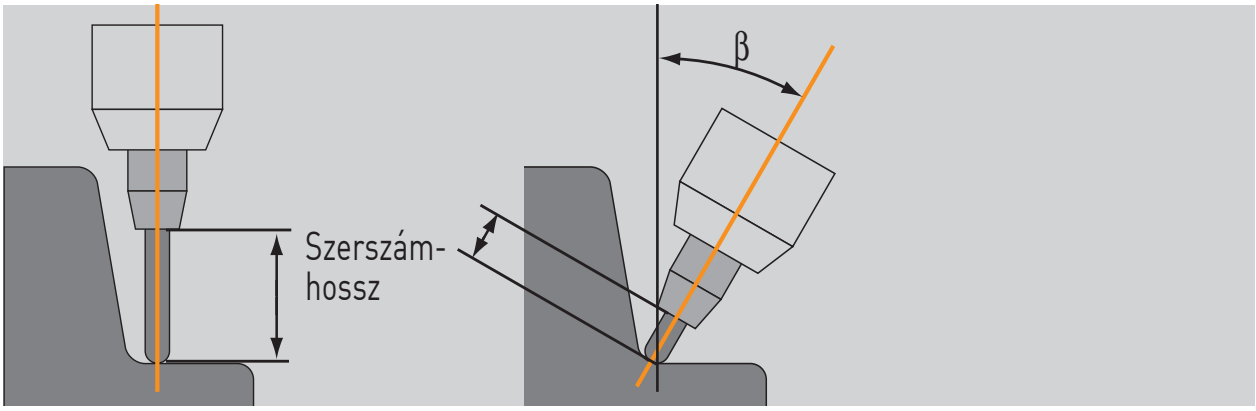
k2 (réz) = 0.25
k2 (alumínium) = 0.5
k2 (grafit) = 1

Az L/D együttható a szerkezeti anyagtól függetlenül az alábbiak /szerint számítható:



A gyakorlatban természetesen adódhatnak eltérések az ökölszabálytól, melyek a szerszámgép specifikus sajátfrekvenciájára, a felhasználandó szerszámok és befogó eszközök minõségére, a munkadarab geometriájára, valamint az anyagszállítóktól függõ, az anyagtulajdonságokat érintõ, részben nagy mértékû eltérésekre vezethetõk vissza.

Az 5-tengelyes marási technológia, a szerszám definiált hozzáállításának lehetõségével a felülethez, a szükséges szerszámhossz tekintetében is világos elõnnyel rendelkezik az összetett forma-alkatrészek megmunkálásánál.



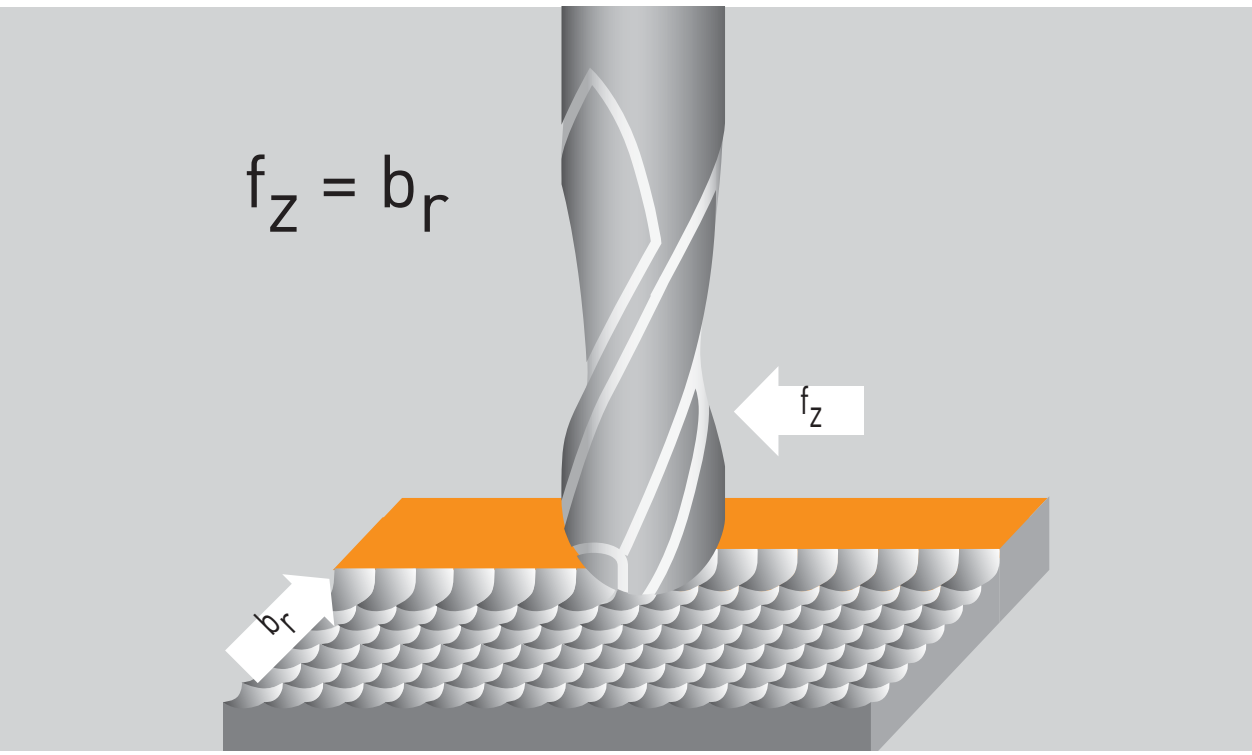
Pályafogásvételek simításnál
A talán legfontosabb cél a HSC-technológiában - a közvetlenül a marási folyamat által determinált - elérhetõ felületminõség. A simítási folyamattal kell elérni a pontosságra és a felület-minõségre vonatkozó célokat.

Az elérhetõ felületminõséget három alapvetõ változó határozza meg:

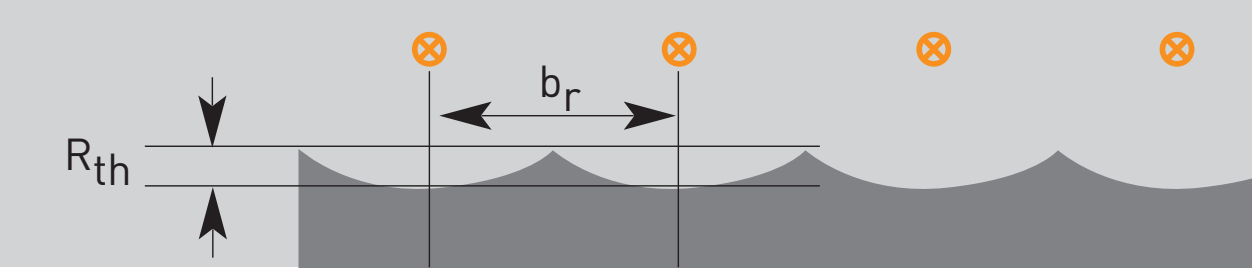
1. a szerszámgép minõsége, 2. a szerszámgeometria,
3. a forgácsolási folyamat technológiai paraméterei.

Amíg a felhasználó az elsõ pont esetében csak nagyon korlá-tozottan tudja a megmunkálási eredményt befolyásolni, a má-sodik pontra a következõk érvényesek:

- Gömbmarókkal végzett simítási mûveleteknél iránytól függõ érdesség keletkezik akkor, ha a fogankénti elõtolás f_z és a pályatávolság b_r értéke azonos.



- A felület érdessége kisebb lesz, ha a szerszám átmérõje (D = 2R) nagyobb vagy/és a fogankénti elõtolás és az ellépés kisebb értéket vesz fel.
  -> elméleti érdességi érték $R_{th} = (b_r^2) / 8R$



Tehát:

- míg egy dupla akkora méretû szerszám alkalmazásával kétszer jobb minõségû felületminõség érhetõ el úgy, hogy a megmunkálási idõ nem változik,
- az ellépés és a fogankénti elõtolás megfelezése négyszer jobb felületminõséget eredményez, azonban azzal a hátránnyal, hogy a megmunkálási idõ is a négyszeresére növekszik (amennyiben a többi paramétert nem igazítják hozzá a folyamathoz)

A nagy precizitású HSC-marógépekkel egyértelmûen Ra < 0.1 µm közepes felületi érdesség alatti felületminõség érhetõk el.

Egy új marási projekt kezdetén az alábbi alapvetõ kérdésekkel szembesülünk:

1. Melyik szerszámgép szükséges az én követelményrendszeremhez?
2. Melyik megmunkálási stratégia kecsegtet sikerrel?

Segítség lehet az, hogy elõször a szükséges folyamatlépéseket azonosítjuk a specifikus követelményekkel. Ezzel az elsõ klasszifikációval történhet meg az alkalmas szerszámgép kiválasztása. A következõ lépésben történik aztán az alkalmas megmunkálási stratégia kiválasztása.

Szerszámgép kiválasztása

Az alkalmas szerszámgépet elvileg egy ellenõrzõ lista alapján lehet meghatározni, aminek az alábbi HSC-kritériumokhoz kellene igazodnia:

HSC-kritérium	Megmunkálási mûvelet	Követelmény a HSC-folyamatból
Szerkezeti anyag	Nagyolás, Elõsimítás, Simítás	Szükséges HSC-forgácsolási sebességek és orsófordulatszám, maximális fogásvételek és erõk
Forgácsolt térfogat	Nagyolás	Maximális fogásvételek és erõk (radiális és axiális erõk és forgatónyomaték), nagyolás aránya az egész folyamatban a lehetséges idõegység alatt forgácsolt térfogat függvényében
Legkisebb szükséges szerszám átmérõ	Simítás	Szükséges HSC-forgácsolási sebességek és orsófordulatszám
Igényelt felületminõség és pontosság	Simítás	Igényelt pályaelõtolás, pályatûrések, ismétlési pontosság, hõtani stabilitás
Komplexitás (befogási szituáció, hozzáférés a szerszámmal)	Nagyolás, Elõsimítás, Simítás	3 tengelyes megmunkálás, 3+1 vagy 3+2 tengelyes megmunkálás, szimultán 5 tengelyes megmunkálás, HSC-szerszámgép kinematikája

Amennyiben széleskörû nagyoló megmunkálás szükséges egy munkadarabon, a viszonylag alacsony megengedetett forgácsoló erõ miatt alaposan meg kell vizsgálni a gyártás gazdaságosságát egyetlen egy felfogásban. Még akkor is, ha egy robosztus felépítésû HSC-marógépen - nagy megengedett forgácsolási erõvel - széleskörû nagyoló megmunkálások valósíthatók meg, a HSC-marógép a legnagyobb hasznot a 3D kontúrsimító maró megmunkálásoknál hozza. Ez a valódi erõssége.

Munkaelõkészítés a CAx-folyamatláncban

Konstrukciós adatok átvétele

A CAM-folyamatlánc a CAD-rendszerbõl való adatátvétellel kezdõdik.
Elvileg két interfész típus különböztethetõ meg:

- Közvetlen natív interfész a CAD és a CAM között
- Gyártótól függõ adatformátum az adatcseréhez, mint pl. STEP (térfogatmodell) vagy IGES (felületmodell)

Adatok elõkészítése

A HSC-folyamat legfontosabb célkitûzéseit - precizitás és felületminõség - a rossz adatminõség közvetlenül veszélyeztetheti. Ezért a 3D adatok geometriai elõkészítése a CAM-rendszerben gyakran lehet szükséges még az NC-programozás elõtt.

Két alapvetõ dolgot kell figyelembe venni:

- Konstrukciós és formátum hibák kiküszöbölése,
- Alkalmas approximációs tûrés kiválasztása a digitális adatfeldolgozásban.

A 3D modellekben elõforduló konstrukciós és formátum hibák közül az alábbiak említhetõk meg:

- Lyukak és túlfutások a felületeken,
- Lebegõ vagy "zajos" felületek,
- Hiányzó átmenetek a csatlakozó felületekhez,
- Miniatûr szegmensek, melyek javítás miatt keletkeznek,
- Választott konstrukciós tûrések a geometriai elemek approximációjához (közelítéséhez).

A 3D modellek approximációs tûrésére vonatkozóan az alábbi ökölszabály érvényes:

Munkadarab	× 0.5	CAM	× 0.5	CAD
3D-formatûrés	→	Pályatûrés	→	3D-modelltûrés

Munkaszervezés
Mivel a kissorozatú és egyedi gyártás programozási ideje gyorsan elérheti a gépi fõidõ tartományát, a CAM-folyamatláncban a munka megszervezése jelentõs megtakarítási potenciált rejt magában. A munkaszervezés lehetõ leghatékonyabb kialakításához a vezetõ CAM-fejlesztõ cégek integrált feature- és makrótechnológiákat kínálnak. A feature- és makrótechnológia a felhasználó számára messzemenõen automatizált programozást tesz lehetõvé (úgynevezett makrók alkalmazása) standardizált geometria elemekkel (úgynevezett feature-ökkel).
Ennek során a munkadarabot különbözõ geometria elemekre bontjuk szét, melyekhez aztán a szükséges megmunkálások automatikusan hozzárendelésre kerülnek. A megfelelõ adatbank tartalmazza a megmunkálási stratégiákat és technológiai paramétereket.

Megmunkálási stratégia kiválasztása

Nagyolási mûveletek
A nagyolási mûveletnél a marási stratégia kiválasztása befolyásolja a forgácsoló erõk irányát és nagyságát, és így kihat az erõfolyamban található gépelemek folyamatstabilitására és élettartamára.

A nagyolással a cél az, hogy a térfogatleválasztás legnagyobb részét a lehetõ leghatékonyabban végezzük el. Az alkalmas nagyolási stratégiát ennek megfelelõen kell definiálni, melynek során a felületminõség és kontúrpontosság jellemzõk itt még alárendelt szerepet játszanak.

A megmunkálandó munkadarabtól függõen (mélyedés vagy mag) a stratégiák specifikus elõnyökkel és hátrányokkal bírnak. Pl.:

- Kihatás a maradék anyag kontúrra,
- Pályahossz a telibe marásnál,
- Átfogási/körülfogási szög a sarkokon.

A HSC-folyamat szempontjából elõnyös, ha a fogásvétel a Z-síkban rámpa- vagy csavarvonalformájú merülõ mozgásokkal és csökkentett elõtolásokkal történik, valamint ha a szerszámpálya sarkai lekerekítésre kerülnek, hogy elkerüljük a szerszám hátlapjával való forgácsolást vagy a szerszám felizzását.

Az alábbi pontok fontosak:

- Fogásmélység (kihatás a maradék anyag kontúrra),
- Választás a két kibontó stratégia közül konstans Z-sík esetén,
- HSC-specifikus kiegészítõ funkciók használata, hogy nagyfokú folyamatbiztonságot érhessünk el.

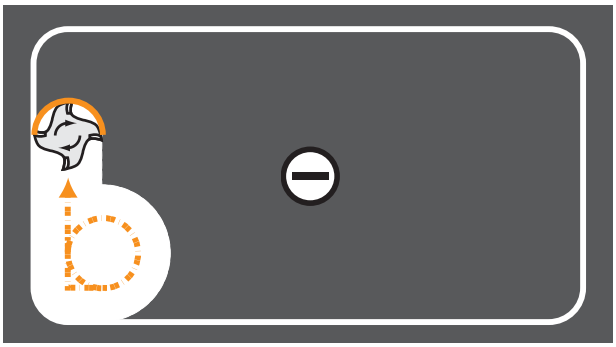
Fogásmélység nagyolásnál (kihatás a maradék anyag kontúrjára)

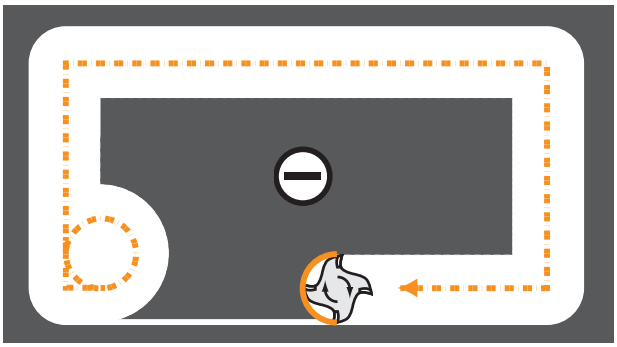
Lépcsõ alakú maradék anyag nagy fogásmélységgel

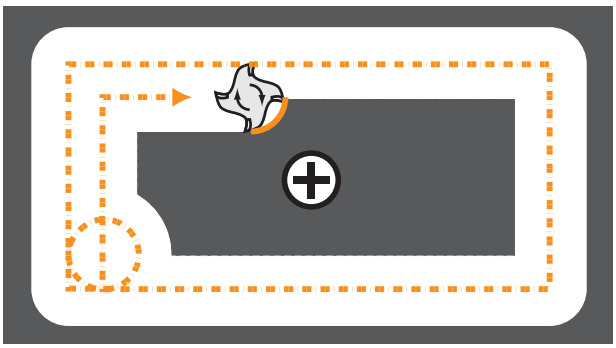
Lépcsõ alakú maradék anyag kis HSC-fogásmélységgel

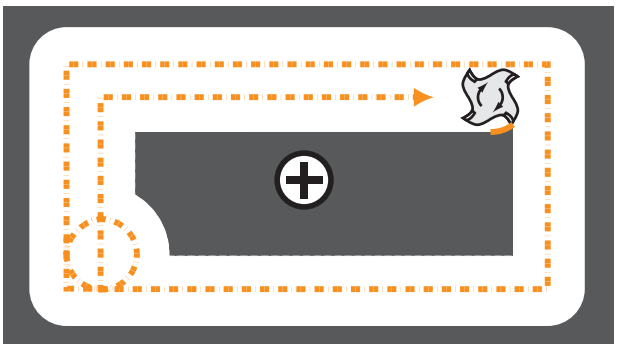
Stratégia kívülrõl befelé

Elõny	Hátrány
⊕ Kisebb átfogási/körülfogási szögek a külsõ sarkokon	⊖ Elsõ pálya teljes átmérõvel hosszú



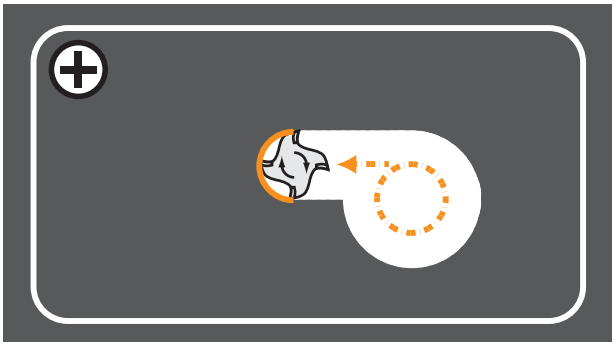


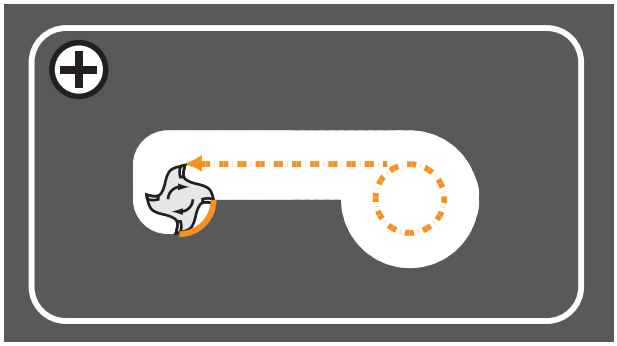


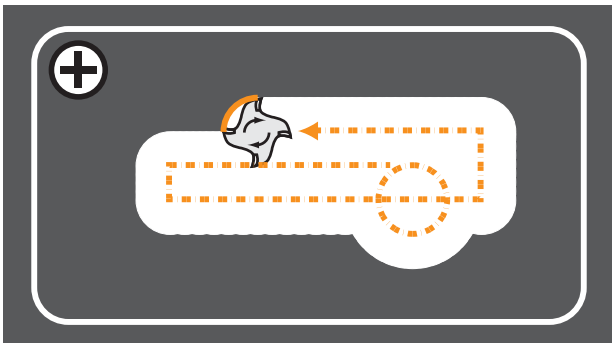


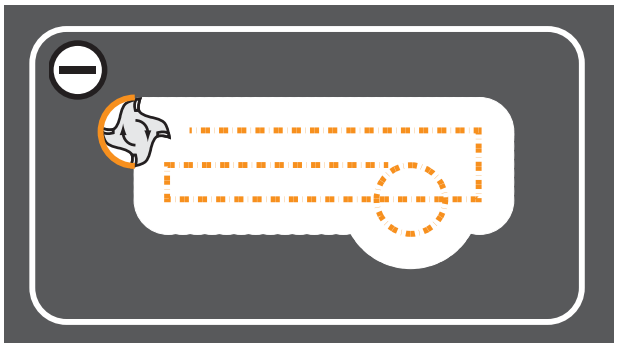
Stratégia belülrõl kifelé

Elõny	Hátrány
⊕ Elsõ pálya teljes átmérõvel rövid	⊖ Erõkicsúcsosodások veszélye nagy átfogási/körülfogási szögek miatt belsõ sarkokon

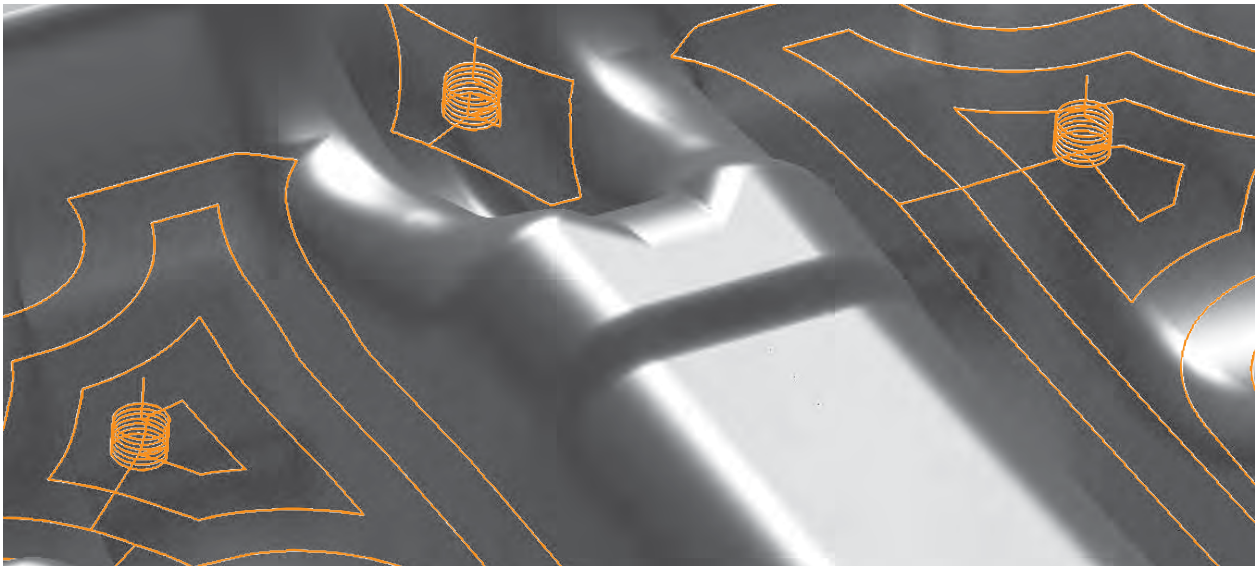




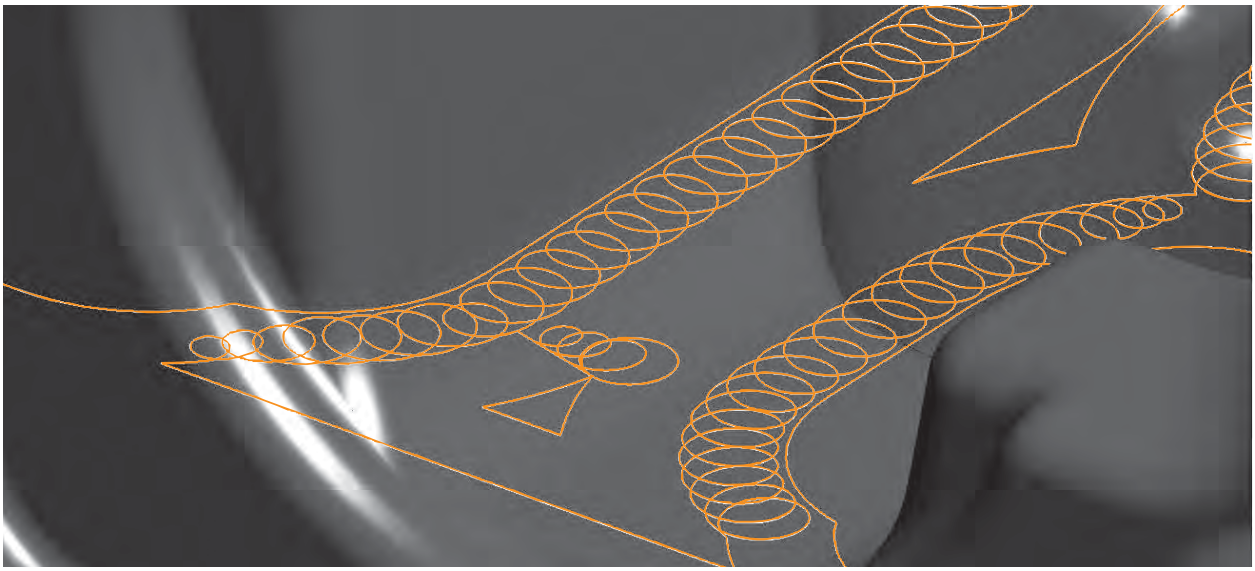




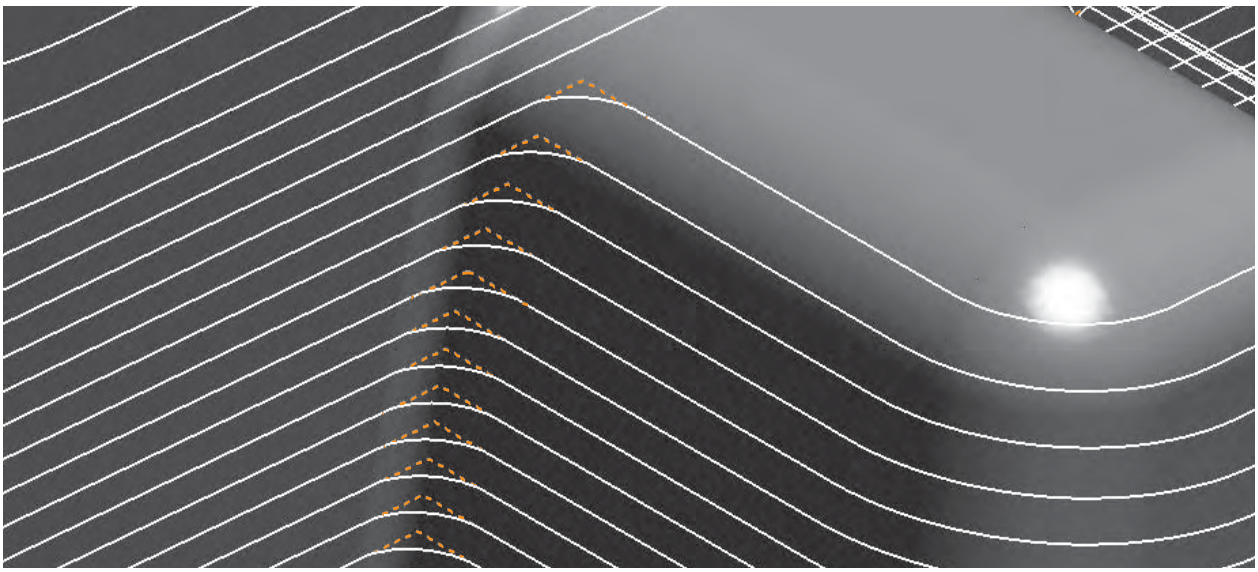
Kibontási stratégia választása a nagyolási mûveletnél



Csavarformájú merülõ mozgás a következõ Z-sík eléréséhez



Hornyok trochoid vonalú megmunkálása a teljes átmérõvel való megmunkálás elkerüléséhez



Sarkok lekerekítése a szerszámpályán:

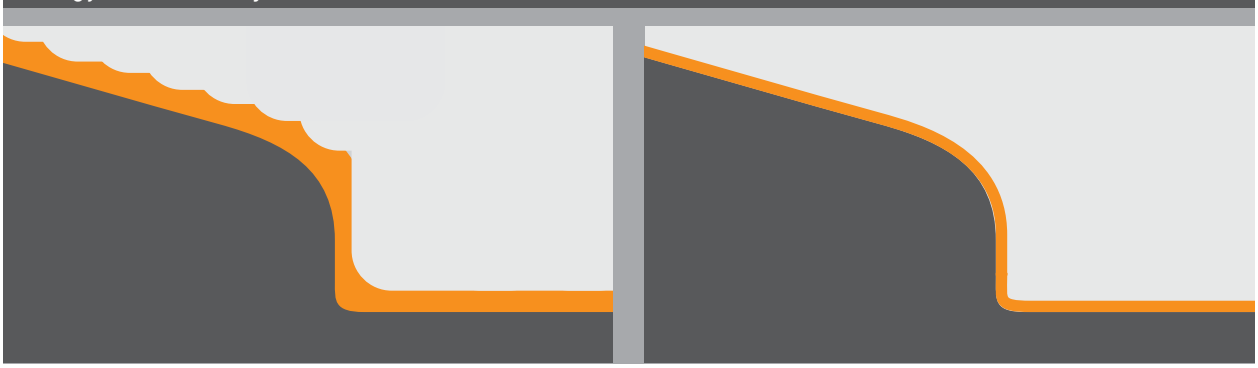
⊕ hosszabb szerszám éltartam, nagyobb pontosság és felületminõség

⊖ nagyobb maradék anyag ráhagyás a sarkokon

Elõsimítási mûvelet

Az elõsimítás célja az, hogy a folyamat végén konstans ráhagyás keletkezzen az egész munkadarab kész kontúrján. A ráhagyás méretét a simításnál használt szerszám tervezett fogásvételébõl vezetjük le.
Mivel az elõsimítási folyamatot legtöbbször még nagy szerszámátmérõvel végezzük, az elõsimítási mûveletben szegmentált és lépcsõs felületek, valamint a kis belsõ rádiuszokban lévõ maradék anyag utómunkát igényel és azokat még el kell távolítani.

Ráhagyás szituációja a kész alkatrész kontúron



Lépcsõs formájú maradék anyag a nagyolási mûvelet után

Konstans maradék anyag ráhagyás az elõsimítási mûvelet után

Elméletileg két stratégiai lehetõség áll rendelkezésre:

- Elõsimítás elvégzése simító stratégiával, ráhagyás csökkentése lépésenként,
- Maradék anyag ciklusok, a maradék anyag szigetek szelektív eltávolításához.

Hogy melyik stratégi hozza az adott idõpontban a nagyobb hasznot, a munkadarab topográfiájától és a választott nagyolási stratégiától függ. Ha a maradék anyag szigetek a végsõ kontúrhoz képest nagy ráhagyással rendelkeznek, akkor jobban megéri a maradék anyag ciklusok szelektív használata. Ha azonban többé-kevésbé egyenletesen eloszló maradék érdességrõl van szó, akkor az elõsimító stratégia lehet érdekes lépésenként csökkentett ráhagyással. Végeredményben a döntés során

mérlegelni kell, hogy azt a stratégiát részesítsük elõnyben, amelyiket a legkevesebb üresjárattal és gyorsjárattal lehet kivitelezni. A két stratégiát ésszerû módon kombinálható is, így elõnyös lehet, ha elõször egy nagyobb szerszámmal az elsõ megnevezett stratégiát alkalmazzuk, majd egy kisebb következõ szerszámmal a maradék anyag szigeteket távolítjuk el, melyek minimálisan nagyobb ráhagyással rendelkeznek.

Simító mûvelet

A simítás célja az, hogy a folyamat végén a kész munkadarab kontúrja az elõírt pontossággal és felületminõségben jöjjön létre. A simító mûveletben használt szerszám átmérõjét a magas felületminõségi követelmények miatt (az összes felület tartományt azonos szerszámmal munkáljuk meg) a munkadarabkontúr legkisebb belsõ rádiusza határozza meg.

A simító mûveletek megmunkálási ideje jellemzõ módon többszöröse az elõmaró mûveletek megmunkálási idejének. Ennek oka a megkövetelt szerszámpályasûrûség annak érdekében, hogy az elõírt felületminõséget elérjük a 3D munkadarabkontúron.

A simító mûveletnél is kihatással van a helyes marási stratégia megválasztása a ható forgácsoló erõ irányára és nagyságára. Ez a szerszám rezgéskeltésében nyilvánul meg, és ezért döntõen befolyásolja a gyártott munkadarab mûszaki tulajdonságait.

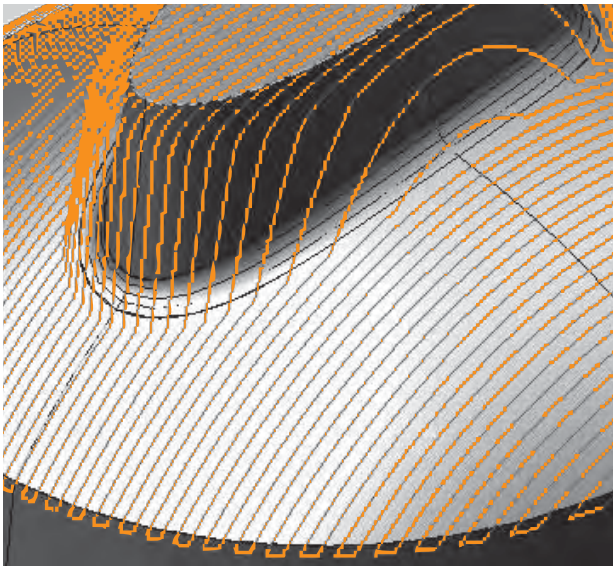
Ezért a megmunkálási stratégiát átgondoltan kell megválasztani. Az adekvát választás nem utolsó sorban az alábbi kérdésektõl is függ:

- Fennáll-e a veszélye az erõsen változó marási feltételeknek, mint pl. bemerülési feltételek vagy szerszám-tengelyszög?
- Vannak-e a mûszaki felületnek alkalmazástól függõ tulajdonságai?

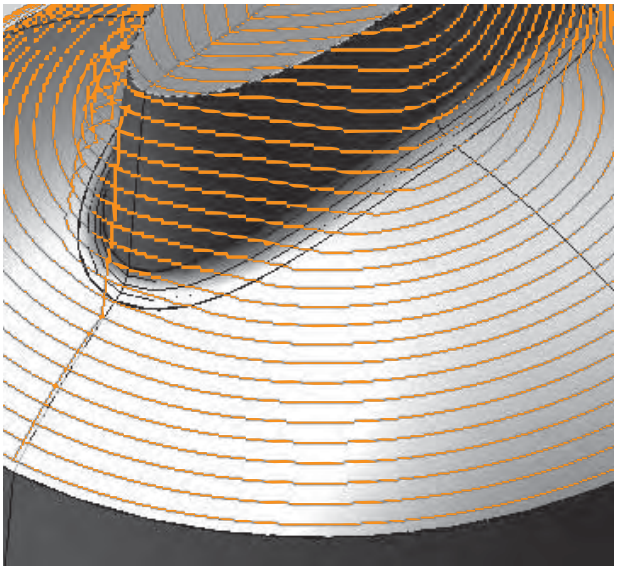
- Hogyan lesz geometriailag leképezve a (elkerülhetetlen) szerszámkopás a kész munkadarabon?
- Melyik stratégiával érjük el a legrövidebb megmunkálási idõt anélkül, hogy veszélyeztetnénk az elõírt célokat?
- Melyik stratégia illeszkedik legjobban az alkalmazott HSC-marógép felépítéséhez és kinematikájához (figyelembe véve a megmunkálási idõt és a felületminõséget)?

A stratégia választása során ezért a simító stratégiák széles választékából meríthetünk:

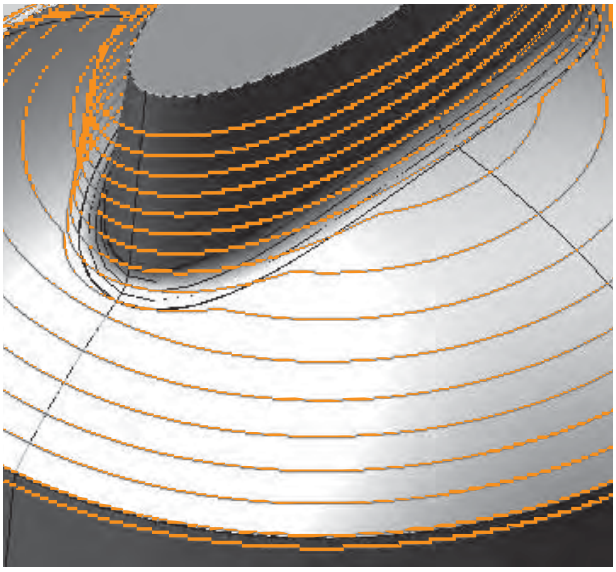
Stratégia	Mód	Kihatás, következmény
Profilsimítás	2D-pályafogásvétel, simítás 3D-felületekenen meghatározott irányban	Maráskép azonos a marásiránnyal
Ekvidisztáns simítás	2D-pályafogásvétel, simítás két görbe vegy két kontúr között	Egyenletes, a kontúr lefutását követõ maráskép, geometriától függõ felületminõséggel
Síkok simítása konstans Z-síkokon	2D-pályafogásvétel, simítás konstans Z-síkokon konstans fogásvétellel	Vátozó felületdõlésszögeknél eltérõ pályatávolságok keletkeznek, a felületminõség heterogén
Síkok simítása konstans Z-síkokon	2D-pályafogásvétel, simítás konstans Z-síkokon kontúrtól függõ fogásvétellel (true scallop)	Vátozó felületdolésszögeknél azonos pályatávolságok keletkeznek, a felületminõség homogén
Spirálformájú simítás síkokon	3D-pályafogásvétel, simítás folyamatos pályafogásvétellel Z-irányban	Folyamatos szerszámbemerülés fogásvételtõl függõ irányváltások nélkül
ISO-simítás	3D-pályafogásvétel	Megmunkálás az U/V-felület-paramééterek mentén
Transzformált simítás (Morphing)	3D-pályafogásvétel, simítás két tetszõleges kontúr között állandó számú pályafogásvétellel	Maráskép megfelel a változó pályatávolságú pályafogásvételek fajtájának



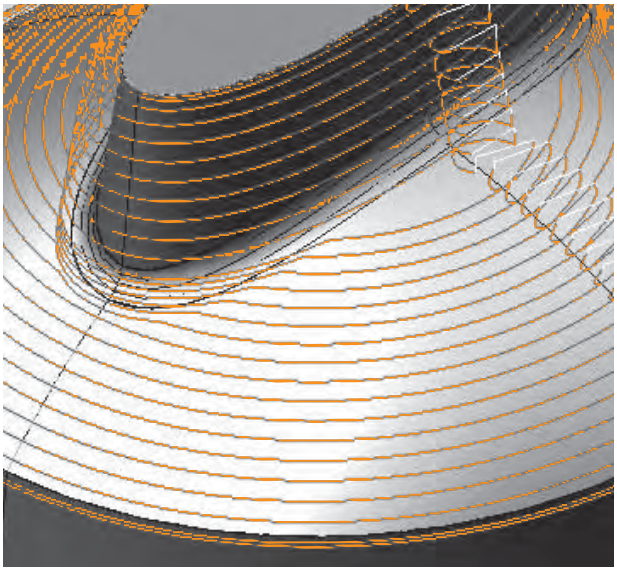
Profilsimítás



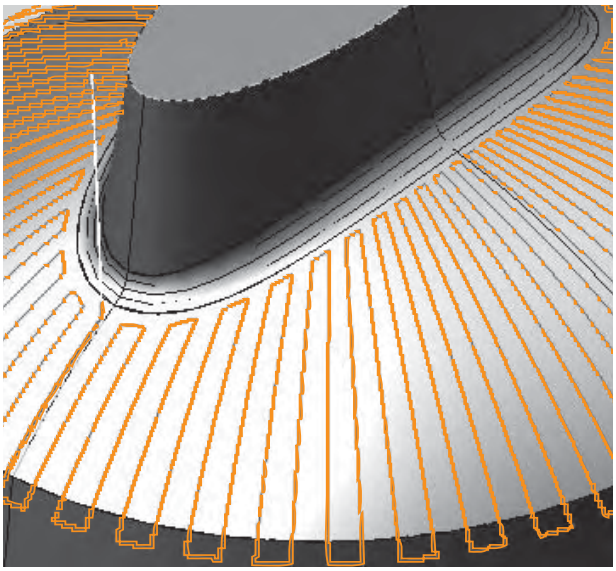
Ekvidisztáns simítás



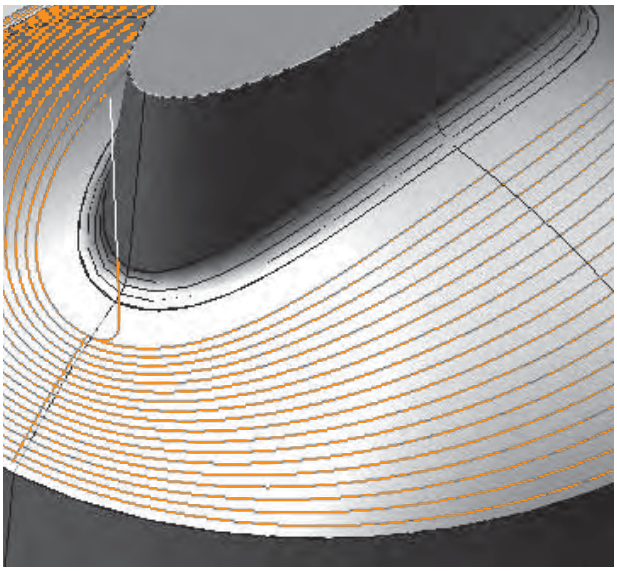
Z-síkok simítása, konstans fogásvétel



Z-síkok simítása, kontúrtól függõ fogásvétel

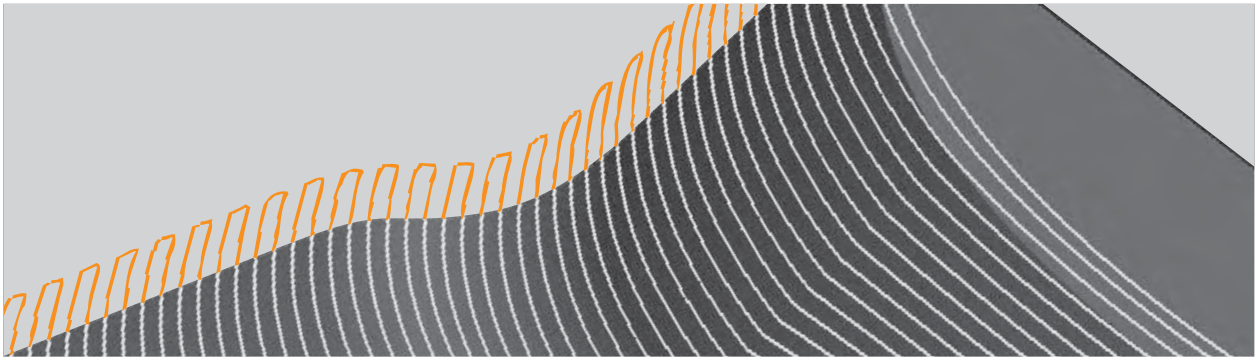


ISO-simítás

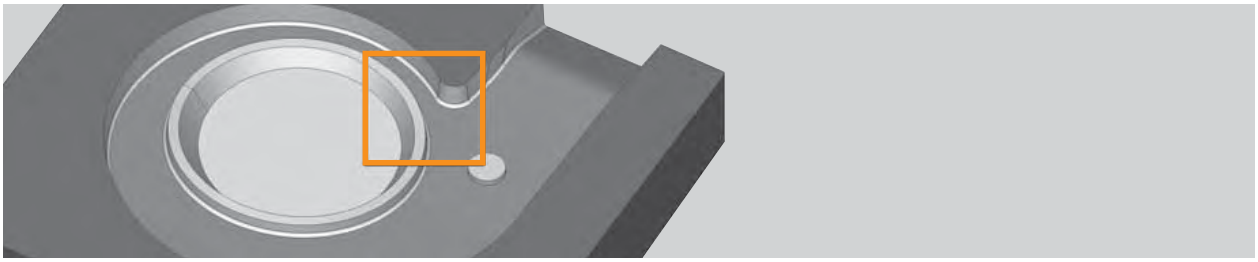


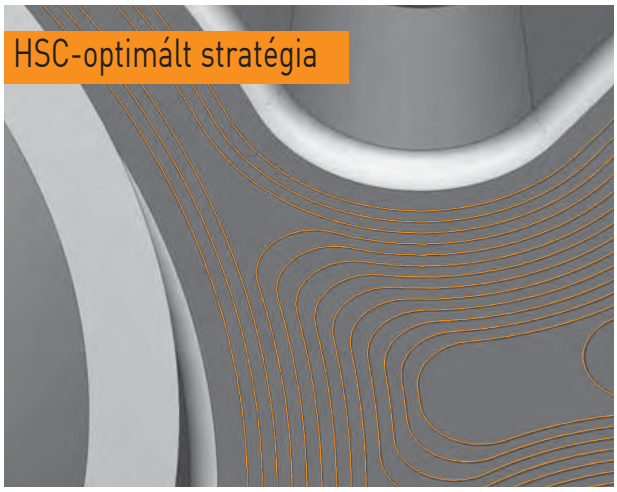
Transzformált simítás (Morphing)

A nagy elõtolási sebességek miatt a szerszámpálya-generálásnak specifikus HSC-funkciókkal kell rendelkeznie.

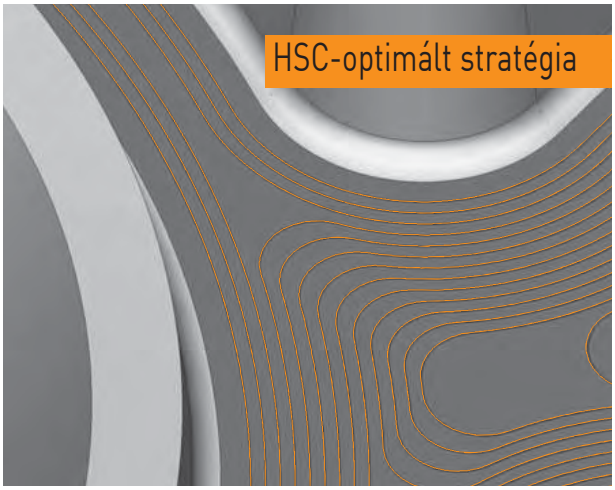


Tangenciális be- és kilépõ mozgások, a felületen maradó nyomok elkerüléséhez





Minimális szerszámpálya rádiuszok betartása, hirtelen irányváltások elkerüléséhez



Maradékanyag simítás

Különleges alkalmazások
Bizonyos munkadarab spektrumok különleges követelményeket támasztanak az NC-programozással szemben. Ezekben az esetekben a standard stratégiákkal való programozás legtöbbször nem hatékony. A CAM-fejlesztõk ezért különleges programozó funkciókat kínálnak az olyan munkadarabokhoz, mint pl.:

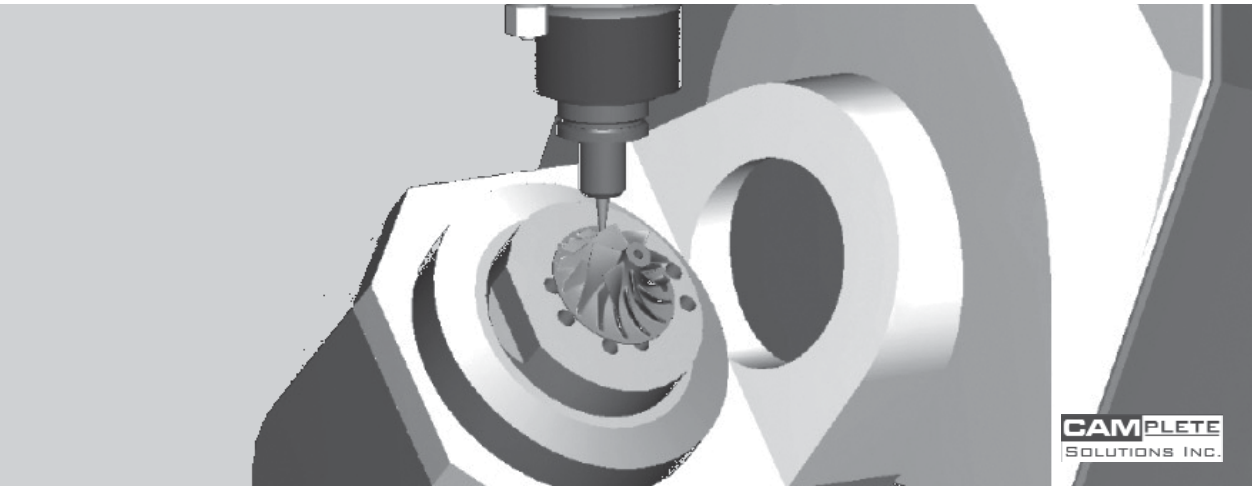
- Formacsatornák,
- Abroncsprofilok,
- Turbinalapátok,
- Járókerekek és turbinalapátkerekek.

Lezáró munkalépések a CAx folyamatláncban

Ütközésvizsgálat
Az NC-programok ütközésvizsgálata a munkadarabok növekvõ komplexitásával egyre fontosabbá válik.

Ütközés az alábbi gépelemek között történhet:

- Szerszám(-tartó) és munkadarab(-tartó készülék)
- Gépszánok egymás között, valamint gépszán és szerszám(-tartó) és munkadarab(-tartó készülék)



Míg a szerszám(-tartó) és a munkadarab(-tartó készülék) közötti ütközést már a CAM-rendszerben ellenõrizhetjük, a gépszánok ütközésvizsgálata a szerszámgép-kinematika figyelembe vételével történhet a posztprocesszálás közben vagy az alatt.
A modern CAM-rendszerek nem csak ütközésvizsgálatra képesek, hanem a szerszámpálya- és folyamatparaméterek elõretekintõ tervezésével is rendelkeznek, hogy ütközés esetén automatikusan új pályajavaslatokat generáljanak, melyekkel ezek az ütközések elkerülhetõk.

Posztprocesszor
A posztprocesszor fordítja le a szerszámpályák CAM-rendszer-specifikus leírását vezérlés-specifikus NC-mondatokká.
A gépteljesítmény optimális kihasználásához a posztprocesszorban megvan a lehetõség arra, hogy a vezérlés gyártó-specifikus ciklusait kiadja az NC-programba.
Ezen kívül lehetõség van a posztprocesszor hozzáigazítására az ügyfél specifikus használati profiljához is. Ezáltal mind a munkavégzés, mind a munka minõsége jelentõsen befolyásolható.

Új programok tesztelése
Különösen az egyedi és kis sorozatú gyártásban bír különös jelentõséggel a tesztelési idõ és a tesztelés biztonsága.
Az NC-programok létrahozása mellett itt gyakran rejtett potenciálok vannak a következõk csökkentésére:

- Selejtmennyiség,
- Nem produktív gépidõ (mellékidõk),
- Ütközésveszély / Kiesési idõk / Javítási költség.

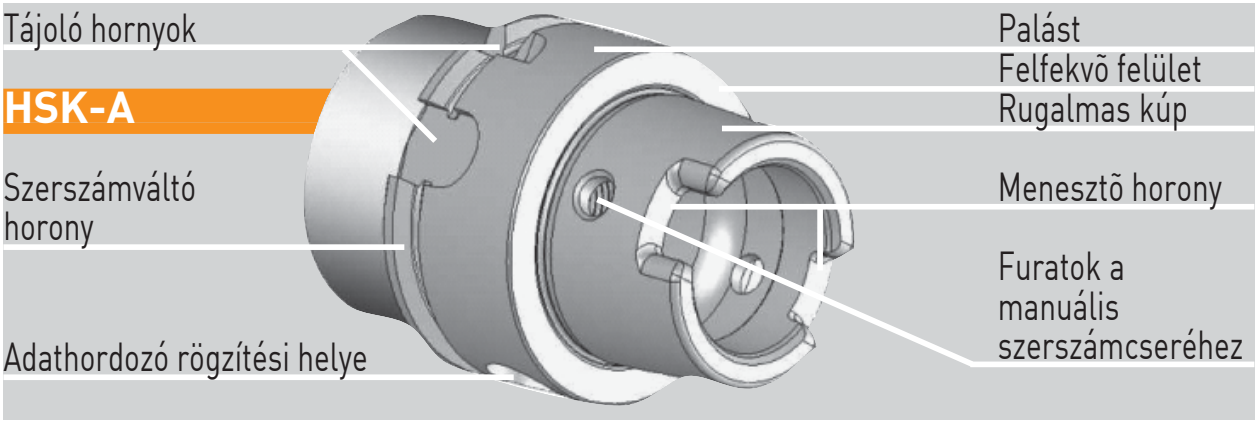
A CAx-folyamatláncban lévõ szimulációs lehetõségekkel lehetõvé válik ezeknek a munkalépéseknek az áthelyezése a számítógépes munkahelyre.

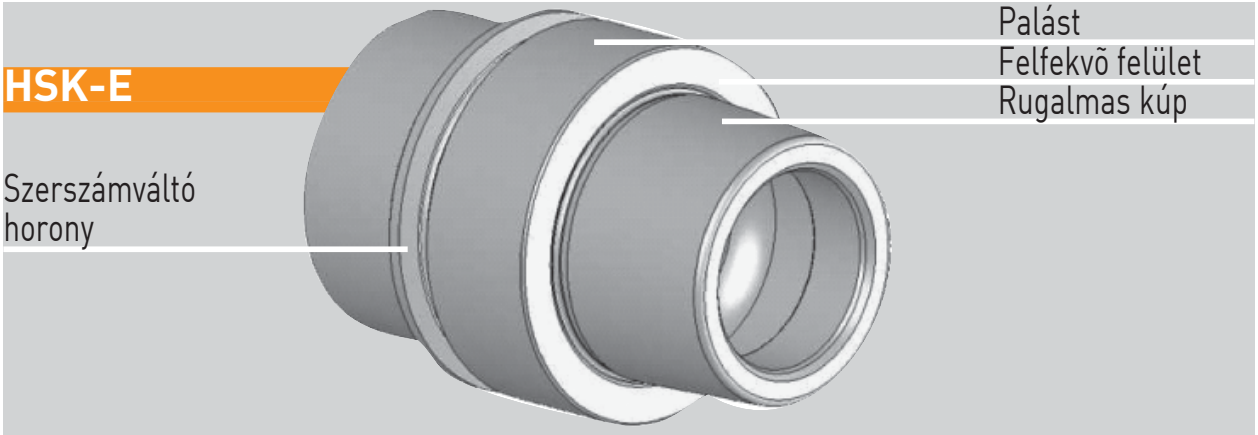
A HSC-környezet jellemzõi

Szerszám és szerszámtartó

Szerszámtartó típusok

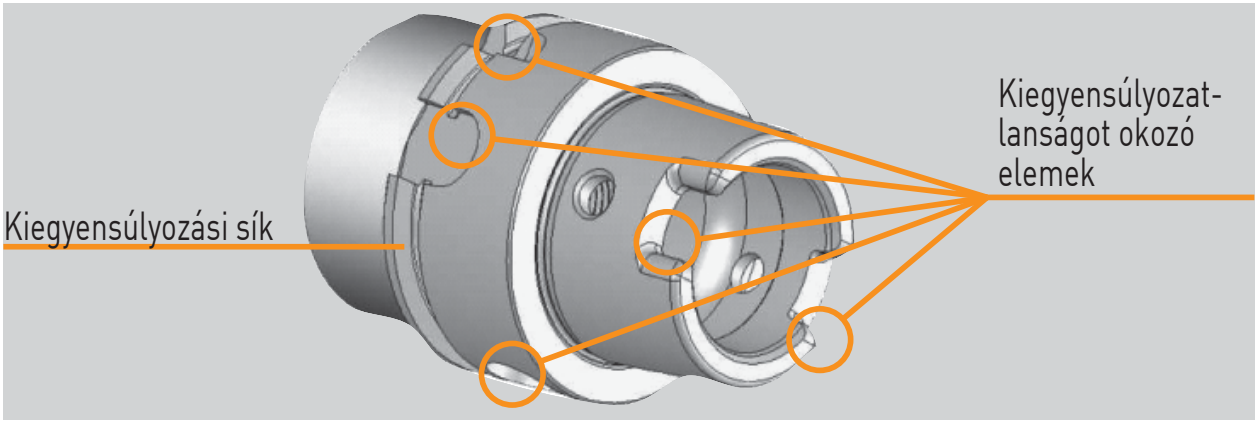
A nagy orsófordulatszámok miatt a HSC-megmunkálásoknál elõnyben részesítjük a HSK-A és HSK-E típusú szerszámtartó rendszereket. Az ilyen típusú szerszámtartók egy definiált homlok-felfekvõ felülettel rendelkeznek.





Kiegyensúlyozás minõsége és futás

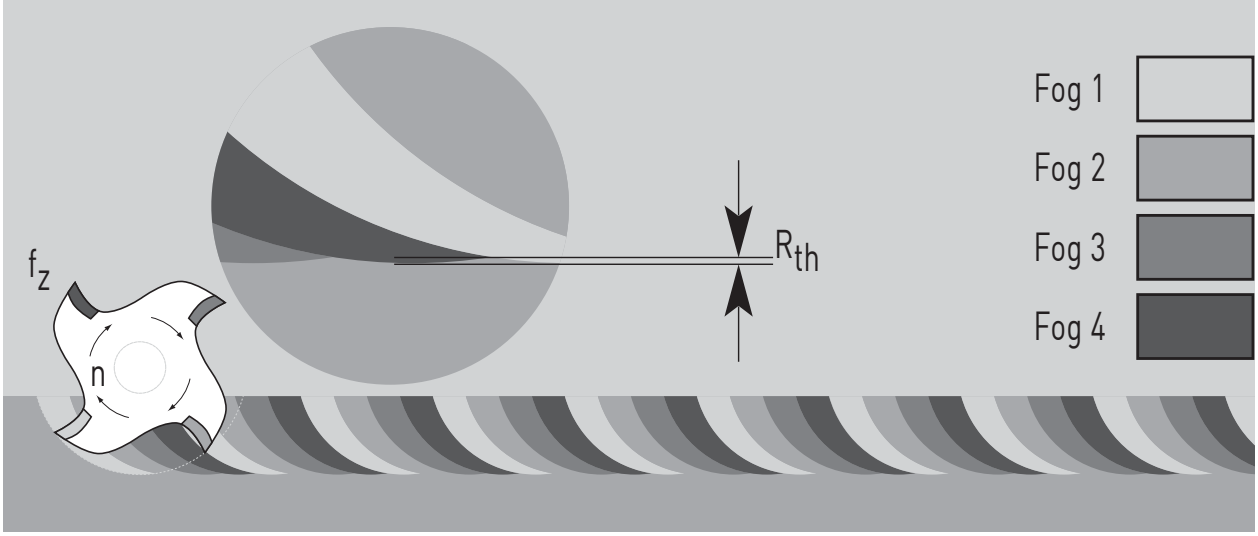
Már a munkaelõkészítés során alapvetõ hibákat lehet elkövetni, melyek a vibrációmentes és biztonságos folyamatot lehetetlenné teszik. A stabil HSC-folyamat szempontjából döntõ az, hogy a szerszám-szerszámtartó-egységet elõírás szerint egyensúlyozzuk ki és a futáspontosságot ellenõrizzük, valamint, hogy a - kiegyensúlyozatlanságtól függõ - fordulatszámkorlátozást figyelembe vegyük.



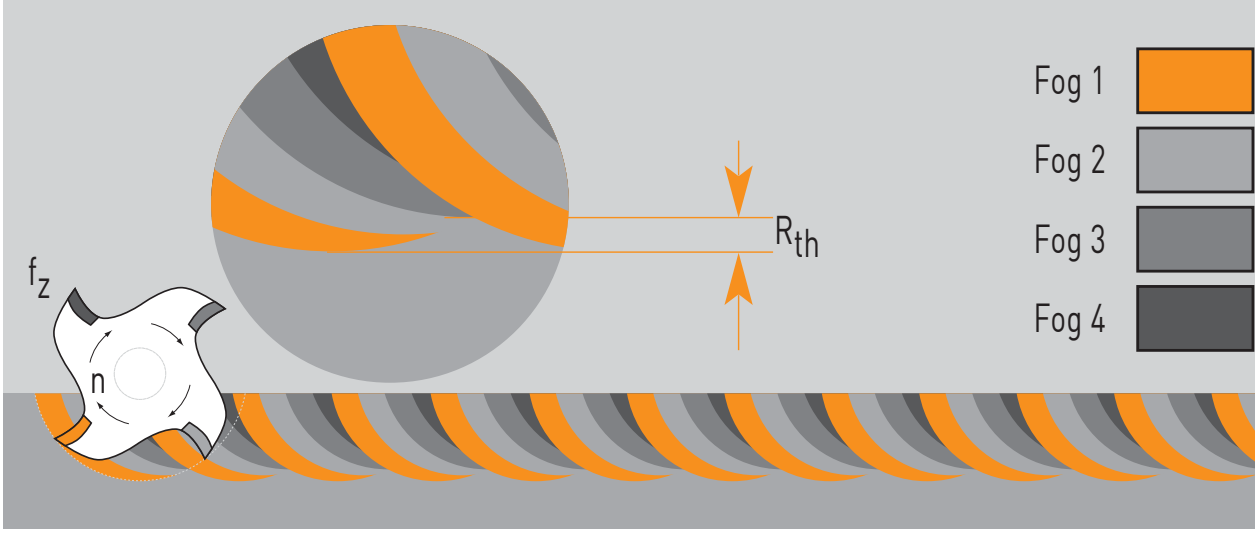
A rosszul kiegyensúlyozott vagy ütéssel futó szerszámrendszerek az alábbiakat okozzák:

- egyértelmûen rosszabb felületminõség,
- egyértelmûen rövidebb szerszám élettartam,
- rosszabb folyamatstabilitás és -biztonság,
- maróorsó sérülése lehetséges.

A kiegyensúlyozatlanság és futáspontatlanság kihatása a regeneratív rezgésnyomokra a forgácsolás során az alábbi elvi vázlatokból válik érthetõvé:



Nincs pontatlanság a futásban: kis elméleti felületi érdesség (R_{th})



Nagy pontatlanság a futásban: nagy elméleti felületi érdesség (R_{th})

A kiegyensúlyozás minõsége jelentõsen befolyásolja az egész forgó rendszer dinamikus viselkedését.
Kiegyensúlyozatlanság alatt egy excentrikusan körbeforgó tömeget értünk. Ez a tömeg centrifugális erõket okoz, amik a fordulatszámmal négyzetesen nõnek. Ez azt jelenti, hogy ugyan-az a kiegyensúlyozatlanság egy 42.000 perc^{-1} orsónál 441-szer nagyobb centrifugális erõt okoz, mint egy 2.000 perc^{-1} orsónál (21^2=441). Emiatt a kiegyensúlyozatlanság a nagysebességû megmunkálásoknál különösen negatívan hat a szerszám-szerszámtartó-egységre.

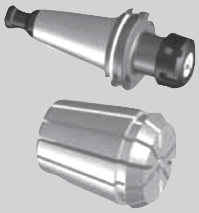
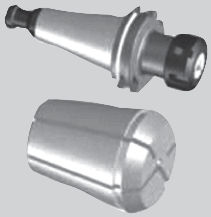
Ha a felületminõséggel szemben nagyon nagy követelményeket támasztunk, akkor kézenfekvõ, hogy HSK-E interfésszel rendel-kezõ zsugortokmányokat alkalmazzunk.

A szerszámbefogás technikája

A szerszámbefogási technikában a HSC-területen az alábbi szerszámtartók terjedtek el:

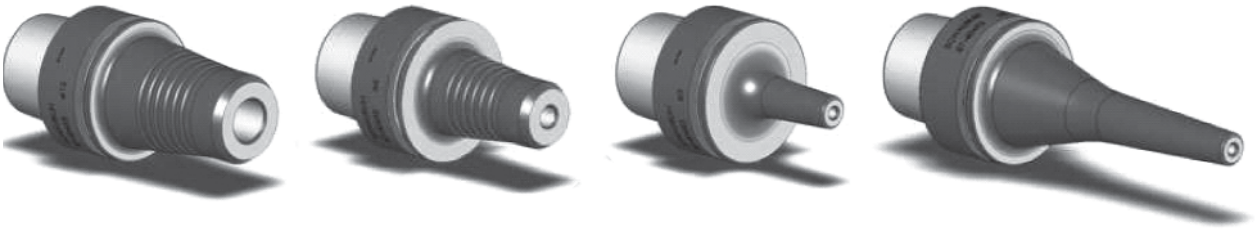
- patronok és
- zsugorkötések.

Alternatív rendszerek, mint pl. Weldon befogók, a specifikus hátrányok miatt nem javasoltak a nagy sebességû HSC-megmunkálásokhoz.

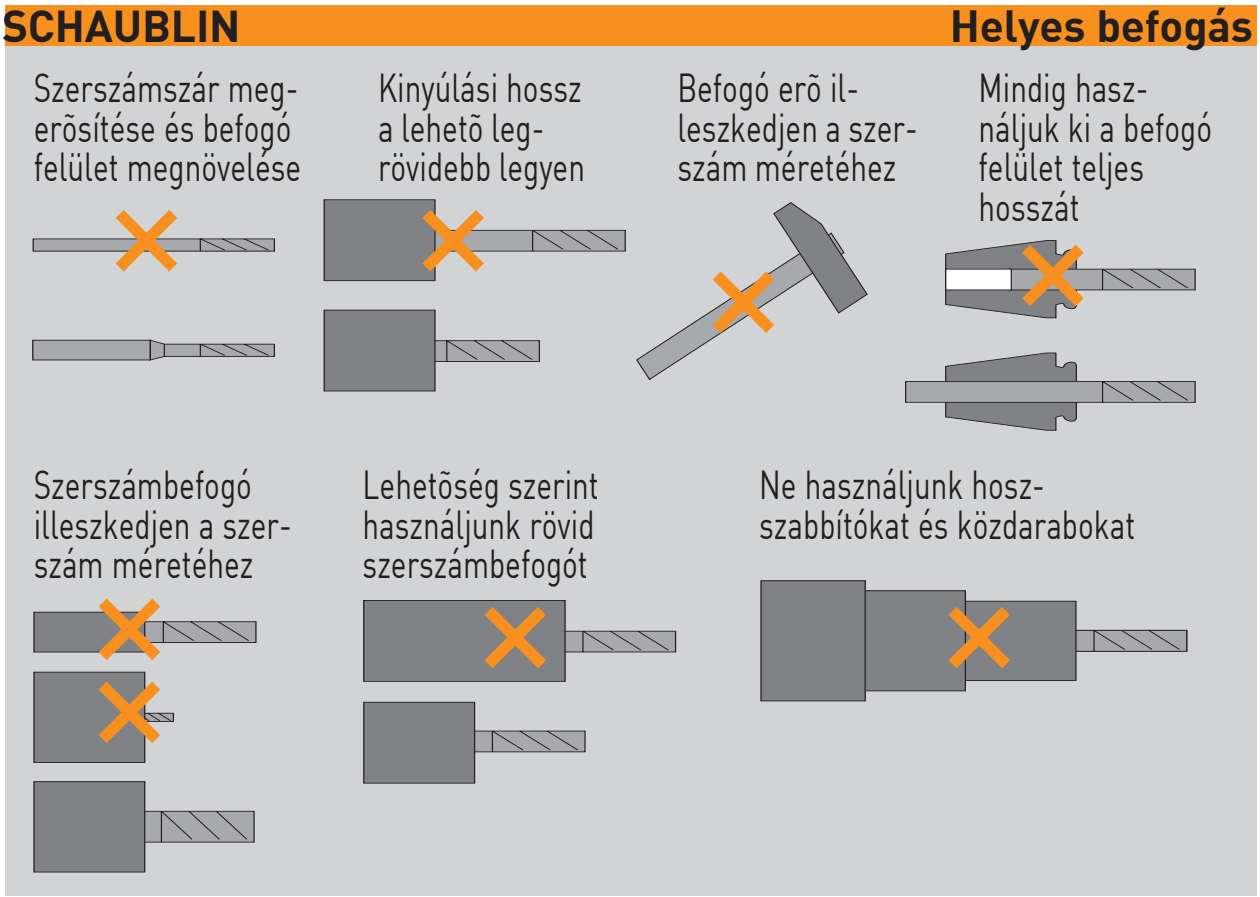
SCHAUBLIN					Befogástech.
Típus	Patrontartó ESX patronnal DIN 6499-B	Patrontartó EX patronnal DIN 6499-A	Patrontartó D patronnal	Zsugor-befogó	Weldon befogó
					
Futáspontosság	‹ 0.02	‹ 0.01	‹ 0.01	‹ 0.005	‹ 0.05
Merevség	gyenge	nagy	nagy	nagy	közepes
Rezgés-csillapítás	nagy	nagy	nagy	gyenge	közepes
Szorító erõ	gyenge	gyenge	közepes	nagy	nagy

Amíg a patronos szerszámbefogók a jó csillapító tulajdonságaik miatt a nagyolási folyamatot pozitívan befolyásolhatják, a zsugorbefogók merevsége és ismétlési pontossága kifejezetten nagy. Ez döntõ tényezõ a munkadarabon kialakítandó tökéletes felületekhez. A zsugorkötésekkel nagyon jó futáspontosság (0.003 mm alatt) érhetõ el, és az átvihetõ forgató nyomatékok is nagyok.

A zsugor-szerszámbefogók különbözõ kialakításai:



Az átvihetõ forgató nyomatékok a befogó eszközök konstrukciós kialakításától függnek. A felépítés alapján egyértelmû különbségeket lehet megfigyelni.



A geometria kihatásai a HSC-folyamatra

A szerszám rezgései közvetlenül befolyásolják az elérhetõ felületminõséget. Ezért a HSC-simítási mûveleteknél rendkívül fontos az egyenletes forgácsoló erõ, hogy ne keletkezzenek rezgések a szerszámban. A következõ geometriai jellemzõk pozitívan befolyásolhatják az egyenletes forgácsoló erõ-viszonyokat:

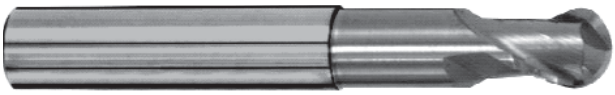
- Nagy futáspontosság az egyenletes élterhelés érdekében,
- Nagyfokú élátfedés az egyenletes erõeloszlás érdekében (vagyis nagy csavarvonal hajlásszög és fogszám),
- Rövid élhosszok a nagy merevség érdekében (a meredek falak megmunkálásához a szárátmérõt kis mértékben lecsökkentik),
- Mag keresztmetszetének optimálása, hogy az élhatás minimális legyen a horonykifutásnál.

Mivel a HSC-eljárással nagy keménységû anyagok is megmunkálhatók, a megmunkálandó anyag keménységével az anyag-alakítási ellenállás is nõ. A növekvõ terhelés a vágóélen az ékszög stabil kialakítását is maga után vonja.
Mivel azonban a nagy forgácsolási sebességeknél a szerszám hátlap és a munkadarab felület érintkezési zónájában több súrlódási hõ keletkezik, a szerszám hátszögét nem szabad csökkenteni. Emiatt az ékszög stabilitásának növelése csak a homlokszög csökkentésével érhetõ el.
Nagyon kemény anyagok forgácsolásánál ez akár negatív homlokszögeket is eredményezhet
Az ékszög azonnali átizzásának vagy lokális kitörésének elkerülésére egy pontosan meghatározott rádiuszt köszörülnek az ékszög csúcsára.

Az alkalmazandó simító szerszám effektív gömbgeometriája közvetlenül kihat a megmunkálandó munkadarab formapontosságára. Ezért a szerszám mikrométer tartományban mozgó nagyon szûk rádiusztûrése nagyon fontos alapfeltétel a nagy precizitású alkatrészek készre munkálásához.

Tömör keményfém HSC maró sarokrádiusszal

Tömör keményfém HSC simító maró



Moduláris szerszámkoncepció HSC fejjel

Szerkezeti anyagok és bevonatok

Elméletileg érvényes: az alkalmazott szerszámanyag legyen keményebb a megmunkálandó anyagnál. Minél nagyobb a keménységbeli különbség a munkadarab és a szerszám anyaga között, annál hosszabb a szerszám éltartama a kopást illetõen.
Ezen kívül a lokálisan extrém magas hõmérsékletek miatt biztosítani kell a szerszámanyag oxidációval szembeni ellenálló képességét is.

A szerszámél nagyfokú termikus váltóterhelése és a szerszámanyag oxidációval szembeni ellenállás igénye szükségessé teszik a legfinomabb szemcséjû keményfém alapanyagok bevonatolását.

A bevált bevonatrendszerek, pl. TiN, TiCN és TiAlCN határait a HSC-megmunkálásoknál gyorsan elérjük. Ezért fejlesztettek ki olyan többkomponensû bevonatokat, melyek magas alumíniumtartalmú nitrideken, és további adalékanyagokon, pl. ittrium, vanádium vagy tantál, alapulnak.

Még ennél is magasabb teljesítményt csak nano-réteg-struktúrákkal, pl. CBN vagy PKD, lehet elérni.

Mûhelykörnyezet

Egy szerszámgép legfontosabb minõségi jellemzõin kívül, mint pl.

- DIN ISO 10791-2:2001 szerinti geometriai pontosság,
- DIN ISO 230-2:1997 szerinti pozícionálási pontosság és ismétlési pontosság,
- DIN ISO 230-4:1994 szerinti köralak teszt,

a nagy pontosságú munkadarabok gyártásánál a folyamatbiztonságra vonatkozó egyéb követelményekkel együtt további aspektusokat is figyelembe kell venni és definiálni szükséges. A megmunkálási feltételekre különösen oda kell figyelni:

1. Milyenek a környezeti feltételek a szerszámgép felállítási helyén?
   - Hõmérsékletstabilitás,
   - Padlózat minõsége,
   - Rezgések külsõ hatások miatt, pl. szomszédos szerszámgépek, teherszállítás, stb.
2. Használnak-e hûtõvizet a precíziós alkatrészek megmunkálásánál?
3. Vannak-e gépállási idõk az egyes megmunkálási lépcsõk között?

4. Kevert üzemeltetés a gyakorlat? Melyik munkadarab anyagot munkálják meg a leggyakrabban?
5. Milyen orsófordulatszámot használnak gyakran a precíziós alkatrészek finommegmunkálásához (simító mûvelet)?
6. Milyen jellemzõ méretekkel rendelkeznek a megmunkálandó precíziós alkatrészek?
7. Milyen elõtolási értékeket használnak a precíziós alkatrészek finommegmunkálásához (simító mûvelet)?
8. Milyen finommegmunkálási idõket (simítási idõk) várnak el jellemzõen a munkadaraboknál?
9. Használnak-e mérõtapintót a szerszámgépen?
10. Milyen módon mérik a munkadarabokat?
11. Alaposan tisztítják-e a szerszámokat és szerszámtartókat?
12. Rendszeresen tarják-e karban a szerszámgépet?

Csak a megmunkálási feltételek átfogó analízisével lehet a fent felsorolt követelményeknek megfelelni.
Ehhez a legtöbb esetben szükséges a szerszámgép gyártójának szakszerû támogatása, aki átfogó ismeretekkel rendelkezik a géprendszerrõl.

A HSC-szerszámgép

A HSC-technológia strukturális és átfogó beavatkozást igényel a forgácsolás folyamatába. A sikeres HSC-folyamathoz a szerszámgép architektúrája rendkívül fontos.
A hatáslánc elején a megváltozott forgácsképzõdési folyamat helyezkedik el. A hatáslánc végén van a HSC-nek megfelelõ géprendszer van.

A HSC-szerszámgép fõbb komponensei:

- Konstrukciós kialakítás
  - Dinamikus merevség
  - Könnyûszerkezetes felépítés, tömegeloszlás, csillapítás
- Hajtások
  - Teljesítmény jelleggörbe, hûtés
  - Szabályozási struktúra, szabályozás minõsége
- Vezérlés
  - HSC-funkcionalitás
  - Kompenzáció
- Szerszámorsó
  - Csendes futás nagy fordulatszám esetén
  - Hõtani stabilitás

Konstrukciós kialakítás

Mivel a HSC-megmunkálás minõsége nagy mértékben függ a HSC-szerszámgép dinamikai határaitól, már a szerszámgép konstrukciós kialakítása során különös figyelmet kell fordítani a dinamikai merevségre.

A kiváló dinamikai merevséget csak konzekvens könnyûszerkezetes felépítéssel, a mozgó tömegek jó tömegeloszlásával a nyugvó tömegekhez képest, és jól csillapító kompozit anyagokkal lehet elérni. Mivel minden mozgó tömeg rendelkezik tömegtehetetlenséggel, nagy erõváltozásoknál (indító és fékezõ gyorsulások) deformáció lép fel, és az ezekkel az erõkkel terhelt gépelemek kilengenek. Az érintett gépelemek kilengése relatív elmozdulást okoz a szerszám csúcsa és a megmunkálandó munkadarab között. Ez a jelenség negatívan befolyásolja a szerszám kopását és a munkadarab felületminõségét.
Ezért döntõ tényezõ a tengelyszánok konstrukciós elhelyezése és konstrukciós felépítése a HSC-folyamat minõségének szempontjából.

Gyakran követik el azt a hibát, hogy a szerszámgép dinamikai tulajdonságait lekorlátozzák a tengelyek mozgási sebességére és a maximális gyorsulási képességre a gyorsjáratok során. Tény az, hogy ez az eljárás nem kielégítõ. A megmunkálási idõ és a megmunkálás minõsége lényegében a HSC-marógép effektív szerszámpályadinamikájától függ.

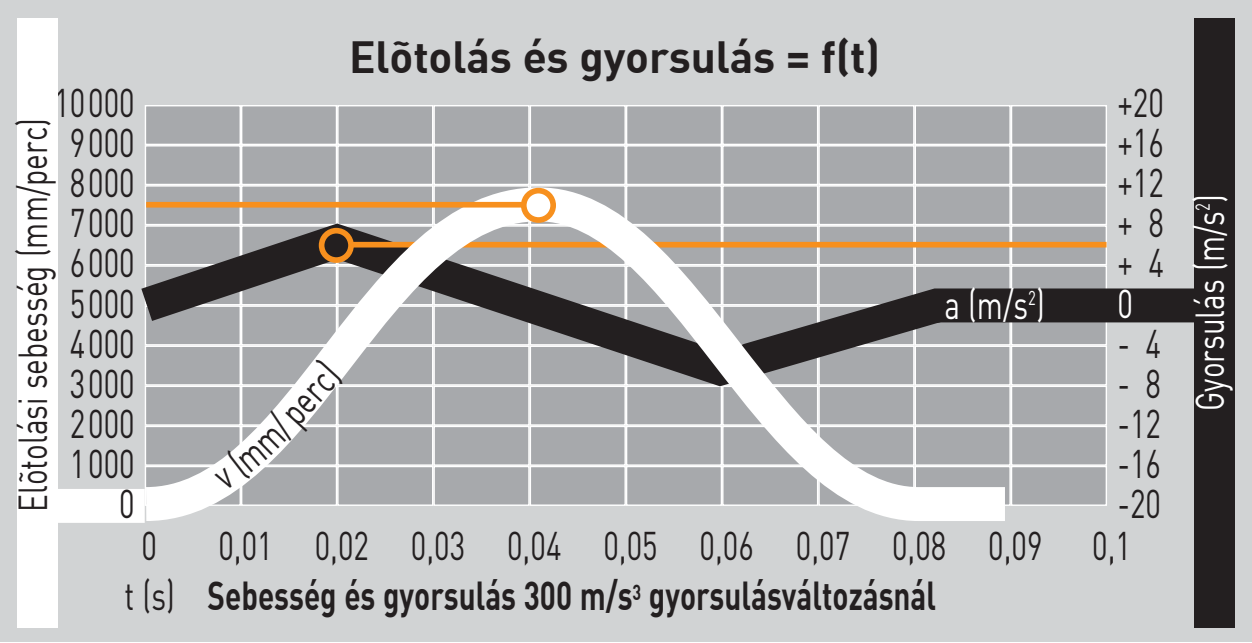
Ez az effektív pályadinamikát azonban egy másik fizikai tényezõ határozza meg: a gyorsulásváltozás (másodrendû gyorsulás). Csak a gyorsulásváltozás nagy értéke teszi lehetõvé a megmunkálási idõ csökkentését és a maró szerszámok élettartamának növelését. A maximális gyorsulásváltozás alapját a HSC-marógép dinamikai merevsége képezi.

A gyorsulásváltozás alatt azt értjük, hogy milyen gyorsan érhetõ el a névleges gyorsulás ($j=\Delta a/\Delta t$). Minél nagyobb a gyorsulásváltozás, annél gyorsabban nõ a gyorsulás.

Példa 1

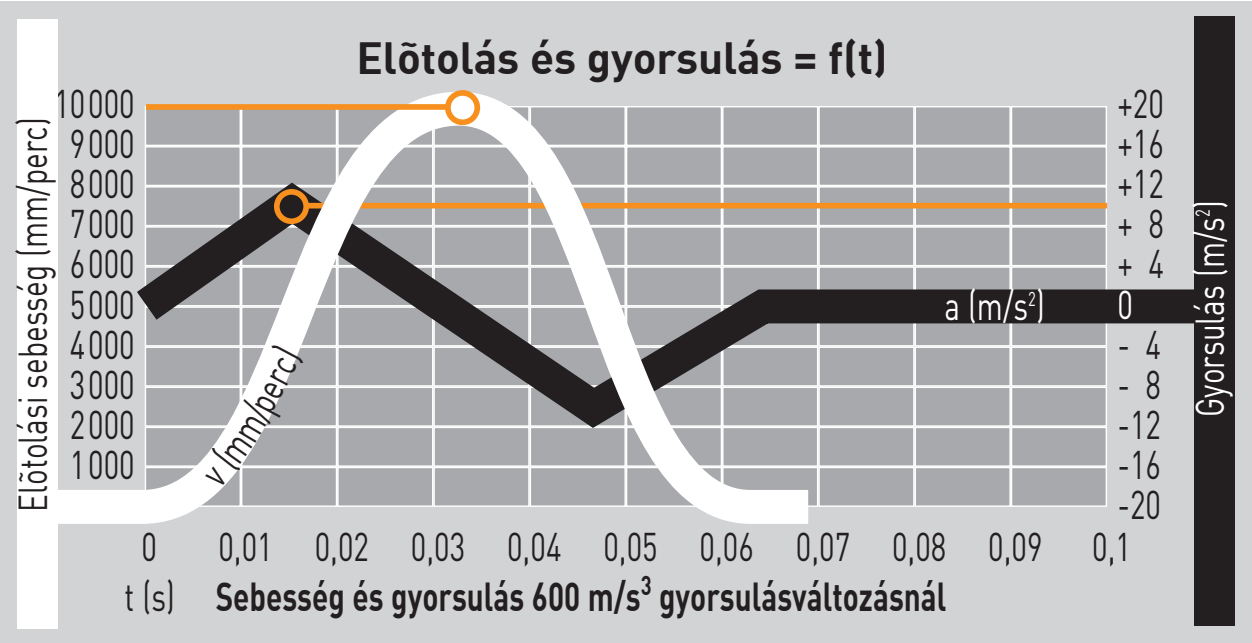
Kezdeti sebesség:	0 mm/perc
Bejárandó úthossz:	5 mm
Végsõ sebesség:	0 mm/perc
Programozott elõtolási sebesség:	10.000 mm/perc
Géptengely maximális gyorsulása:	20 m/s² (≈ 2 g)
Pálya gyorsulásváltozása:	300 m/s³
Út megtételéhez szükséges idõ:	0.081 s
Géptengely elért gyorsulása:	6 m/s²

Az ábrából kivehetõ, hogy sem a programozott sebességet, sem a maximális gyorsulást nem értük el.
Ehelyett a maximálisan elért elõtolási sebesség 7.500 mm/perc, és a maximális gyorsulás csak 6 m/s²-re nõtt.
Ezek az alacsony értékek arra vezethetõk vissza, hogy a tengelymozgást már a maximális sebesség elérése elõtt le kell fékezni ahhoz, hogy a szerszámgép meg tudjon állni az 5 mm út megtétele után.



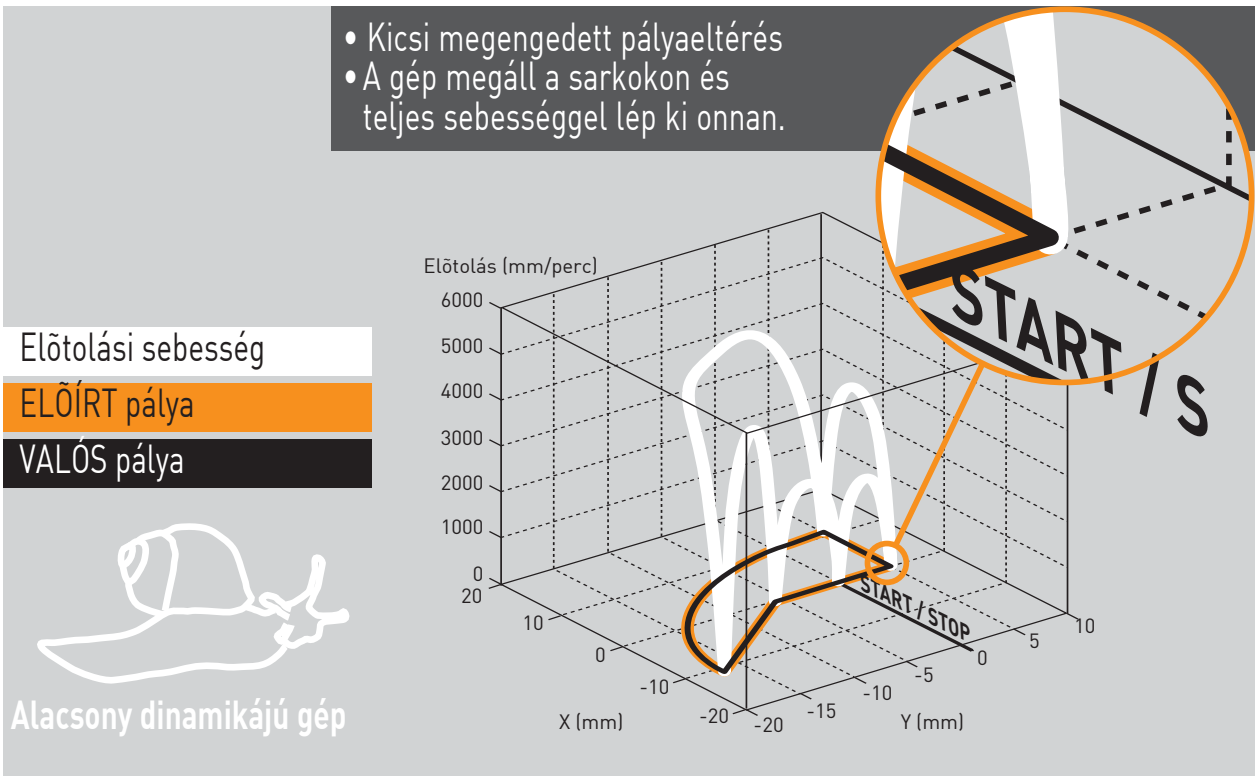
Példa 2

Kezdeti sebesség:	0 mm/perc
Bejárandó úthossz:	5 mm
Végsõ sebesség:	0 mm/perc
Programozott elõtolási sebesség:	10.000 mm/perc
Géptengely maximális gyorsulása:	20 m/s² (≈ 2 g)
Pálya gyorsulásváltozása:	600 m/s³
Út megtételéhez szükséges idõ:	0.061 s
Géptengely elért gyorsulása:	10 m/s²

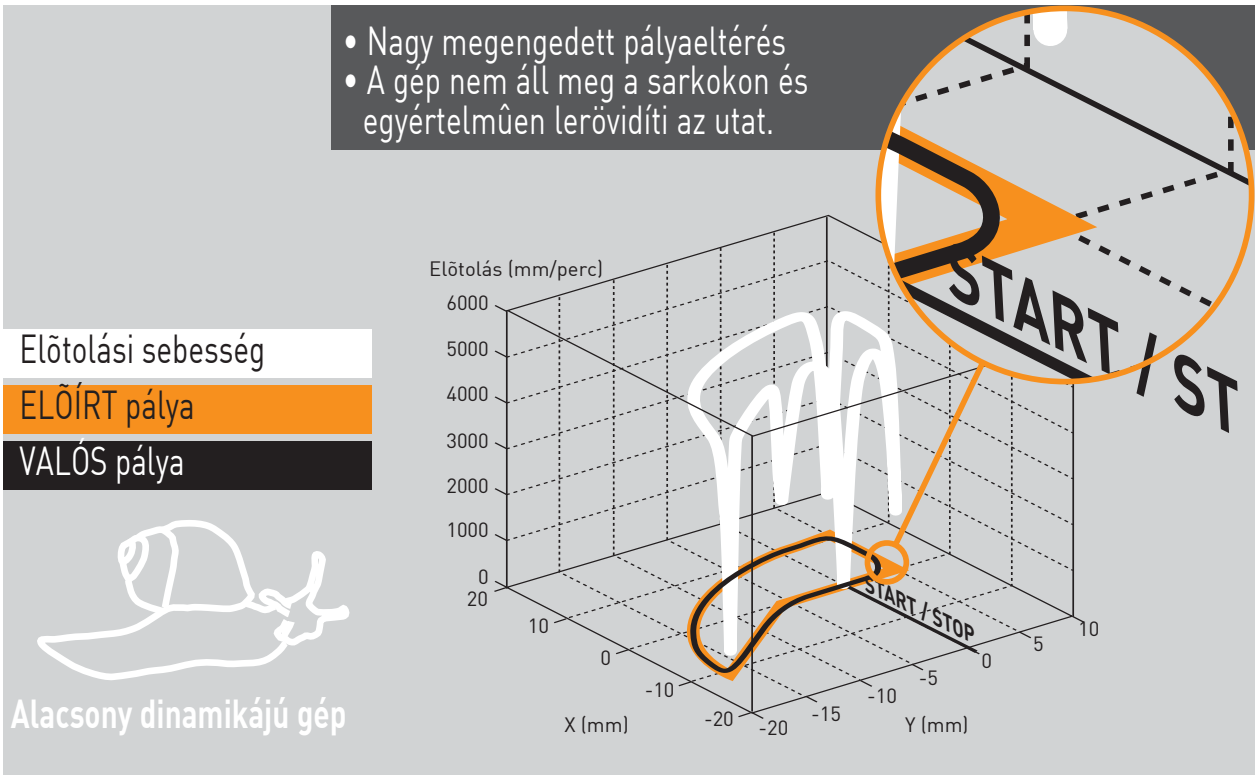


Az ábrából kivehetõ, hogy ugyan rövid ideig elértük a programozott sebességet, a géptengely maximális gyorsulását azonban nem értük el. A maximális gyorsulás csak 10 m/s² értékre nõtt.

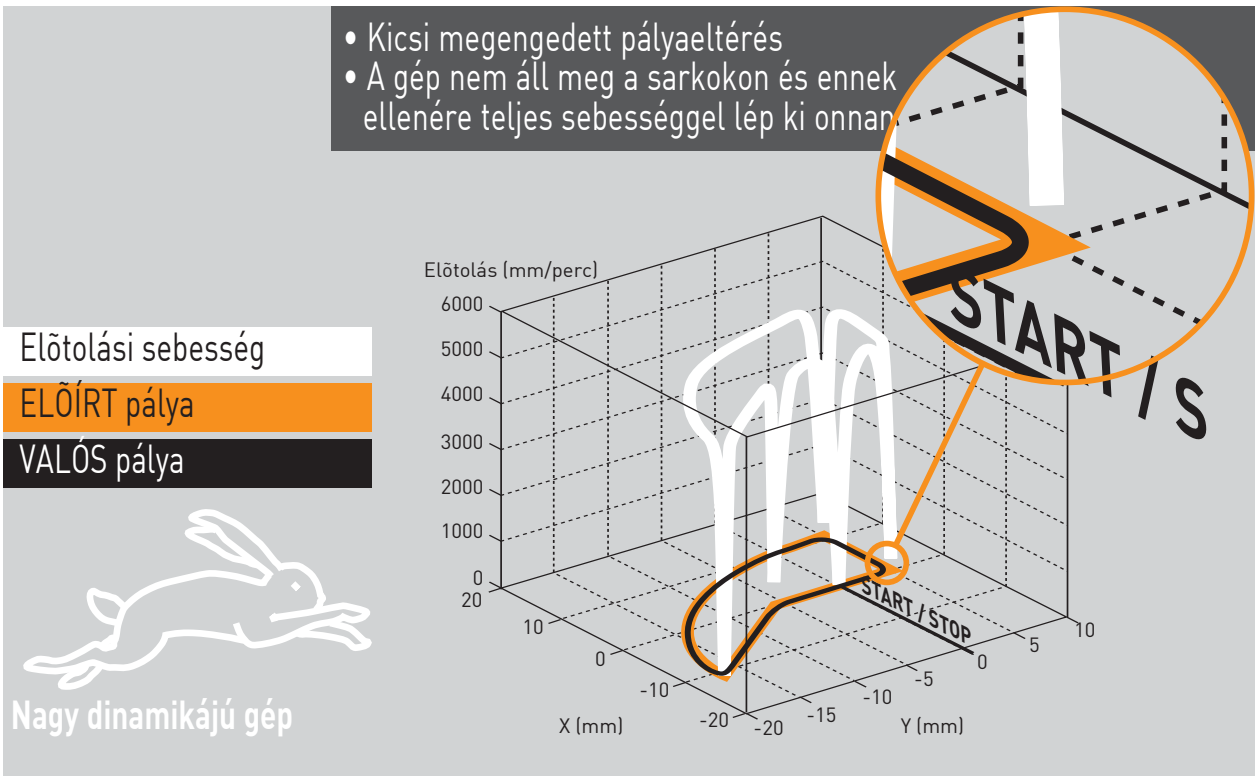
Példa sebességprofilra az X-Y síkban



A programozott 5.000 mm/perc elõtolási sebességet az egyenes szakaszokon a gép nem éri el.
Szükséges idõ az út megtételéhez: **1.96 másodperc**



A programozott 5.000 mm/perc elõtolási sebességet az összes szakaszon eléri a gép (de kilép a kontúrból).
Szükséges idõ az út megtételéhez: **1.03 másodperc**



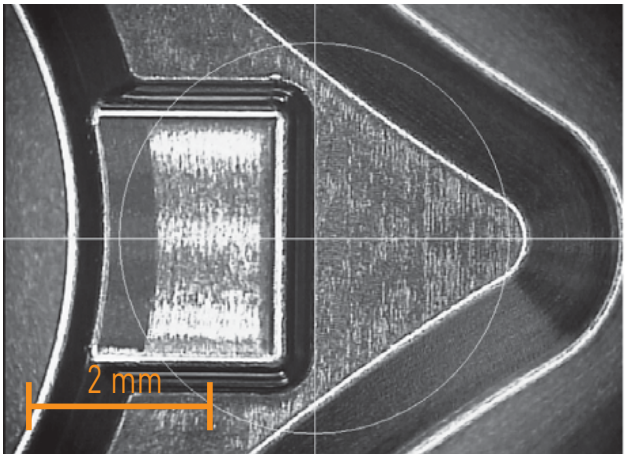
A programozott 5.000 mm/perc elõtolási sebességet az összes szakaszon korán eléri a gép.
Szükséges idõ az út megtételéhez: **1.08 másodperc**

Hajtások

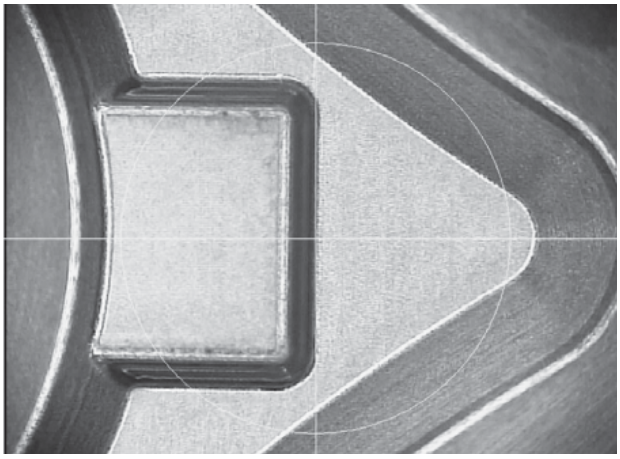
A tengelyhajtásoknál két HSC-hez alkalmazható hajtás-koncepciót különböztetünk meg:

- Közvetlen hajtás a lineáris és forgó tengelyeken,
- Hagyományos hajtásmegoldás hajtómû elemekkel.

Szerszámgép golyós orsóval



Szerszámgép lineáris közvetlen hajtással



Csak a HSC-technológiánál érvényesülnek teljes mértékben a közvetlen hajtás elõnyei. A munkadarabon még nagy pályaelõtolások esetén is kiváló pontossági értékek és felületminõségek érhetõk el. Mivel nincsenek mechanikai erõátviteli elemek az erõ hatásvonalában, a súrlódásból és a kopásból, valamint a dinamikai merevségbõl adódó korlátok nem léteznek többé.

A maximális gyorsulásokat gyorsjáratban el lehet érni, és ezek tengelyenként vannak definiálva. A tengelyenkénti gyorsulási értékekbõl egy elméleti térbeli gyorsulás is számítható az összes tengely egyidejû elmozdulása esetén, az alábbiak szerint:

Gyorsulás tengelyenként X, Y és Z = 10 m/s^2
Lehetséges térbeli gyorsulás: $\sqrt{(10^2+10^2+10^2)}$ $m/s^2 = 17.32$ m/s^2

Gyorsulás tengelyenként X, Y és Z = 15 m/s^2
Lehetséges térbeli gyorsulás: $\sqrt{(15^2+15^2+15^2)}$ $m/s^2 = 25.98$ m/s^2

A nagy gyorsjárati sebességek és gyorsulások nem csak a realizálható mellékidõkre vannak pozitív hatással. Így a marásoknál zárt pálya mentén - pl. allandó húzó forgácsolás egyenirányban - egyértelmû gépi fõidõ csökkentés is megvalósítható.
Más a helyzet, mint az oda-vissza marásnál, ahol egyenirány és ellenirány, ill. húzó és toló forgácsolás minden szerszámpályán váltakozik, itt nem változnak a bemerülési feltételek.
Ez pozitívan befolyásolja az elérhetõ érdességi értékeket.
A hosszabb üresjárati utakból adódó idõhátrány a gyorsjárati nagy gyorsulásoknak köszönhetõen korlátok között tartható.

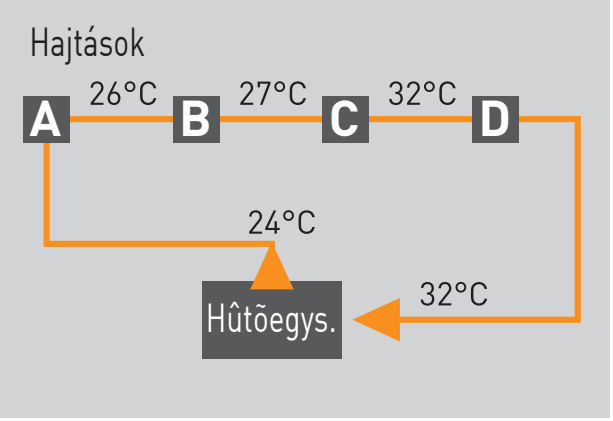
Ezen a helyen példaként tekintsünk egy 5 × 5 mm méretû geometria elemet. Ezen a geometria jellemzõn egy Ø 1 mm gömbmaró használatával kell egy nagyon jó felületminõséget létrehozni. Oldalsó pályafogásvételként (ellépésként) válasszuk a b_r = 0.014 mm értéket. Ez azt jelenti, hogy

a szerszámot 357-szer kell párhuzamos pályákon a munkadarab mentén vezetni. A "húzó forgácsolás egyenirányban" marási stratégia konzekvens alkalmazásával a szerszámgépnek 356-szor kell gyorsjáratban újrapozícionálni. Az elõzõ fejezetekben bemutatott számítások alapján a HSC-szerszámgép ezen az 5 mm-es gyorsjárati úton 600 m/s^3 gyorsulásváltozás esetén 10 m/s^2 maximális gyorsulást és 10.000 mm/perc maximális gyorsjárati sebességet ér el.
Ebben az esetben a gépnek 0.061 s-ra van szüksége a pályánkénti újrapozícionáláshoz (be- és kilépõ mozgást a felületnormális irányában nem veszünk figyelembe). Ezeknek az üresjáratoknak az idõaránya ebben a példában 23%.

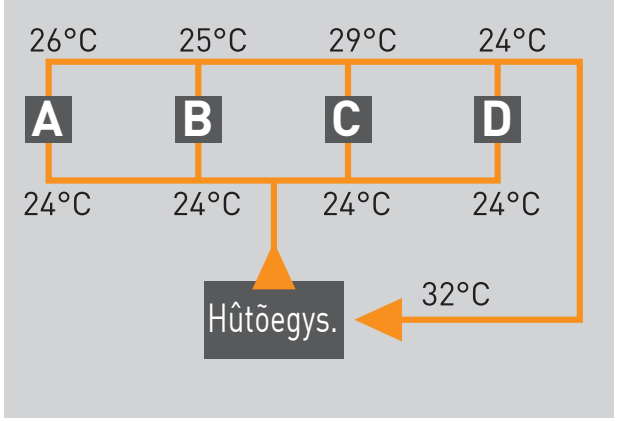
	Szerszámacél HRC 58
Gépi fõidõ (Orsófordulatszám; megmunkálási elõtolás)	95 s (pályánként 0.27 s) (40.000 1/perc; 1.120 mm/perc)
Mellékidõ (újrapozícionálás)	22 s (pályánként 0.061 s)
Mellékidõ / Gépi fõidõ aránya	23 %

Kézenfekvõ, hogy egy ilyen stratégia alkalmazásakor a hajtásmotorokban nagyon sok hõ fejlõdik. Egymást gyorsan követõ nagy áramcsúcsok válnak szükségessé az idõben szûkre szabott fékezõ és gyorsító intervallumok miatt a nagy gyorsulási értékeknél. Ha a szerszámgépnek ennek ellenére hõtanilag stabilan kell viselkedni, akkor szükségessé válik a hajtásegységek átfogó és hatékony hûtése.

Hátrányos



Elõnyös



Egy átgondolt hûtésmenedzsmenttel az összes lineáris tengely és a forgó-billenõ egység is sikeresen temperálható. A külön hûtõkörök gondoskodnak arról, hogy a hõ konzekvens módon kerüljön a gépbõl elvezetésre, és ne a gépben terüljön szét. A helyes hûtésmanagementtel olyan geometriai stabilitás érhetõ el, ami biztosítja a mozgást végzõ egységek extrém magas ismétlési pontosságát.

NC-vezérlés

Az NC-vezérlés fõ feladata a géptengelyek koordinált mozgatása, hogy a kívánt relatív mozgás a szerszám és a munkadarab között létrejöjjön.
Itt különbséget teszünk pályagenerálás és a hajtásszabályozás között.

A pályagenerálás foglalja össze az összes mûveletet az elõtolásokat végzõ tengelyek elõírt elmozdulásainak kiszámításásához, az NC-program interpolációs pontjai alapján. Az NC-vezérlés kiszámítja az elõírt elmozdulásokat az elõtolást végzõ tengelyek dinamikai határainak és a megadandó pályatûrések figyelembe vétele mellett.

Az elõtolást végzõ motorok vezérlését a hajtásszabályozásnak kell az elõtolást végzõ tengelyek kiszámított elõírt mozgásaihoz hozzáigazítaniai. Így biztosítja a hajtásszabályozás azt, hogy az elõírt mozgás hirtelen irányváltásainál, valamint változó erõk esetén se keletkezzenek a munkadarabon említésre méltó kontúreltérések.

Napjaink HSC-megmunkálása extrém követelményeket támaszt az NC-vezérléssel szemben. A vezérléstechnológiában elért mûszaki haladás miatt a HSC-követelményeket a HSC-re képes NC-vezérlések messzemenõen tartalmazzák.
Ide tartoznak:

- felgyorsított mondatfeldolgozási idõk,
- szabályozó körök gyors letapogatása,
- nagy teljesítményû elõretekintés a mondatokban (Look-ahead)
- pályatervezés intelligens stratégiákkal,
- és a mechanikai hatások optimális modellezése a szerszámgép viselkedésére vonatkozóan.

Az NC-vezérlést tekinthetjük a HSC-megmunkálásnál az egyik legfontosabb technológiai hajtóerõnek.

Elõretekintés (Look-ahead)

Az elõretekintés (Look-ahead) funkció biztosítja a géptengelyek nagy dinamikájú mozgását.

Az elõretekintõ funkcionalitás a mozgatott géptengelyek tömegtehetetlensége miatt vált szüksékessé. Mivel az irányváltást egy végesen merev összekötéssel rendelkezõ tömegen digitálisan nem lehet feldolgozni, az irányváltást a sebesség, a hajtások gyorsulásának és a gépkonstrukció dinamikai merevségének függvényében optimális módon kell bevezetni. Ez a pályaelõírás által szükségessé váló irányváltás függvényében szükségessé teszi a még bejárandó pályaszakaszok pályasebességének tervezését - vagyis az NC-mondatok elõ-processzálását, lásd: mondat elõretekintés (Look-ahead) - az NC-vezérlés által.

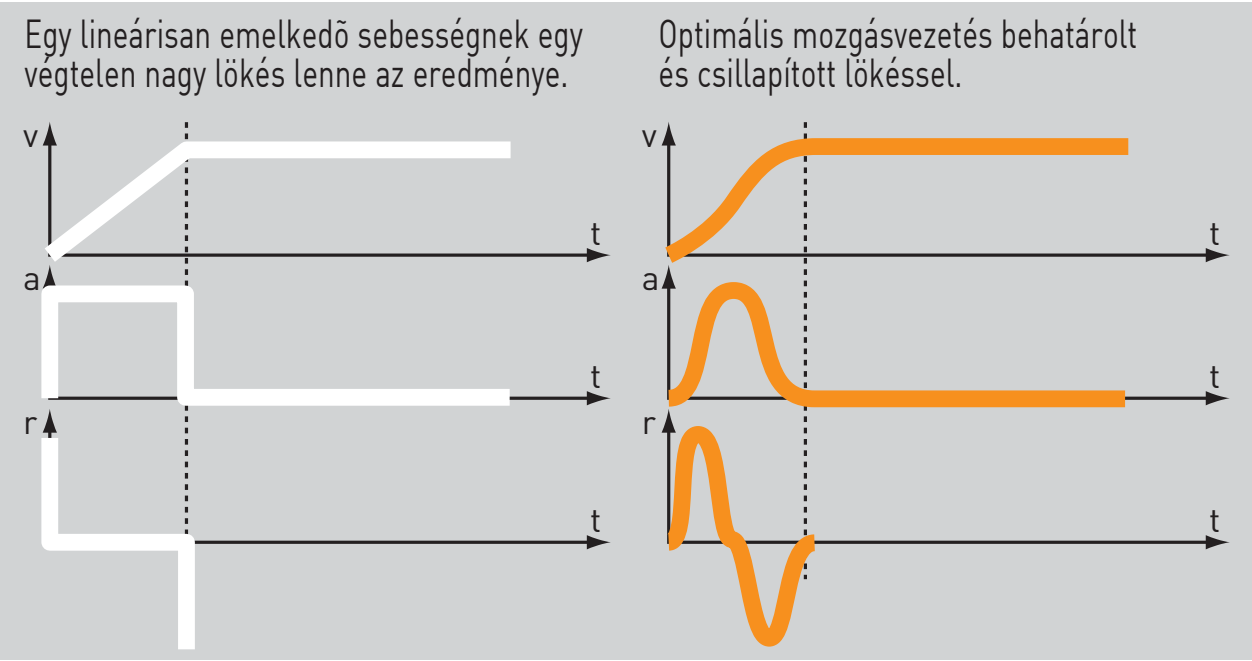
Pályatervezés

A döntõ célkritériumoknál - megmunkálási idõ, pontosság és felületminõség - nem csak a HSC-technológia esetében találkozunk célkritérum-konfliktussal. Az egyik célkritérium elkülönített optimálása minden esetben a többi célkritériummal kapcsolatos kompromissszummal jár együtt. A gépgyártó és a vezérlésgyártó közötti szoros együttmûködés jelentheti a konfliktus értelmes - a HSC-pályatervezés keretein belüli - megoldását.

A HSC-pályatervezés fõ feladata a tengely-elõtolás optimálása a megengedett pályatûrés egyidejû betartása mellett, és a gépstruktúrában a minimális mértékû rezgéskeltés. Amennyiben a szerszámpálya eltér az egyenestõl, akkor a programozott pályaelõtolást a gépspecifikus határértékek függvényében adott esetben nem lehet folyamatosan betartani. Az optimális pályasebesség kiválasztásához a pályatervezés többek között figyelembe veszi a következõket:

- maximálisan lehetséges tengely-elõtolás,
- maximális tengelygyorsulás és
- megengedett tengelylökés (gyorsulás változásának a sebessége).

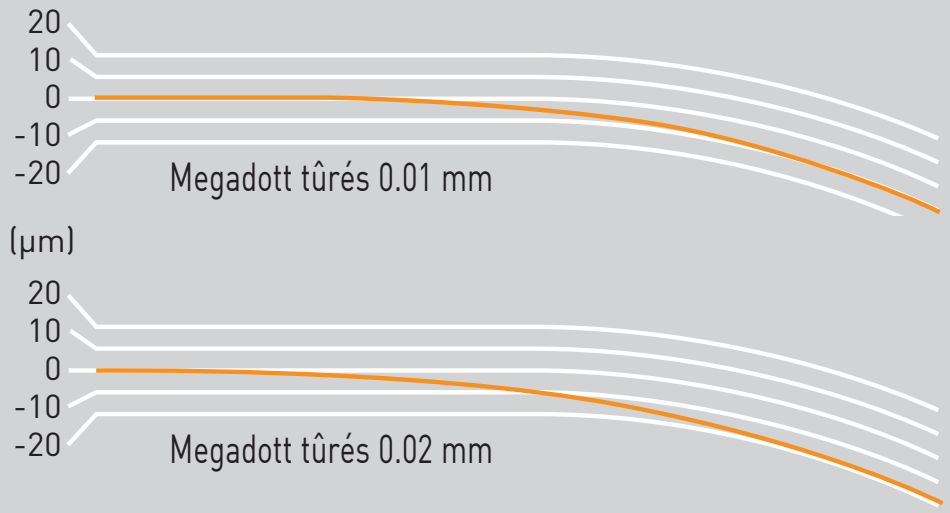
A sebesség-, a gyorsulás és lökésprofilok aktív simításával és a HSC-vezérlés által módosított elõírt görbékkel (szerszámpályákkkal) a mechanika kisebb mértékben gerjed, ugyanakkor a pályasebesség és pályahûség nagy lesz.
Ez az alapja a stabil folyamatnak és a tökéletes munkadaraboknak.



Mindezek szemléltetéséhez: jellemzõ módon a géptengelyeket csak akkor lehet gyorsabban mozgatni, ha azok az elõre programozott szerszámpályától bizonyos tûréshatárokon belül eltérhetnek. Ez különösen éles élekkel rendelkezõ munkadaraboknál érthetõ meg. Egy teljesen pontos él létrehozásához az egyik megmunkáló tengelyt (a tömegtehetetlensége miatt) elõbb teljesen meg kell állítani, mielõtt a másik tengely felgyorsulhatna (névleges geometria). A megengedett kontúreltérés alapján a vezérlés a második tengely gyorsulását azonban már akkor elindíthatná, mielõtt az elsõ tengely megérkezett volna az sarokélhez. Ekkor a gép a megadott pályatûrés kihasználásával gyorsabban tudna a sarokél mentén elmozdulni. A mozgás elmosódik annak érdekében, hogy a gép dinamikai határainak betartása mellett a pályasebesség szûk rádiuszoknál is optimális legyen.

A felhasználó számára a vezérlés azon képessége a döntõ, hogy a sebességprofilt úgy tudja optimálni, hogy a megadott kontúrtûréseket a legkülönbözõbb munkadarab geometriáknál is be lehessen tartani. Ezzel a módszerrel a geometriai pontosságra és felületminõségre vonatkozó elõírások általában minden tetszõleges munkadarab kontúrnál már az elsõ legyártott munkadarabnál teljesíthetõk.

Megadott tûréssel rendelkezõ program: a szerszámgép megmunkálási módja



Interpoláció
Az interpolátor számítja ki a geometria adatokból az elõírt értékeket a tengelyek helyzetéhez és sebességéhez, amikre az azt követõ fix ütemidõ szerinti szabályozáshoz van szükség.
Itt már az NC-program generálása során különféle interpolációk közül lehet választani:

- Lineáris interploáció,
- Körinerpoláció,
- Splineinterpoláció.

Számos, a piacon elérhetõ CAM-programozó rendszer diszkretizálja a NURBS-alapú CAD-felületadatokat.
Ezek a CAM-rendszerek a szerszámpályák tervezéséhez egy rácshálós modellezõvel rendelkeznek, ami a Spline-alapú felületleírásokat fazettált poligonhálókkal közelíti a megadott tûrésnek megfelelõen. Ezután ezen poligonhálók alapján kerül a szerszámpálya kiszámításra. A legtöbb CAM-rendszer ezeket aztán G01-parancsok formájában adja ki.

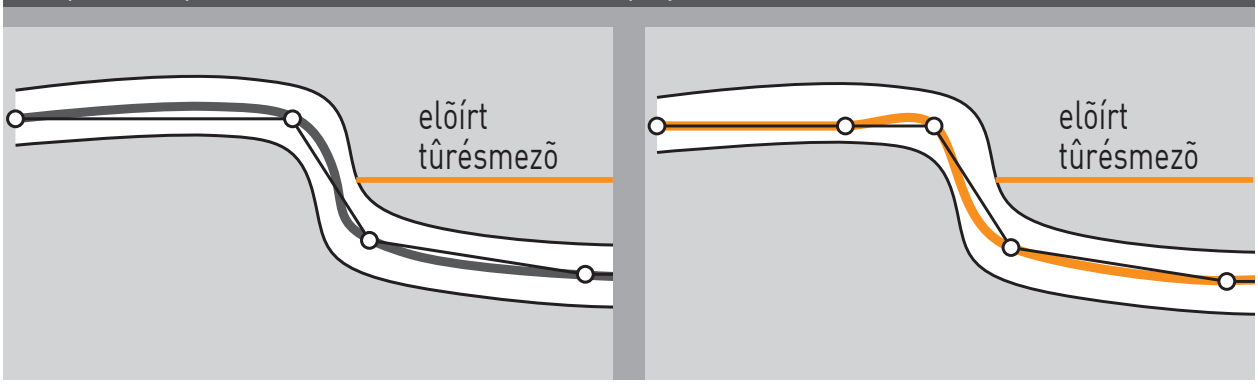
Ezen a területen csak néhány NC-vezélés gyártó tevékeny:
A programozott G01-parancsok alapján az elõtolásokhoz az elõírt pozícióértékeket Spline-alapú interpolációval számítják ki.

Kérdéses, hogy a Spline-ok utólagos létrehozásának egyáltalán van-e értelme?

A gyakorlati tesztek azt mutatták, hogy a Spline-interpoláció az NC-vezérlésen a G01-parancsok alapján
- érzékeny a pontfelhõ homogenitásában lévõ ingadozásokra, ezért gemoetriai és felületi hibák keletkezhetnek a munkadarabon a Spline-interpolátor által, az NC-adatok lekerekítéséhez használt szabad terek miatt;

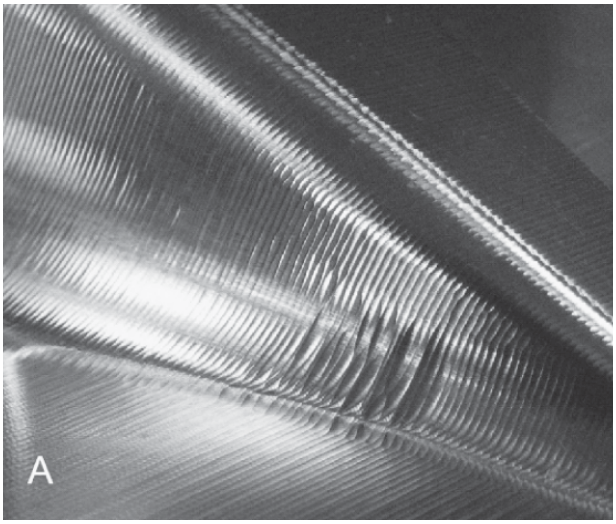
- a Spline-interpolált pályák irányfüggõek (eltérõ pálya-generálás pl. oda-vissza marásnál);
- nagy pontsûrûséggel rendelkezõ G01-parancsokat kell választani, hogy a két elõzõ pontban leírt jelenség mértéke ne legyen túl nagy;
- a munkadarab kontúrok, melyeket az NC-programban csak G01-parancsokkal durván képeztek le, a vezérlésben lévõ Spline-alapú interpolátorral ismét lekerekíthetõk.

Interpolációs pontok két szomszédos szerszámpálya között

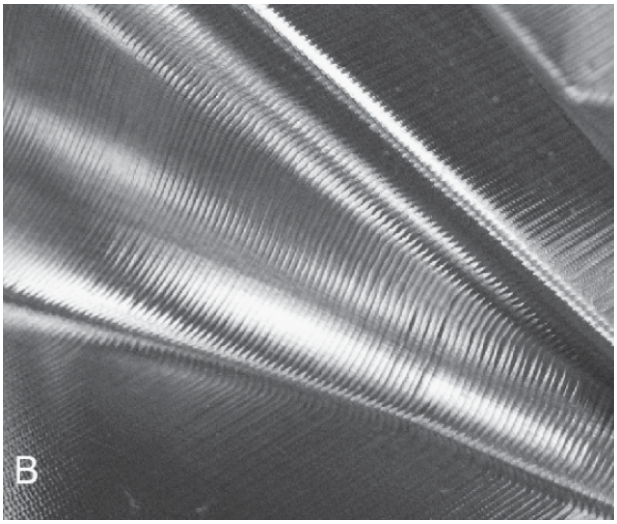


Spline kontúr 4 interpolációs ponttal

Spline kontúr 5 interpolációs ponttal



A: Spline-interpoláció hatása a munka-darabon



B: Lineáris interpoláció ugyanazon a munkadarabon

Végkövetkeztetésként marad az a kijózanító megállapítás, hogy

- ugyan a vezérlésen használhatunk ismét Spline-okat (a vezérlés interpolátorában vagy mint Spline-paramétert az NC-programban),
- azonban plusz kockázattal kell számolnunk a létrehozható felületminõséget illetõen.

Ezért a Heidenhain és a GF AgieCharmilles a magasfokú folyamatbiztonság érdekében - minimális programozási ráfordítás mellett - az alábbiakat javasolja:

- CAD kiinduló geometriák kielégítõen részletes approximációja szûk tûrés választásával a CAM rendszerben,
- szerszámpályák diszkretizálása G01-parancsokkal a CAM-rendszerben,
- interpolációs pontok lehetõleg sûrû eloszlása, mert a lineáris interpoláció nem hoz létre ezek között kiegészítõ geometriai kapcsolatot. Mind a maximális húrhosszt, mind a G01-parancsok maximális hosszát a lehetõ legrövidebbre kell választani. A rövid mondatfeldolgozási idõknek köszönhetõen ez napjainkban már nem jelent problémát többé az NC-vezérlés számára,
- alkalmas pályatûrés megadása az NC-vezérlésben (M32). A gép a vonalparancsok alapján közelített kontúrt a lehetõ legjobban tudja lekövetni, ha a pályák számítása a CAM-rendszerben finom tûréssel történt meg (lásd még 22. oldal).

Mondatfeldolgozás és szabályozási stratégia

Már az elsõ pillantásra egyértelmûnek tûnik, hogy a HSC-megmunkálásnál a mondatfeldolgozási idõnek a lehetõ legrövidebbnek kell lennie. Végeredményben az NC-vezérlésnek valós idõben kell nagy pályaelõtolásokat a szerszámpályán lévõ nagy pontsûrûséggel együtt feldolgoznia.

Azonban a különféle vezérlések mondatfeldolgozási idejének ésszerû összehasonlításához szükség van a konfrontálódásra a vezérlési és szabályozási koncepció alapvetõ architektúráival.

A HSC-megmunkálásnál két alapvetõ architektúrával találkozunk:

Architektúra	Vezérlés	Szabályozás
Egylépcsõs interpoláció		
Elv	Az NC-interpolátor veszi át az összes, a szabályozóban feldolgozandó elõírt érték számítását.	Elõírt értékek processzálása idõben diszkrét és ekvidisztáns szabályozási ütemben.
Munkamódszer	Mivel a finominterpoláció az NC-programban tárolt interpolációs pontok között ugyanabban az interpolátorban történik, a vezérlés interpolációs ütemének legalább olyan gyorsnak kell lennie, mint a szabályozás üteme.	Szabály. ütemidõ = ≤ 100 µs. (Idõraszter, amiben a pályán lévõ interpolációs pontok kiszámításra kerülnek)
Kihatás	A pályatervezés csak a finominterpolátor által számított elõírt értékek alapján történik. A vezérlés elõretekintésének (look-ahead) ennek megfelelõen nagynak (pl. > 10.000 NC-mondat) kell lennie.	A szabályozás csak a tulajdonképpeni szabályozási feladatért felelõs.
Kétlépcsõs interpoláció		
Elv	Az NC-interpolátor csak az NC-programban tárolt interpolációs pontokhoz veszi át az elõírt értékek kiszámítását.	A szabályozó átveszi még az elõírt értékek idõben diszkrét és ekvidisztáns szabályozási ütemben való processzálásához a finominterpolációt is (vagyis az elõírt értékek számítását az NC-program interpolációs pontjai között).
Munkamódszer	NC-interpolátor ütemidõ = ≤ 3 ms	Finominterpoláció ütemideje = ≤ 100 µs.
Kihatás	A pályatervezés csak az NC-programban tárolt interpolációs pontokra támaszkodik. Ennek következtében a vezérlés elõretekintése (look-ahead) kicsi lehet (pl. > 1.000 NC-mondat), és az elsõ lépcsõ interpolációs üteme nagyobb lehet (pl. 3 ms).	A szabályozás kiegészítõ interpolációs feladatokat is ellát.

Példa egylépcsõs interpolációra	
Pályaelõtolás:	12.000 mm/perc (200 mm/s)
Pályatervezés üteme:	0.1 ms (0.0001 s)
Interpolációs pontok távolsága:	0.02 mm
Look-ahead:	10.000 mondat
Look-ahead:	200 mm
Példa kétlépcsõs interpolációra	
Pályaelõtolás:	12.000 mm/perc (200 mm/s)
Pályatervezés üteme:	3 ms (0.003 s)
Interpolációs pontok távolsága:	0.6 mm
Look-ahead:	1.000 mondat
Look-ahead:	600 mm

Szerszámorsó

A HSC-megmunkáláshoz használt modern motororsókra nagy fordulatszámok, vektorszabályozás, modern csapágyanyagok és integrált hûtõ- és kenõfolyadékkörök jellemzõek. A nagyfokú futáspontosság és kiegyensúlyozottság ezeknél az orsóknál nagyon nyugodt futást eredményez.

Vektorszabályozás
A szerszámorsó mûködtetése zárt szabályozó körben történik, és a szögpozíció mindig ismert. Ezzel lehetségessé válik a menetek közvetlen megmunkálása is.

Csapágyanyagok
Általában úgynevezett hibrid-csapágyakat alkalmaznak. Az edzett acélból készült csapágyhéjakon belül forgó hengertestként kerámia gördülõ testeket használnak.
A centrifugális erõk csökkentésén kívül elõnyt jelent a kerámia golyók alacsony fajlagos sûrûsége a nagyobb merevséggel együtt, és a hibrid-csapágyak egyértelmûen kisebb kopása.

Hûtõkörök
Minden HSC-szerszámorsónál problémát jelent a nagy fordulatszámok által okozott hõképzõdés. Konstrukciós intézkedésekkel - mint pl. a rögzített csapágy elhelyezése közel az orsóvéghez - az orsó hõtanilag okozott hosszváltozását messzemenõen hátrafelé, és így a megmunkálási feladat szempontjából a nem releváns irányba lehet irányítani.
Ennek ellenére a szerszámorsó hatékony hûtése segít a képzõdõ hõ többi gépelem - pl. a Z-vezeték vagy a szerszámtartó - irányába való terjedését minimálisra csökkenteni.

Kenõanyagkörök
A nagy sebességû orsókban lévõ csapágyakat legtöbbször olaj-levegõ keverékkel kenik.
Egy olaj-levegõ keverék kenésû szerszámorsó kialakítása során arra kell ügyelni, hogy az orsóvégen lévõ labirinttömítés sem álló helyzetben, sem forgás közben ne eresszen át olajcseppeket. Így a grafitelektródák megmunkálása is lehetségessé válik.

Elektronikai felügyelet

Az egyik legfontosabb közvetett költségtényezõ a gép rendelkezésre állási mutatója. Akinek sikerül a gép rendelkezésre állását

- nagyobb termelékenységgel a gépi fõidõk során, és
- a mellékidõk áthidalásához folyamatbiztos automatizálással

konzekvens módon az ügyfelei érdekében jelentõsen növelni, megteremti a lehetõséget a drámai költségcsökkentés bevezetéséhez.
Ezen a ponton válik fontossá a "smart machine". Az intelligens

marási folyamat szinonímájaként a "smart machine" fokozott teljesítményt, termelékenységet és folyamatbiztonságot tesz lehetõvé, így pozitívan hat a gyártóeszközök üzemeltetési költségeire.

A GF AgieCharmilles "smart machine" moduljai ebben az összefüggésben a következõ funkciókat kínálják:

Precizitás Termelés Védelem

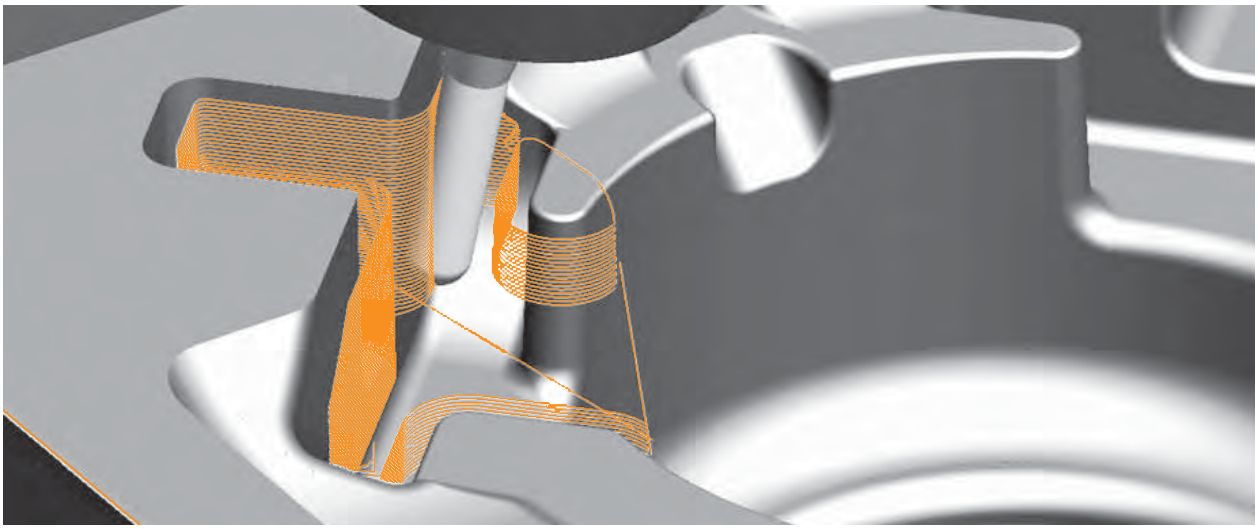
Példaként említsük meg ezen a helyen az alábbi "smart machine" modulokat:

Termék	Technológia	Felhasználó haszna
ITM - Intelligent Tool Measurement	Szerszámcsúcs optikai bemérése és digitális tisztítása	• Nagyon kicsi és nagy szerszámok folyamatbiztos mérése mûhely-feltételek mellett • Különbözõ szerszámátmérõk megállapítása µm-pontos Z-referenciával
OSS - Operator Support System	Gépdinamika célértékeken alapuló optimálása (individuális munkadarab-elõírás alapján)	• Prioritások megadása (sebesség, felületminõség, pontosság) lehetõvé teszi a testre szabott megmunkálási stratégiát
APS - Advanced Process System	Rezgések érzékelése és értékelése a termelési sorozatok beállítási folyamatainál	• Folyamatbiztonság a marás során • Szerszámgép komponensek élettartama

5-tengelyes marási technológia

Az 5-tengellyel rendelkezõ HSC-marógépek iránti erõsen növekvõ érdeklõdés azzal magyarázható, hogy lehetõség van

- rövid és stabil szerszámok használatára,
- a szerszámél konstans anyagfogási viszonyainak biztosítására,
- összetett geometriák komplett megmunkálására egy felfogásban.



Ezekkel a lehetõségekkel a komplex folyamatláncokat egy gépen lehet egyesíteni. Ez idõ- és pénzmegtakarítást jelent. Így a beruházási összeg ugyan magas, azonban nem drága, mert egy beruházás csak akkor drága, ha nem térül meg. Ezért a nagy versenynek kitett iparágakban egyre több vállalkozás vezeti be az 5-tengelyes technológiát.

Hajtáskoncepció

A lineáris tengelyek és a forgó-billenõ tengelyek tökéletes együttmûködése abszolút döntõ tényezõ.
A szimultán 5-tengelyes HSC-megmunkáláshoz a lineráris

és Torque motorok helyes alkalmazásával a teljesítmény szempontjából egy teljesen homogén rendszer valósítható meg.

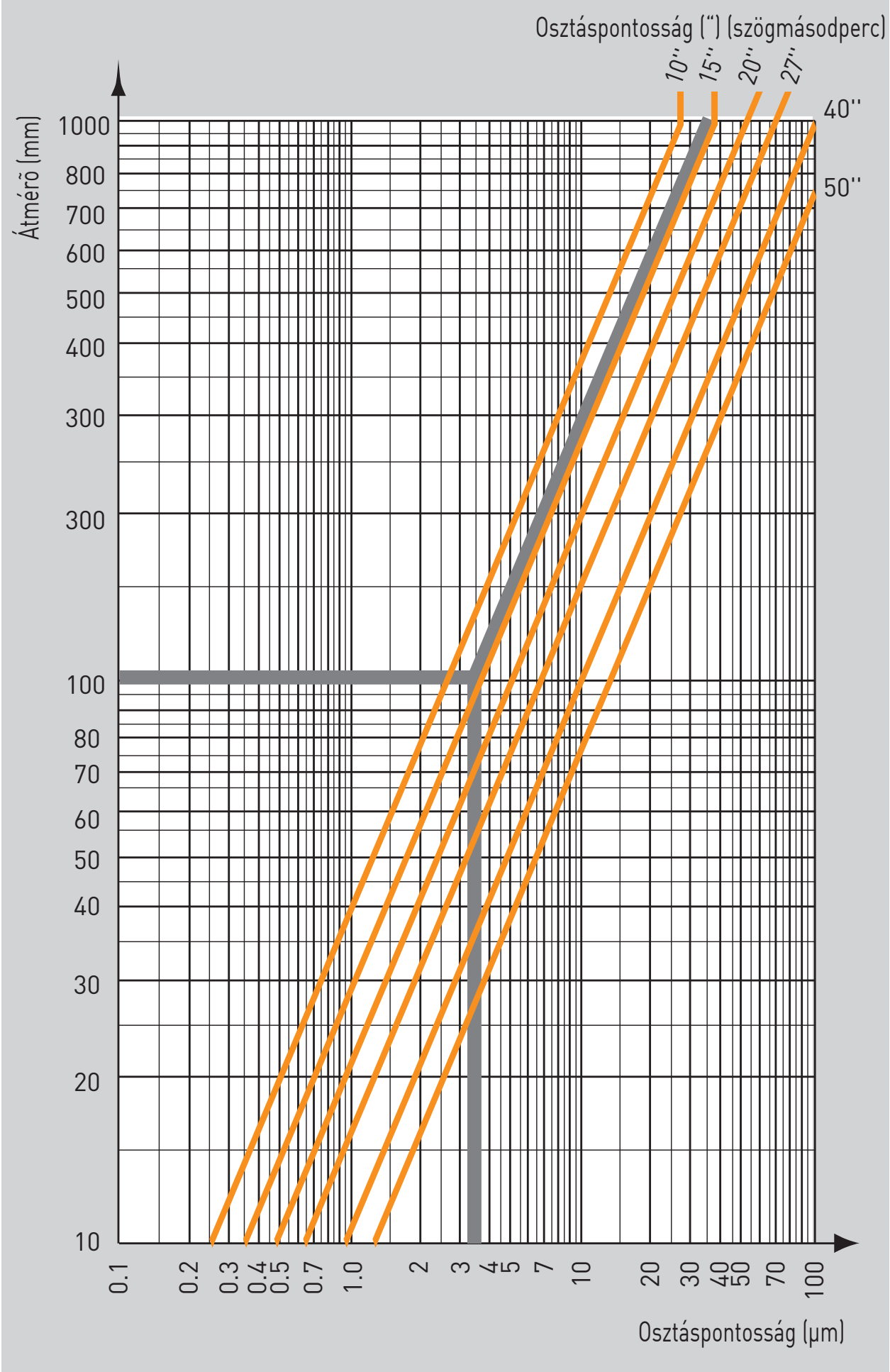
Tengelyek felépítése
Mind az elérhetõ felületminõségre, mind a pontosságra és a megmunkálási idõre jelentõs kihatással van a szerszámgép kinematikája.

A HSC-gépeknél két koncepció terjedt el:

- Gépek billenõfej-kinematikával (egy-egy forgó tengely a szerszámon és a munkadarabon),
- Gépek asztal-asztal kinematikával (két forgó tengely a munkadarabon).

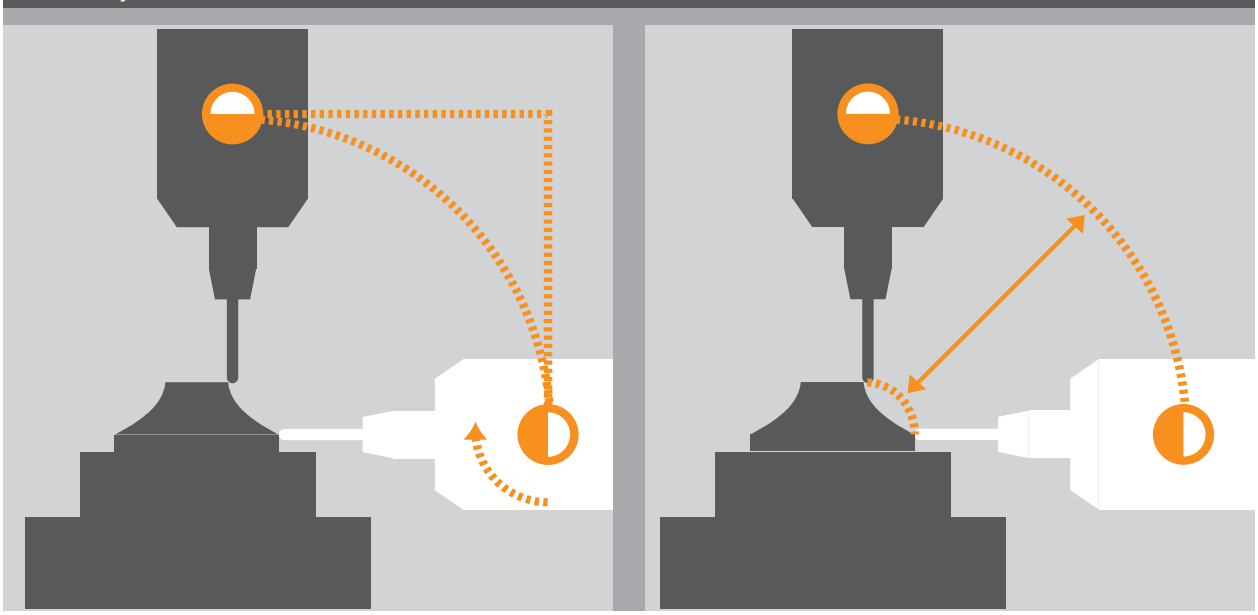
A géptengelyek zavaró kontúrjaival és a maximális munkadarab tömegekkel kapcsolatos általános megfontolásokon kívül figyelembe kell venni a kinematika hatásait a felületminõségre, a pontosságra és a megmunkálási idõre vonatkozóan:

- Forgó tengelyek pozícionálási pontosságának kihatása az érintkezési pont relatív pozíciópontosságára a szerszám és a munkadarab között a forgásközépponttól mért növekvõ távolságban.
- A lineáris tengelyeken szükségessé váló elmozdulások kihatása az érintkezési pont relatív pozíciópontosságára a szerszám és a munkadarab között, valamint a szerszám pozícionálása során a mellékidõre.

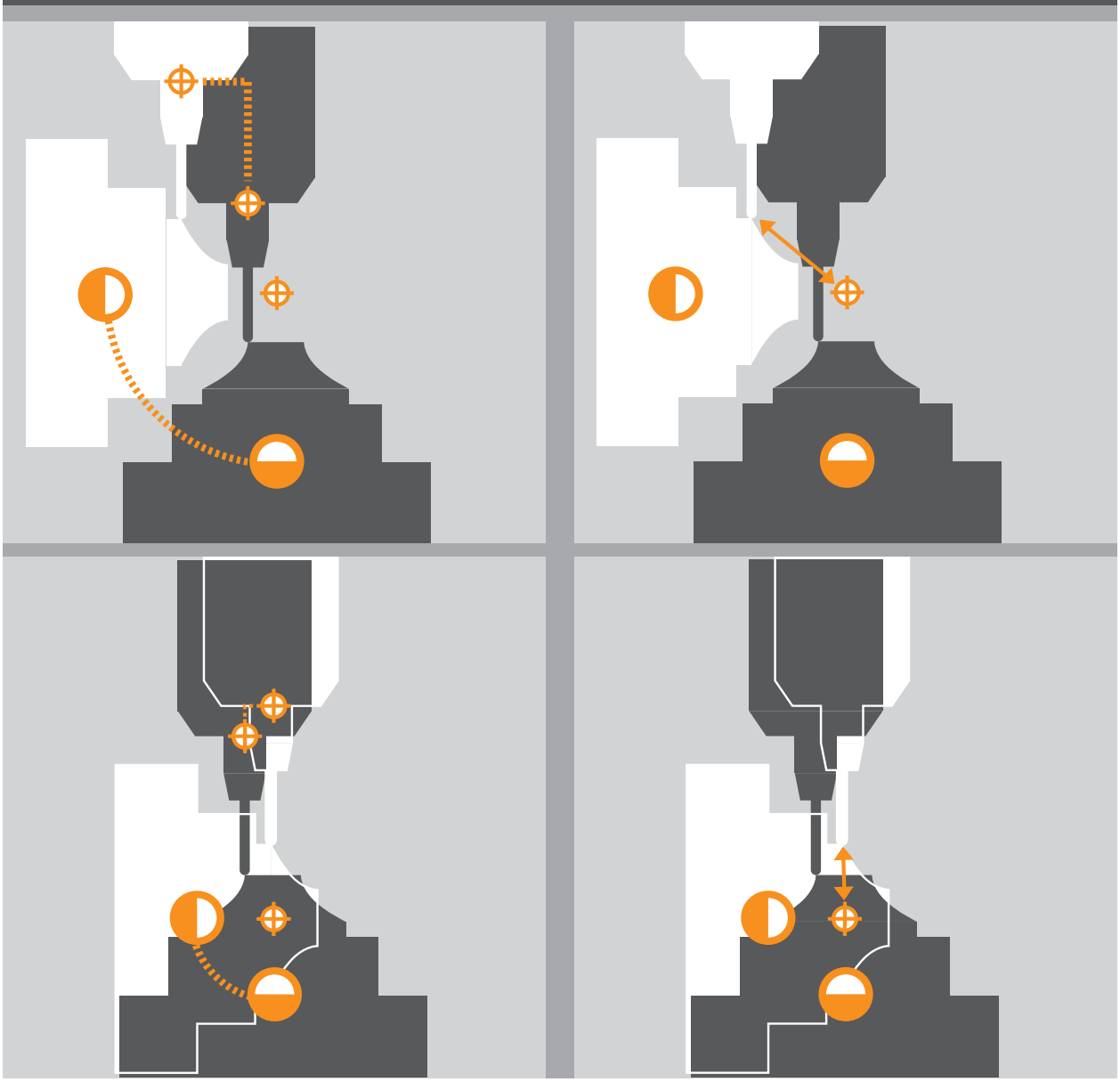


Szerszám-érintkezési pont (SzÉP) távolságának hatása a forgásközépponttól mérve

Billenõfej-kinematika



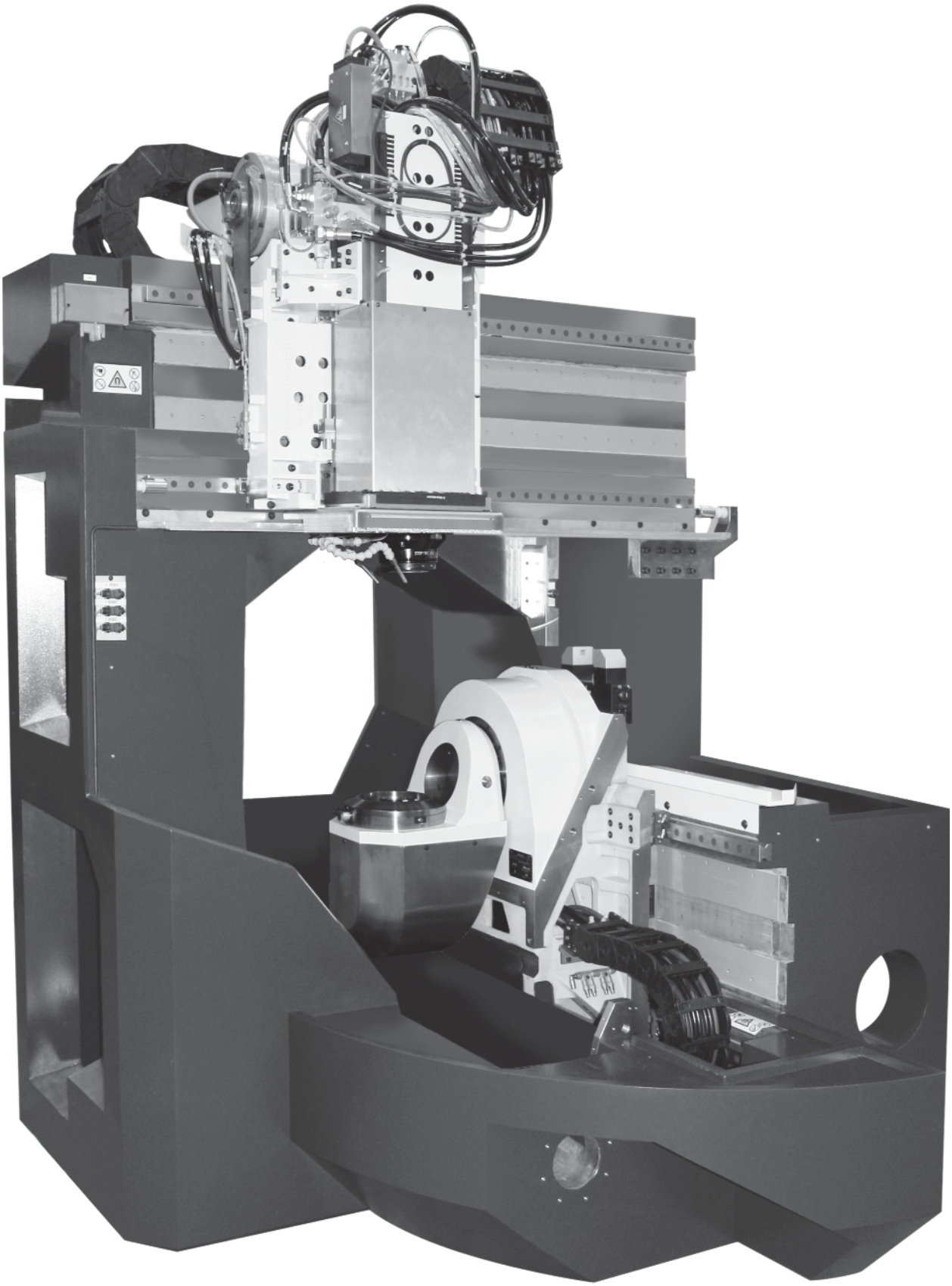
Asztal-asztal kinematika



A kinematika hatása az úthosszokra

A kinematika hatása a szerszám-érintkezési pont távolságára a forgásközépponttól mérve

MIKRON HSM 400U LP



A könyv elkészítésében partnerek voltak:

CAMPLETE SOLUTIONS INC.

Cimatron GROUP

fraisa

HEIDENHAIN

OPEN MIND THE CAM COMPANY

SCHAUBLIN

STEP TEC

Jegyzetek:

Jegyzetek:

Jegyzetek:

At a glance

Achieve more

Tartjuk magunkat az ígéretünkhöz, ami így hangzik: "Többet nyújtunk". Ez olyan kötelezettség, amivel ügyfeleink számára megfelelõ feltételeket teremtünk ahhoz, hogy versenyképes eredményeket érjenek el.
Ha ügyfeleink nyernek, mi is nyertesek vagyunk.

GF AgieCharmilles

Innovatív marási, szikraforgácsolási és automatizálási megoldásainkkal abba a helyzetbe hozzuk ügyfeleinket, hogy effektíven és hatékonyan dolgozhassanak. A Customer Services széles szolgáltatási csomagokat biztosít ehhez.

© Agie Charmilles SA, 2010
A mûszaki adatokért és ábrákért nem vállalunk felelõsséget. Ezek nem jelentenek garantált tulajdonságokat, és megváltozhatnak.

www.gfac.com

GALIKA Szerszámgépek Kft.
Törökbálint
Tó Park u. 9
H-2045

Tel.: +36 23 445 730
Fax: +36 23 445 739
E-mail: info@galika.hu
Web: www.galika.com

+GF+ AgieCharmilles

Achieve more...