

SZAKDOLGOZAT

Név: Vámosi Milán
Szak: Gépészmérnöki

Gödöllő
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Gépészmérnöki Szak

Alumínium felni megmunkálás tervezése CAM szoftverrel

Belső konzulens: Dr. Keresztes Róbert Zsolt

Egyetemi docens

Külső konzulens: Juhász Zsolt

Gyártómérnök

Készítette: Vámosi Milán

GPHKP8

Nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet

**Gödöllő
2023**

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Gépgyártó specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Vámosi Milán (GPHKP8)

részére

A diplomadolgozat címe:

Alumínium felni megmunkálás tervezése CAM szoftverrel

Feladatkiírás:

Bevezetés, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatás, tervezés folyamata CAM szoftverben, előgyártmány szimulációja VEM segítségével, gazdasági számítás, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok

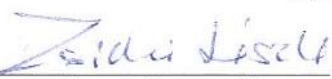
Külső konzulens: *Juhász Zsolt, gyártómérnök, Howmet-Köfém Kft.*

Belső konzulens: *Dr. Keresztes Róbert Zsolt, egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet*

Beadási határidő: 2023. november 06.

Gödöllő, 2023. szeptember 04.

Jóváhagyom


(tanszékvezető)

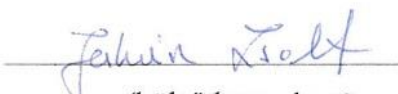

(szakfelelős)

Átvettem

(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. hó nap


(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	6
1.1.	A munkadarab ismertetése	6
1.2.	Téma jelentősége	8
1.3.	Célkitűzés	9
2.	A technológiai háttér ismertetése.....	10
2.1.	A felhasznált technológiák és a hagyományos megmunkálás.....	10
2.1.1.	A préskovácsolás technológiája	10
2.1.2.	Alkalmazott forgácsolási technológiák alapjai.....	10
2.1.3.	Forgácsolási eljárások és hagyományos szerszámgépei	13
2.2.	CNC szerszámgépek és vezérlésük.....	16
2.3.	Megvalósításhoz szükséges szoftverek ismertetése.....	18
2.3.1.	Modell alapú tervezés	18
2.3.2.	Végeselem-szimuláció	20
2.3.3.	Számítógéppel támogatott gyártás.....	23
3.	A gyártástervezés lépései	26
3.1.	A munkadarab megtervezése.....	26
3.2.	Előgyártmány szimulálása végeselem módszerrel	28
3.2.1.	Az alumínium megmunkálása és az előgyártmány hőkezelése.....	34
3.3.	Gyártástervezés CAM szoftverrel.....	36
3.3.1.	Külső esztergáló program ismertetése	36
3.3.2.	Belső esztergáló program ismertetése.....	42
3.3.3.	Maróprogram ismertetése.....	45
4.	Gazdasági számítás	52
5.	Összefoglalás	53
6.	Summary	54
7.	Nyilatkozat	55
8.	Mellékletek.....	56
8.1.	Irodalomjegyzék	56

8.2.	Ábrák és táblázatok.....	57
8.2.1.	Ábrák.....	57
8.2.2.	Táblázatok.....	58
8.3.	EN AW 6061 T6 fontosabb anyagjellemzői	59
8.4.	Alkalmazott szerszámok	60

1. Bevezetés

Ebben a fejezetben bemutatom a szakdolgozatomban tárgyalt problémát, jelentőségét és annak tervezett megoldási menetét a célkitűzéseimen keresztül.

1.1. A munkadarab ismertetése

Az autóipar fejlődésével egyre nagyobb hangsúly kerül a műszaki megbízhatóságra, az időtállóságra, a környezetvédelmi szempontoknak és követelményeknek való megfelelésre, a személyi épség megőrzésére, valamint a külső megjelenésre is. Értelem szerűen ez alól az autók egyik legalapvetőbb része a kerék sem tesz kivételt. A járművek kereke nagy fejlődésen ment keresztül. Ha a múltba visszatekintünk az eleinte még faküllővel rendelkező kerekek egy költséges, tömeggyártásra alkalmatlan és közel sem megbízható megoldást jelentettek, ugyanis a fa egy nagyon érzékeny, kényes anyag. Jó pár évnek el kellett telnie mire megvalósultak a préselt acélkerekek tömeggyártásának technológiai feltételei, ezzel lényegesebben olcsóbbá téve a konstrukciót. Ez már strapabíró volt és sokkal megbízhatóbb. Az acélkerekek fejlődése az alkalmazott anyag, a hűtő-könnyítő kivágások és kialakítás változtatásával igen sokáig a legjobb megoldást jelentette és nem volt versenytársa.

A járműiparral szemben támasztott, egyre szigorúbb elvárások, komplexebb követelményrendszereknek, üzemanyag-fogyasztással, emisszióval kapcsolatos környezetvédelmi előírások, valamint a logisztika és fuvarozás terén fellépő igények következtében a kerék továbbfejlesztése egyre sürgetőbbé vált. Idővel aztán létrehozták az alumínium felnit. Az első öntött alumínium felniket az 1920-as években kezdték el gyártani, viszont csak versenyautók számára. Az 1940-es években már megjelentek a jóval kedvezőbb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező préselt alumínium felnik. A préselt alumíniumkerekek elterjedése a személygépjárműveken és logisztikai járműveken az 1990-es évek végétől, 2000-es évek elejétől kezdődött és azóta is egyre inkább szorítja ki a préselt acélkerekeket. [5] A préselt alumíniumkerék előnye az acéllal szemben a jelentős, akár több mint 50%-al kisebb tömeg, kisebb gumikopás a gumiüléken, hosszabb fék élettartam, jobb korrózióval szembeni ellenállás és közel teljes mértékben újrahasznosítható. [1]

Az előbb leírtak és a számítógéppel támogatott gyártás témája iránti személyes érdeklődésem vezetett arra, hogy különböző megmunkálás-tervező szoftverek segítségével, de legfőképpen CAM (Computer Aided Manufacturing) szoftver segítségével tervezzek megmunkáló ciklusokat egy egyedileg készített alumíniumkerékre (EN AW 6061, AlMg1SiCu).

A kerék megtervezése során a legfontosabb betartandó paraméterek a következők voltak:

- Gumiabroncs ülék szélessége: 6,5 inch (165,1 mm)
- Kerék átmérője a gumiüléknél: 15 inch (381 mm)
- ET szám vagy középsík eltolás: 43 mm
- Felfogató furatok osztóköreinek átmérője: 4,5 inch (114,3 mm)
- Felfogató furatok száma: 5
- Felfogató furatok átmérője: 12 mm
- Kerékagy átmérője: 66,1 mm

A munkadarab 3D modellje az 1. ábrán látható. A főbb méretek a mellékletben megtalálható rajzon vannak feltüntetve, a pontos geometriát pedig a CAD modell tartalmazza.



1. ábra: Az alumínium kerék 3D modellje (Saját ábra)

1.2. Téma jelentősége

A mai fogyasztói társadalomban egy jó életszínvonal kialakításához egyre nagyobb hangsúlyt helyezünk a termékekkel, alkatrészekkel szemben elvárt minőségre, valamint egyre komplexebb konstrukciók jelennek meg. Ezzel egyidejűleg a minél nagyobb mértékű tömeggyártást is biztosítani kell a piaci kereslet kielégítése érdekében.

Az ipar technológiai fejlődése a modern problémákra modern megoldást biztosít. A nagyméretű automatizálást és a mérnöki tevékenységeket jelentősen megkönnyítő és felgyorsító szoftverek megjelenésével egy termék bevezetése, módosítása, optimalizálása, kialakítása, szimulálása és megmunkálása nem jelent gondot. Napjainkban már nem számít kellően hatékonynak mindezen folyamatok megvalósítása szabadkézi rajzok alapján hagyományos megmunkológépeken kivitelezve, viszont ezek ismerete nélkül nem nyerhetünk teljes betekintést a most alkalmazott technológiákba.

Egy termék elkészítési folyamata ma már egy modellező szoftverrel indul, amiben elkészül a prototípus 3D modellje. A program nyújtotta lehetőségekkel bonyolult felületeket és formákat tudunk létrehozni, valamint szükség esetén módosítani azokat a paraméteres méretmegadásnak köszönhetően. Ezt követően az elkészült geometriát ellenőrizhetjük például különböző termodinamikai hatásokkal és mechanikai igénybevételekkel, terhelésekkel szemben, megbizonyosodva, hogy mennyire képes adott körülmények között a funkcióteljesítésre. Végül egy megmunkáló szoftverben legenerálhatjuk az alkalmazott szerszámokat, szerszám pályákat, megmunkálási ciklusokat és befogókat, majd a végleges megmunkálási ciklusokból kódot generálva és feltöltve egy erre alkalmas vezérlővel ellátott CNC gépre futtathatjuk a munkadarab bemérése után. [14]

A szoftveres támogatás segítségével töredékére redukálódik a gyártási folyamat tervezéséhez szükséges idő, valamint elkerülhető a prototípusok gyártására fordított költség. A termelékenység többszörösére nő a CNC gépek miatt csökkenő ciklusidők következtében, az ismétlési pontossága jóval meghaladja a hagyományos szerszámgépeket, a jobb felületi minőségeket érhetünk el és az akár 5 tengelyes kivitelnek köszönhetően bonyolult geometriák is megmunkálhatóak. Hátránya, hogy a karbantartási költségek megnövekednek, valamint képzetesebb CNC programozáshoz értő beállítókra van szükség az üzemeltetéshez.

1.3. Célkitűzés

A szakdolgozatom célja az alumínium kerék legyártásának megtervezése számítógéppel támogatott szoftverek alkalmazásával. Először az alkatrészt 3D modelljét készítem el CAD modellező környezetben. Utána az előgyártmány elkészítését szimulálom le végeelem módszer segítségével, végül pedig egy CAM szoftverben megfelelő szerszámok és szerszámpanyák használatával legenerálom a megmunkálási ciklusokat. A kapott eredmények alapján egy gazdasági számításban összegzem az egy kerékre levetített költségeket.

2. A technológiai háttér ismertetése

Ebben a fejezetben a probléma megoldásához szükséges szakmai ismereteket mutatom be, melyet több nagyobb részegységre tagoltam. A továbbiakban ismertetem az előgyártmányt, a forgácsolási műveletek alapjait és a hagyományos megmunkálást, a korszerű CNC gépek működését, vezérlését illetve velejáróit, valamint a célkitűzéseim megvalósításához szükséges szoftvereket és alkalmazásuknak pozitívumait.

2.1. A felhasznált technológiák és a hagyományos megmunkálás

A munkadarab előgyártmánya a méretéből, bonyolultságából és gazdasági megfontolásból adódóan nem lehet szabványosan gyártott hengerelt termék. Az anyag és megmunkálási költségeken, valamint a megmunkálási ciklusidőn való megtakarítás érdekében az öntött vagy préskovácsolt előgyártmány jöhet szóba. Öntött előgyártmány választása esetén, amikor a munkadarab a szerszámon belül hűlni kezd, átmelegíti azt. Ez egyenetlen hűlést okoz. Az így kialakuló inhomogén kristályszerkezet és bennmaradó feszültségek miatt veszít a mechanikai tulajdonságaiból. Emellett a nagyobb falvastagság és lekerekítések következtében lunkeresszívódások jelenhetnek meg. A kovácsolt előgyártmány esetén viszont ezek a veszélyek nem állnak fenn. [9]

2.1.1. A préskovácsolás technológiája

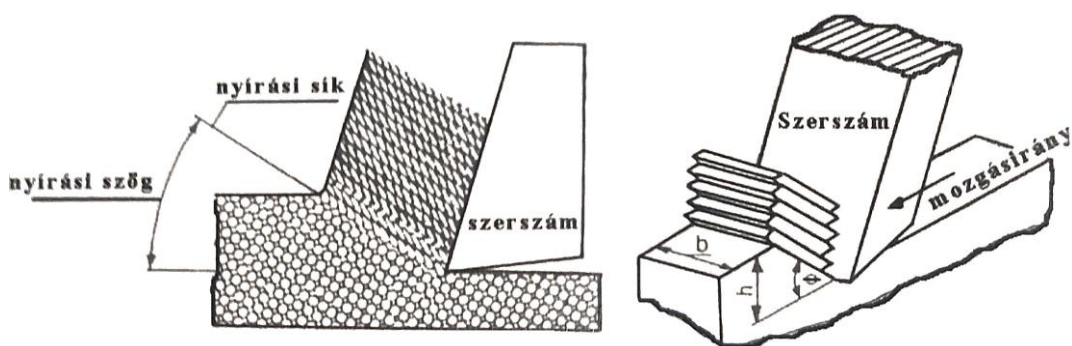
Az előgyártmány formáját préskovácsoláskor egy álló és egy mozgó szerszámfél közti üreg - a munkadarab negatívja hozzáadott ráhagyásokkal - határozza meg. A kovácsolt előgyártmánnyal a végleges alak és méret tehát jól megközelíthető. A művelet során kialakuló préselet anyagának belső szerkezete rendeződik, így a bennmaradó feszültségek is közel homogének lesznek, javítva a mechanikai tulajdonságait. A kovácsolt előgyártmány megtervezése során fontos technológiai megfontolásból kellő nagyságú forgácsolási ráhagyást, hozzáadást, illetve oldalferdeségeket biztosítani. Erre azért van szükség, mert a kisebb lépcsőket, beszúrásokat, lyukakat, éles sarkokat nehezen lehet kialakítani a szesztrámfelekben. Ezeket a ráhagyásokat és oldalferdeségeket a műszaki táblázatok tartalmazzák.

2.1.2. Alkalmazott forgácsolási technológiák alapjai

A fémmegmunkálás forgácsolási műveletei eltérő szerszámgépekkel és szerszámokkal történnek, viszont a forgácsleválasztás folyamata alapjaiban minden esetben megegyezik. A

forgácsolás egy olyan folyamat, amely során mechanikailag anyagot választunk le a munkadarabról a megmunkálás módjától függően, megfelelően választott szerszámgépben és forgácsoló szerszámmal. Az ilyesfajta megmunkálás során leválasztott anyagot hívjuk forgácsnak.

Forgácsoláskor a szerszám éle behatol a munkadarabba és egy olyan belső feszültséget okoz, amelynek hatására képlékenyed deformálja az anyagot egy nyírási sík mentén. A forgács ezt követően felkúszik a szerszám homlokfelületére, ahol ideális esetben megtörik. A forgácsleválasztás folyamatát a 2. ábra szemlélteti.

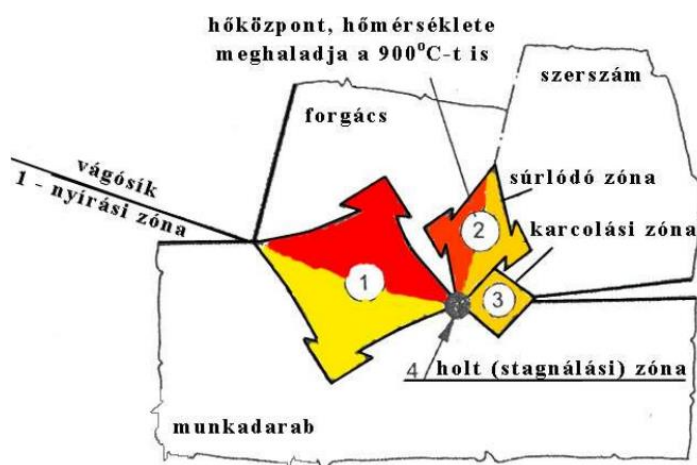


2. ábra: A forgácsleválasztás folyamata (Forrás: [9])

Az anyagleválasztással járó megmunkálási folyamatok során elkerülhetetlenül is fellép egy kisebb-nagyobb súrlódási erő a munkadarabban és a szerszám homlokfelületén egyaránt, ezért tribológiai szempontból is érdemes megvizsgálni az eljárást.

A 3. ábra jól illusztrálja a hőfejlődés zónáit forgácsleválasztás során. Látható, hogy az 1. forgácsolási zónában, ahol a szerszám behatol a munkadarabba az anyag belső szerkezetében jelentős belső súrlódás lép fel, ennek mértékét az anyag belső szerkezete és a szilárdsága befolyásolja. A súrlódás nagyságát többek között a szerszám anyaga, lapka kialakítása és él szögei, fogásmélység, forgácsolási sebesség, előtolás befolyásolja és a környezeti hatások is módosítják. A 2. zónában miközben a szerszám forgácsot választ le az végigcsúszik a szerszám homlokfelületén így ott szintén nagy súrlódást és bizonyos mértékű kopást okoz. A 3. zónában a szerszám és a munkadarab közötti súrlódásból és nagyobb mértékben deformációból adódó hő jön létre. [9]

A súrlódásnak a legyőzésére fordított munka veszteségként jelenik meg, amely majdnem teljes egészében hővé alakul. Ez a forgácsolásra fordított összes munka közel 97 %-át teszi ki és a maradék 3 % pedig a munkadarabban maradó belső feszültség formájában végzi. Az 1. zónában keletkező anyagszerkezeti elváltozás során felszabaduló hő kivételével a 2. és 3. zónákban lehet csökkenteni a hőterhelés hatásait hűtő-kenő folyadék alkalmazásával, viszont, hogy a 3. zónába bekerüljön nagy nyomás és megfelelő emulzió hozzávezetés szükséges hozzá. [15]



3. ábra: Hő fejlődése forgácsleválasztáskor (Forrás: [9])

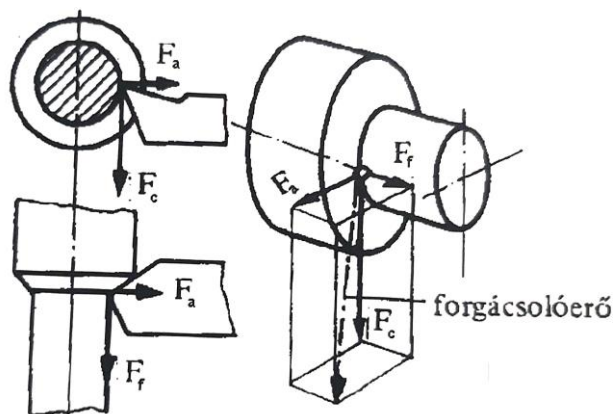
A továbbiakban fontos tisztázni pár alapfogalmat. A forgácsoló sebesség az a sebesség, amellyel a szerszám éle a fogásmélységhez tartozó forgácsolási átmérőn halad adott fordulatszám mellett. Értéke a következőképpen számítható: [9]

$$v_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

Ahol: d [mm] – fogásmélységhez tartozó forgácsolási átmérő

n $\left[\frac{1}{min} \right]$ – főorsó fordulatszáma

A forgácsoló erő a szerszám élére ható erő, amely három egymásra merőleges erő vektoriális eredőjeként tevődik össze. Mértéke a szerszámkopás és élrátétképződés hatására nő. A 4. ábrán három erő a főforgácsolóerő F_c [N], előtolás irányú erő F_f [N] és a fogásirányú erő F_a [N] irányultságai látható.



4. ábra: A forgácsolóerő komponensei (Forrás: [9])

Hozzávetőlegesen az előtolás irányú erő a főforgácsolóerő egy nyolcada, a fogásirányú erő pedig egy harmada. A főforgácsolóerő a következőképpen számítandó: [9]

$$F_c = A \cdot k_c [N]$$

Ahol: $A [mm^2]$ – forgácskeresztmetszet

$k_c \left[\frac{N}{m^2} \right]$ – fajlagos forgácsoló erő, ami a forgácsvastagságtól és a megmunkált anyag minőségétől függ

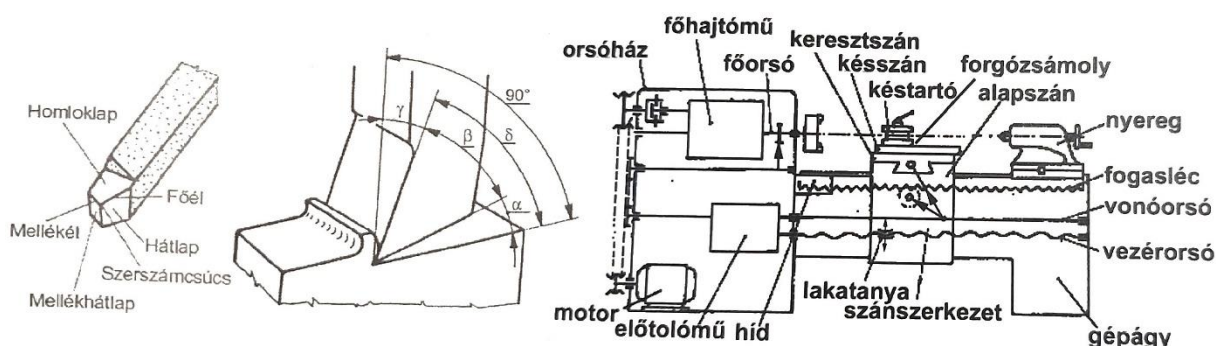
2.1.3. Forgácsolási eljárások és hagyományos szerszámgépei

Az esztergálás egyélű szerszámmal, állandó keresztmetszetű forgács leválasztásával végzett forgácsolás. Esztergálással tengelyszimmetrikus geometriákat hozhatunk létre. Megmunkálhatunk például külső és belső hengeres felületet, különböző meneteket, kúposággal rendelkező, illetve a főmozgás tengelyére merőleges síkfelületeket. Az alkalmazott esztergagépben a főmozgás a munkadarab forgó mozgása, a mellékmozgás pedig a szerszám előtoló mozgása. Alapvetően kétféle esztergálási művelet létezik. Nagyolás során az anyagfelesleg jelentős hányadát távolítjuk el gazdaságosan kihasználva a gép teljesítményét, nagy előtolással és fogásmélységgel dolgozunk, általában több fogásból valósítjuk meg. A felületi minőség ilyenkor elhanyagolható, viszont a simító fogás megfelelő megvalósítása érdekében kellő ráhagyást kell biztosítanunk. Simításkor már az előírt tűrésre és felületi minőségre tevődik a hangsúly. Kis előtolással és fogásmélységgel dolgozunk, gyakran nagyobb forgácsoló sebesség mellett. Általában egy fogással megvalósítható. A simításkor az előtolást a szerszám csúcssugarának számbavételével a következőképpen számítjuk: [9]

$$f = \sqrt{13 \cdot R_a \cdot r_\varepsilon} \text{ [mm]}$$

Ahol: R_a [μm] – kívánt átlagos felületi érdesség
 r_ε [mm] – a szerszám csúcssugara

Az eszterga gépek hagyományosan legfeljebb két tengely mentén képesek egyidejű mozgást végezni. Az esztergagépek főbb típusai a csúcseszterga, síkeszterga, revolvereszterga, automataeszterga. Az 5. ábrán a forgácsoló szerszám felépítése és a megmunkáláshoz alkalmazott hagyományos szerszám gép látható.

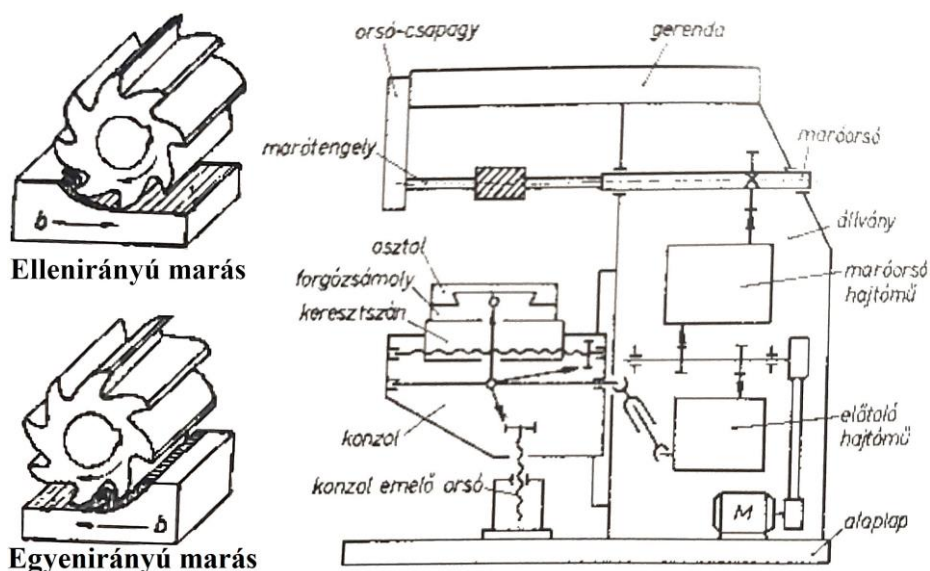


5. ábra: Egyélű esztergakés kialakítása, élszögei és a hagyományos csúcseszterga felépítése (Forrás: [9])

A marás az esztergálástól eltérően egy többélű szerszámmal történik, (kivéve az egy élű marókat) nem folyamatos, hanem megszakított forgácsolási eljárás. Marással sík, és akár tetszőleges geometriájú felületeket is megmunkálhatunk. A mozgási viszonyok itt az esztergáláshoz képest felcserélődnek. A fő forgó mozgást a marószerszám végzi saját tengelye körül, az előtoló mozgást pedig a munkadarab végzi. A marási eljárásokat megkülönböztethetjük például az alapján, hogy a marószerszám palást, vagy homlokfelületével történik az anyagleválasztás. Palástmarás során a maró forgástengelyével párhuzamos a megmunkált felület, homlokmaráskor pedig arra merőleges. Emellett palástmarásnál megkülönböztetünk ellenirányú és rámarást. Ellenirányú marásnál előtolásának iránya ellentétes a forgásirányával. Ekkor a forgácsvastagság nulláról indulva növekszik a szerszám kilépéséig. Kezdetben a szerszám dörzsöli munkadarabot, nagy hőfejlődést jelent, ami jelentősen csökkenti az éltartamot. Valamint a szerszám „eltolja” magától a munkadarabot, ami berezgéshez és rossz felületi minőséghez vezethet. Egyenirányú marásnál (más néven rámarásnál) a forgácsvastagság viszont csökkenő. A forgácsoló erők a munkadarabot a

szerszám felé húzzák. Ilyenkor viszont a forgácsvastagság akaratlanul is nő, fennáll a veszélye, hogy túl nagy forgács képződik. Ebben az esetben érdemes csökkenteni az előtolást, vagy ellenmarást alkalmazni.

A marógépek a szerszámot forgatva biztosítják a főmozgást, az asztal Descartes-féle koordináta-rendszer három fő tengelye (x, y, z) mentén pedig a mellékmozgásokat. A marógépeknek három főbb típusa van: egytetemes marógép, vízszintes marógép és függőleges marógép. A 6. ábrán a forgácsoló szerszám felépítése és a megmunkáláshoz alkalmazott egytetemes marógép látható.



6. ábra: Rá- és ellenirányú marás, valamint egy egytetemes marógép felépítése (Forrás: [9])

Fúrásnál a szerszám végzi a fő forgácsoló mozgást, az előtoló mozgást pedig végezheti a szerszám vagy a munkadarab is. A két fő művelete a fúrás (telibefúrás), amikor tömör anyagba készítünk furatot és a furatbővítés, amikor már meglévő furat átmérőjét növeljük meg. A leggyakoribb szerszáma az általában kétélű csigafúró. A szerszám két főélét egy keresztléc köti össze. Fúrás közben mindkét főél folyamatosan fogásban van és a távozó forgács is melegíti, így nagy hőképződéssel jár. Új furat készítésekor a keresztléc is fogásban van, emiatt sokkal jelentősebb lesz a hőfejlődés. Emulzió használata szinte mindig ajánlott, főleg belső hűtésű szerszám esetén a forgácseltávolítás megsegítésére is alkalmas. A technológiából adódóan készülnek 1/1000-es kúposággal rendelkező csigafúrók, hogy a szerszám ne szoruljon bele a furatba.

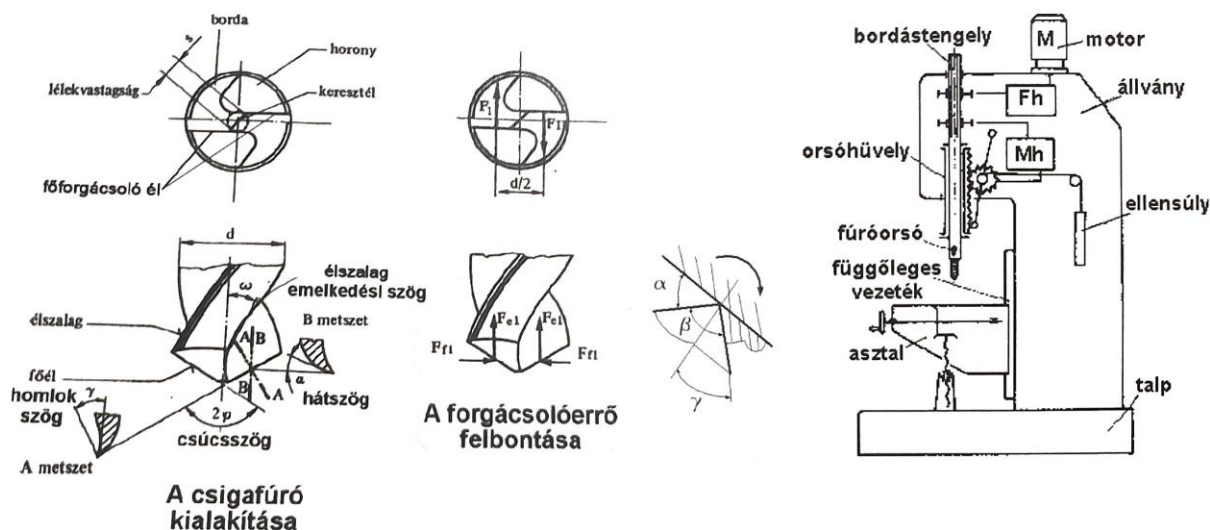
A fúrás fordulatszámát a következő összefüggés írja le: [9]

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{D \cdot \pi} \left[\frac{1}{min} \right]$$

Ahol: $v_c \left[\frac{mm}{min} \right]$ – a szerszámra megengedett forgácsoló sebesség

$D [mm]$ – a fúrószerszám átmérője

A fúrásra különböző kialakítással és pontossággal rendelkező fűrőgépeket használhatunk. Ezek az asztali-, állványos-, oszlopos-, illetve sugárfűrőgép. A 7. ábrán egy csigafűrő és a megmunkáláshoz alkalmazható állványos fűrőgép felépítése látható. [9]



7. ábra: Csigafűrő részei és az állványos fűrőgép felépítése (Forrás: [9])

2.2. CNC szerszámgépek és vezérlésük

Az számjegyvezérlés gondolata az automatizálásban nem újdonság, hiszen az első ilyen logikájú gép a lyukkártyás szövőgép 1808-ban jelent meg (J. M. Jacquard). A forgácsolás terén viszont csak jóval később az 1950-60-as években jött létre az első NC vezérlés (Numerical Control). Lényege, hogy a vezérlés a parancsokat, az alkatrészprogramból ismeri, ami egy alfanumerikus (betűkből és számokból álló, például: „M3”) karakterkészletből álló speciális szabályrendszerű vezérprogram. A vezérlés ezt fejt meg, dolgozza fel és küld vezérlő jeleket a szerszámgép felé. Az alkatrészprogramnak tartalmaznia kell a geometriai paramétereket és kapcsolási információkat, mozgásokat, sebességeket, szerszámváltásokat és más funkciókat például emulzió hozzávezetés, léghűtés, stb. [11]

Két féle logika alapján történhet az NC vezérlővel felszerelt szerszámgépek programozása. Az egyik megoldás a rögzített logikájú számjegyvezérlés. Jellemzője, hogy a megmunkálási programot, alkatrészprogramot már meglévő logikai elemekből rakhatjuk össze (egyenes vonal menti megmunkálás, körív megmunkálás, zsebkészítő ciklus, stb.), ezek különböző sorrendben történő paraméterezett meghívásával hozhatunk létre új programot. Ma már csak nagyon egyszerű alkatrészeket készítenek vele, elavultnak számít. A másik lehetőség a szabadon programozható logikájú vezérlés. Ebben az esetben a logikai építőelemeket egy mikroszámítógép helyettesíti. Ezt a változatot hívjuk CNC-nek (Computer Numeric Control). Az ilyesfajta számjegyvezérlés során az alkatrészprogram feldolgozásának részfunkcióit a számítógép veszi át. [11] Ezek például a koordinátatengelyek meghatározása, szerszámkorrekciók, interpolációs számítások stb.

A szabadon programozható CNC gépek tovább egyszerűsítették a programgenerálást, jelentősen lecsökkentette a bemérési, szerszámváltási és más mellékidőket. Emellett a hagyományos szerszámgépekkel szemben sokkal előnyösebbé tette őket, mind az egyedi, valamint kis-, közép-, és nagy sorozatszámú tömeggyártás terén is. További pozitívumuk, hogy sokkal pontosabbak és megbízhatóbbak. Segítségükkel már megvalósíthatóvá vált az egymásra nem merőleges és térbeli függvényekkel nehezen leírható felületek megmunkálása is. A számítógépes támogatással végzett bonyolult számítások miatt a hagyományosan 2 és 3 tengelyes gépek mellett megjelentek a 4 és 5 tengelyes kivitelű esztergáló és maró szerszámgépek, köszörűgépek. Az alkatrészgyártás ciklusideje jelentősen redukálódott, miközben a komplexitásuk megnőtt. [14] A mai CNC vezérlők már képesek akár 20 tengelyt is mozgatni. Hátrányuk, hogy üzemeltetésük és karbantartásuk költségesebb, képzettebb szakembereket igényel.

A legelterjedtebb CNC vezérlők hazánkban:

- Heidenhain
- Siemens
- Mazak
- NCT
- Fanuc
- Milltronics

2.3. Megvalósításhoz szükséges szoftverek ismertetése

Az utóbbi évtizedekben a mérnöki tevékenység nagy változáson esett át, a tervezésben kulcsfontosságú szerepe lett a számítógépnek. Ebben a részfejezetben ismertetem az ötlettől a megvalósításig felhasznált szoftvereket. Végigveszem a 3D modell elkészítéséhez, előgyártmány szimulálásához és megmunkálás tervezéséhez használt CAD/VEM/CAM rendszerek alapjait.

2.3.1. Modell alapú tervezés

A CAD (Computer Aided Design) szoftverek megjelenése jelentősen felgyorsította a mérnöki tervező munka menetét. Segítségükkel síkbeli 2D-s és térbeli 3D-s modelleket hozhatunk létre. Jelentőségük az orvostudományban, divatiparban, építészetben és a gépészeti tervezésben is számottevő. Legfőbb alkalmazásuk a mérnöki tervező munkát hivatott megkönnyíteni, helyettesítve a papírra készített rajzokat. Segítségükkel síkbeli vázlatokból hozhatunk létre térbeli testeket, bonyolult függvények és szabad készítésű görbék alapján komplex felületeket modellezhetünk és akár több tízezer darabos összeállításokat elemezhetünk. Különböző ütközés és mozgásvizsgálatok végezhetőek el. Alkalmaskak egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok, mint például térfogat, tömeg, tömegközéppont másodrendű nyomatékok, és főtengelyek meghatározására is.

A ma ismert CAD rendszerek mindegyike az alakrajzosságokra alapozott paraméteres geometriai modellezés elvén épül fel. Az alakrajzosság olyan információk halmaza, melyek az alkatrész pontjait, élét és felületeit kapcsolják egymáshoz logikai összefüggéseken keresztül. Azonban a geometrián alapuló alakrajzosságok nem jelentenek egyértelműséget. A modellben definiált alakrajzosságok függenek a modell felhasználási céljától is. Vegyünk alapul egy két zsebbel ellátott téglatestet. A tervező számára a zsebeket elválasztó szilárdságot biztosító borda a lényeg, egy gyártástechnológusnak pedig az az eltávolítandó anyag, ami a zsebek végső formáját adja. [13]

Értelmezés szerint négy féle alakrajzosságot különböztetünk meg: alaklétrehozó alakrajzosságot funkcióteljesítéshez szükséges zárt alakzatot. Alakmódosító alakrajzosságot, ami a gyárthatóság, szerelhetőség és szilárdsági okok miatt módosítja a geometriát. Alaktól független alakrajzosságot, amely hozzákapcsolódik a névleges alakhoz, de azt nem módosítja, ilyenek a méret és alaktűrések. Valamint alaksemleges alakrajzosságok, melyeknek nincs

közük a geometriához, ilyen lehet az anyagminőség és a hőkezelés előírása. Ezen belül vannak a gyártástechnológiai alaksajátosságok a forgácsolószerszám geometriájából és mozgásából következnek. A szerelési alaksajátosságok, melyek a részegységek egymással való viszonyát jellemzik. Végül pedig elemzési alaksajátosságok, amik a numerikus vizsgálatok szempontjából fontosak, a modell megtámasztási feltételeihez köthetőek.

Az alkatrész-modellezés során a kezdeti geometriát sokszor módosítanunk kell, hogy a kapott végleges alkatrész megfeleljen minden vele szemben támasztott mechanikai, szerelhetőségi, gyártástechnológiai és egyéb feltételeknek. A továbbiakban a modellkészítés menetét fogom végigvenni.

A modell elkészítésének első lépése a vázlatkészítés. A vázlat során egy vázlatokban készítünk zárt hurkot, különböző egyszerű geometriai elemekből (vonal, körív, ellipszis, sokszög, szöveg, stb.). A megrajzolt közelítő alakzat rajzi elemeit geometriai kényszerekkel igazítjuk egymáshoz (párhuzamos, merőleges, koncentrikus, tangenciális, egyenlő, stb.). Végül beméretezzük az egyes elemeket, megadjuk a névleges hossz és szögméreteket. Fontos tisztázni, hogy csupán geometriai kényszerekkel nem lehet meghatározni egy rajzot, fontos legalább egy méret megadása, de a túlhatározni sem érdemes a vázlatot.

Miután elkészült az első profil vázlata létrehozhatjuk belőle az első bázis alaksajátosságot, általában kihúzással vagy forgáskihúzással. Ehhez aztán különböző halmazműveletekkel hozzáadhatunk vagy elvehetünk, és közös részt képezhetünk újabb alaksajátosságokkal. A vázlatra épülő alaksajátosságokból különböző parancsokkal más-más geometriát hozhatunk létre (kihúzás, söprés, átvezetés, forgástest képzés, spirál, stb.).

Miután megalkottunk az alkatrész végleges formáját jól közelítő modellt alkalmazhatunk úgynevezett elhelyezett alaksajátosságokat, melyek gyakran ismétlődő formaelemek, furatok, lekerekítések és élettörések. Ezekhez nem kell más csak beparaméterezni és kiválasztani a helyüket. Előzetes vázlatot nem igényelnek. (További ilyen alaksajátosságok a ferdeségek, menetek, szétvágás és összeolvasztás, felület mozgató, másolás, stb.)

A sokszorozással létrehozható alaksajátosságokkal már meglévő formaadó elemeket oszthatunk ki valamilyen vezető vonal, görbe mentén, vagy tükrözhetjük őket (négyzetes kiosztás, körív menti kiosztás, stb.).

A modellezés megkönnyítése érdekében vehetünk fel segítő alaksajátosságokat, munka alaksajátosságokat. Ezek nem befolyásolják a végkimenetelt, viszont támpontokat nyújthatnak, megkönnyíthetik a modellezést. (Vehetünk fel pontokat, vázlatokat, síkokat vagy új koordináta-rendszereket segítség gyanánt.)

A parametrikus méretmegadás alapja, hogy minden használt méretet automatikusan táblázatba rendez és kódot rendel hozzájuk. Ezek a méretek nem csak konstans számokkal, hanem összefüggésekkel is kifejezhetőek. A modellen végzett módosításokat a modelltörténetben láthatjuk. Ez segít nekünk áttekinthetőbben látni az egyes alaksajátosságokat és azok sorrendjét. Itt hajthatunk végre módosításokat a már meglévő alakelemeken, változtathatjuk meg a sorrendjüket és amennyiben szükséges vagy elrejtjük a már nem szükséges formaelemeket. [13]

Ismertebb modellező szoftverek a gépészetben:

- Inventor
- Catia
- SolidEdge
- SolidWorks
- Creo

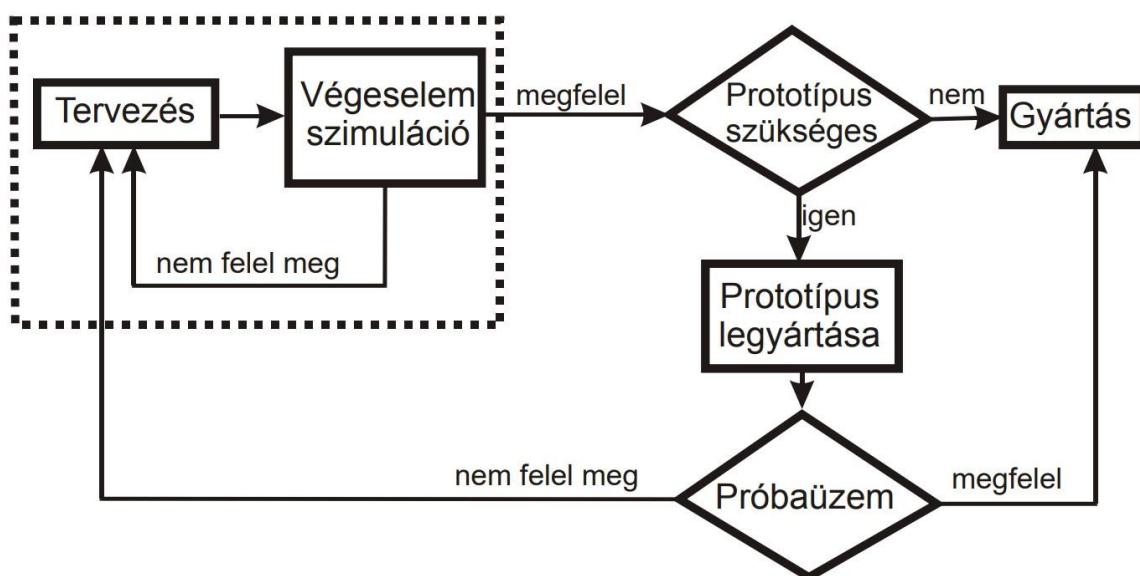
2.3.2. Végeselem-szimuláció

A mérnöki gyakorlatban sokféle megoldása van egy szerkezetre ható terhelések hatásának számítására, gépelemek, tartók, csapágyazások, fogaskerekek, különböző oldható és roncsolással oldható kötések stb. méretezésére. Azonban ezek nem a valóságot fedik le, idealizált modellek esetében bizonyulnak csak igaznak, szükség van egy biztonsági „ráhagyás”, biztonsági tényező alkalmazására is, hogy kellő valószínűséggel mondhassuk, hogy a méretezett körülmények hatására nem idéz elő tönkremenetelt. A valóságban ennél jóval komplexebb számításokkal tudnánk kiszámolni a valós igénybevételeket, hiszen az általunk elképzelt terhelések mellett szóba jöhetnek dinamikus igénybevételek, termodinamikus, elektromágneses, áramlástan hatások, vagy egyszerűen csak az alkatrész geometriai kialakítása miatt bonyolódik el annyira a számítás, hogy értelmetlen legyen azt levezetni, vagy nem is tudnánk. [2]

Az ilyen problémák megoldására alkalmazhatunk végeelem módszert (VEM). A VEM elvén működő szimulációs szoftverek egy olyan numerikus megoldási módszerrel gazdagítják a mérnökök eszköztárát, amely segít komplex, adott körülmények esetén manuálisan megoldhatatlan feladatokat leegyszerűsíteni és megoldást szolgáltatni. A módszer a valóságról egy olyan modellt készít, ami a vizsgált jelenséghez hasonlóan viselkedik, annak leegyszerűsített mása. Egyik fő gondolata az energiaminimum elvén alapszik, azaz a megoldáshoz vezető összes függvényből (egzakt megoldás), vagy csak a függvények egy részéből (közelítő megoldás) választja ki a legoptimálisabbat. [12]

A végeelem technológia igénye először áramlástani problémákra vezethető vissza, melynek megoldására kétféle módszer, az erőmódszer és a mozgásmódszer került kidolgozásra. Az erőmódszer rugalmasságtani alapokra épült és erők egyensúlyából számolt elmozdulásokat. Azonban ez nem nyújtott teljes körű problémamegoldást. A mozgásmódszer lényege, hogy egy elmozdulásokkal felírt merevségi mátrixot feltételezett. Ez már a modern ma is alkalmazott VEM alapjait magában foglalta.

A VEM a műszaki gyakorlatban alkalmazott általános gyártási folyamatról alkotott képet átalakította, részévé vált a gyártástervezésnek (9. ábra). Jelentősen redukálta a gyártás költségeit, mivel kevesebb prototípusra volt szükség (vagy egyáltalán nem is volt szükség), és ami annál is jelentősebb, hogy töredékére csökkentette egy új termék vagy konstrukció bevezetéséhez szükséges időt. [12]



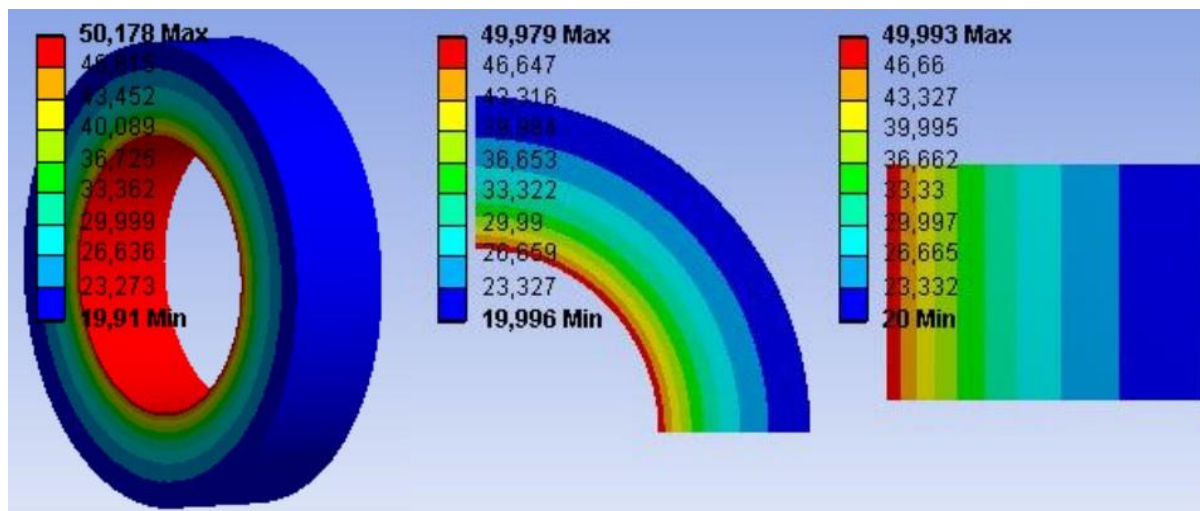
8. ábra: VEM szimuláció beintegrálódása a gyártástervezési folyamatba (Forrás: [12])

A VEM szimulációk alkalmazása túlmutat a kész alkatrészekre és összeállításokra helyezett terhelések és elmozdulások vizsgálatán. A módszer nagy segítséget tud nyújtani a gyártástechnológia más területein is, mint például a szabadalakító kovácsolás, süllyesztékes kovácsolás, mélyhúzás, lemezvágás, fröccsöntés, extrudálás és más technológiák tervezése esetén egyaránt. Léteznek külön ilyen eljárások szimulálására kifejlesztett célszoftverek is a piacon. [12]

A szimuláció készítés menete a következőképpen zajlik: első lépésnek eldöntjük, hogy 3D-s síkbeli, tengelyszimmetrikus, vagy másféle modellel lehet-e a legkedvezőbbben, minél kevesebb csomóponttal elkészíteni a végeelem-hálót és, azt is meghatározzunk, hogy termodinamikai, áramlástani, vagy mechanikai, esetleg ezek kombinációját szeretnénk-e szimulálni. Utána megrajzoljuk vagy beimportáljuk a geometriát és anyagot választunk hozzá. A geometriára ráhelyezzük a különböző megfogásokat, elmozdulásokat, csuklópontokat, súrlódó felületeket definiálunk stb. Miután ellenőriztük a kényszerek helyességét feltesszük a kívánt terheléseket és egyéb hatásokat. Ezt követően egy, a kívánt eredmény pontosságától függő hálót generálunk és meghatározzuk, hogy hány lépésben szeretnénk megkapni az analízist elmozdulás esetén. Az eredmény pontosságát a minél nagyobb lépésszám, az egyes elemek mérete és formája is befolyásolja. Végül a várt eredményeket határozzuk meg, például reakcióerő, terhelések, elmozdulások, stb. Ha helyesen jártunk el a szoftver képes lesz legenerálni és kiszámolni az egyes csomópontokra vetített merevségi egyenletrendszer, melyből megkapjuk az elmozdulási, alakváltozási és feszültségmezőket.

Fontos megemlíteni, hogy a VEM szimuláció nyújtotta eredményekért a szoftvereket fejlesztő és forgalmazó cégek nem vállalnak felelősséget. Ugyanis a felhasználó mérnök feladata a megfelelő bemeneti anyagminőség, geometria és peremfeltételek biztosítása, valamint ezek helyessége mellett, az eredmények értékelése is az ő felelőssége. Hogy valósnak tartja-e a kapott eredményeket az csakis kizárólag rajta múlik. A szimulációt végző fejlesztőmérnöknek kell a felelősséget vállalnia.

A 9. ábrán egy nagy belső nyomású vastag falú cső szimulációjának háromféle megoldása látható. A végeelem-háló elemeinek mérete mindegyik esetben megegyezik.



9. ábra: Vastagfalú, nagy belső nyomású cső szimulációja, balról jobbra haladva: 3D modellből, 2D tengelyszimmetrikus modellel és 2D síkfelülettel megvalósítva (Forrás: [12])

Ismertebb végelem szimulációs programok:

- Ansys
- Nastran
- ADINA
- ABAQUS
- Mark

2.3.3. Számítógéppel támogatott gyártás

A CAM jelentése a számítógéppel segített gyártás (Computer Aided Manufacturing). Ez magában foglalja a teljes gyártási folyamat tervezését, valamint a hozzá tartozó gyártási rendszert (robotokat, gyártósorokat, vezérlést, stb.). Általános értelemben viszont a megmunkálási műveletek, NC programok és olyan műveletek létrehozását értjük alatta, melyek befolyásolják az alkatrész végső kialakítását. Ezen belül is a forgácsoló műveletek tervezésére használjuk leginkább. [11]

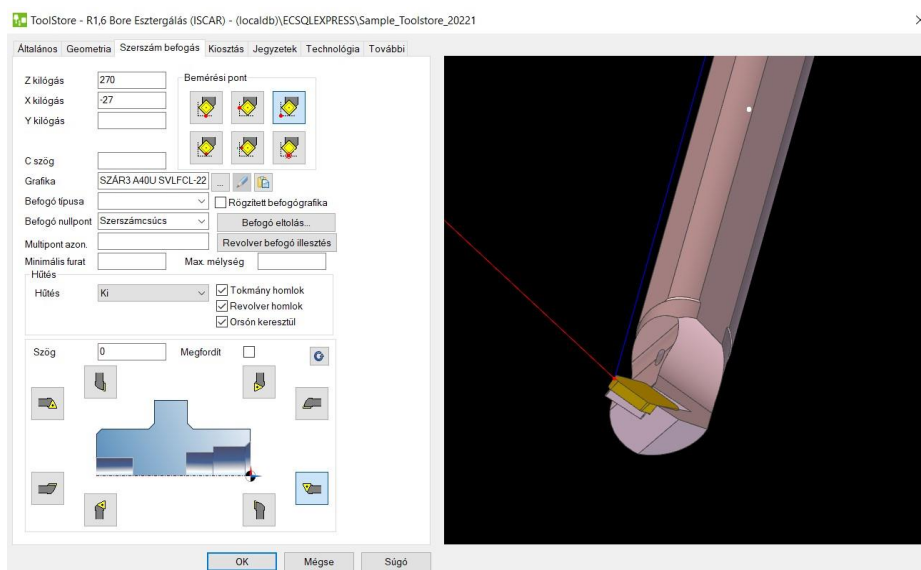
A CAM rendszerek általában csak az alkalmazott forgácsolási eljárásokat (marás, esztergálás, szikraforgácsolás, stb.) tartalmazzák moduláris felépítésben a megrendelő igényeinek megfelelően. Emellett léteznek integrált CAD/CAM/CAE feladatokat ellátó szoftverek, így egy programon belül megvalósítható egy komplett gyártási folyamat az előgyártmány tervezésétől,

a gyártósor felépítésén át egészen a kész munkadarab csomagolásáig és akár a gyártás teljes felügyeletére is képesek. Ezek a rendszerek viszont jóval nagyobb kezdeti költségeket igényelnek, gyakran gazdaságosabb ezen szoftverekbe külön-külön befektetni.

A CAM munkafolyamat, mint forgácsleválasztással történő megmunkálás tervezése alapvetően négy fő lépésre tagolható. Mindenekelőtt ismerni kell a kész alkatrésznek és az előgyártmányának mérethelyes, egzakt 3D modelljét, melyet egy CAD szoftverrel korábban megterveztünk. Ezeket a modelleket a CAM szoftverbe be kell illeszteni, ami a szoftverek közötti kapcsolat alapján történhet közvetlen beolvasással, amikor a tervező (CAD) és a megmunkáló (CAM) szoftverek között szabadon importálhatóak a fájlok. A másik módja a közvetett adatátvitel, egy közbelső leggyakrabban STEP (3D) vagy DXF (2D) formátum alkalmazásával. Az utóbbi esetben néha szükség lehet az alaksajátosságok megfelelő felismerése miatt a modell javítására, amit a CAM program gyakran automatikusan is felkínál.

A modell beolvasását követően elkezdhetjük a művelettervezést. A művelettervezés sikerességéhez nem kötelező, de a hibák kiküszöböléséhez előnyös, hogyha a munkakörnyezetet a valósághoz igazítjuk. Beállíthatjuk a modell anyagminőségét és a különböző technológiákhoz (nagyolás, simítás, fűrés, stb.) megadhatjuk a megfelelő forgácsolási paramétereket (előtolás, forgácsolási sebesség, fogásmélység, stb.). A program nyújtotta ütközésvizsgálati elemzés kihasználásához, definiálni tudjuk az általunk meghatározott befogó, készülék, szerszámgép és szerszám geometriáit és a hozzájuk tartozó paramétereket. Gyakran lehetőségünk van például az általunk használt szerszámok definiálására szabványszerűen, de megadhatjuk beimportált geometria alapján is (10. ábra). Ha rendelkezünk a szükséges geometriákkal, elkezdhetjük megtervezni a műveleti sorrendet, amit teljes mértékben az alkatrész geometriai sajátosságai és a rajzi előírások határoznak meg.

A harmadik lépésben az egyes műveletelemeket tudjuk definiálni. A CAM szoftverek alapfeladata a megmunkáló ciklusok és szerszám pályák regenerálása, melyeket sokféle paraméter és eljárás alapján tudunk megvalósítani. Többek között itt adhatjuk meg az általunk választott szerszámot és szerszám befogót, a megfelelő forgácsolási paramétereket, eljárásokat, azon belül kiemelési síkot, ráhagyást, ütközésfigyelést, rá- és leállási, valamint megközelítési és bemerülési stratégiát. Emellett még számos lehetőségünk van a szerszám pályák optimalizálására, melyeket a 3.3 fejezetben részletesebben is bemutatok. [10]



10. ábra: Szerszám definiálása ISCAR katalógus alapján az EdgeCAM szoftverben (Saját ábra)

Végül a megmunkáló program alapján legenerált NC kódot betápláljuk a CNC vezérlőjébe, ami alapján az elvégzendő feladatok már adottak. A megmunkálás megkezdése előtt a munkadarab és a szerszámok bemérése minden esetben szükséges. Ez megtörténhet kézi méréssel vagy tapintóval egyaránt. A bemérési adatok alapján a munkadarab helyzete ismert lesz a gép koordináta-rendszerében és a vezérlő a korrekciós értékekkel helyesbíti a megmunkálóprogramot.

Ismertebb megmunkálás-tervező szoftverek:

- EdgeCam
- TopSolid
- Fusion 360
- HyperMill
- Mastercam

3. A gyártástervezés lépései

Ebben a fejezetben mutatom be az alumínium kerék gyártásának főbb lépéseit. Először ismertetem a megtervezés során használt CAD szoftvert, a tervezés egyes lépéseit, valamint a modell legfontosabb paramétereit és az anyagválasztását. Utána az előgyártmány préselésének szimulálását mutatom be VEM szoftverben és a hőkezelés módját, okát. Végül ismertetem a forgáccsal járó megmunkálási ciklusok tervezését CAM szoftverben, a hozzájuk tartozó szerszámokat, technológiai paramétereket, megmunkálási stratégiákat, szerszámpanyákat az egyes felfogásoknál.

3.1. A munkadarab megtervezése

Az alumínium felni megtervezése egy komplex feladatnak mondható. A modell elkészítésekor nem csak a végkimenetelre kell odafigyelni. A feladat egy olyan alaksajátosságokkal rendelkező geometria megalkotása volt, amelynek előgyártmánya préskovácsolásra alkalmas, miközben a forgácsleválasztás során a lehető legkevesebb anyag vész kárba, így lehetővé téve egy gazdaságos, valamint tömeggyártásra alkalmas technológiát. A kerék megtervezésekor ügyelnem kellett néhány fontos paraméter betartására, melyek a következők voltak:

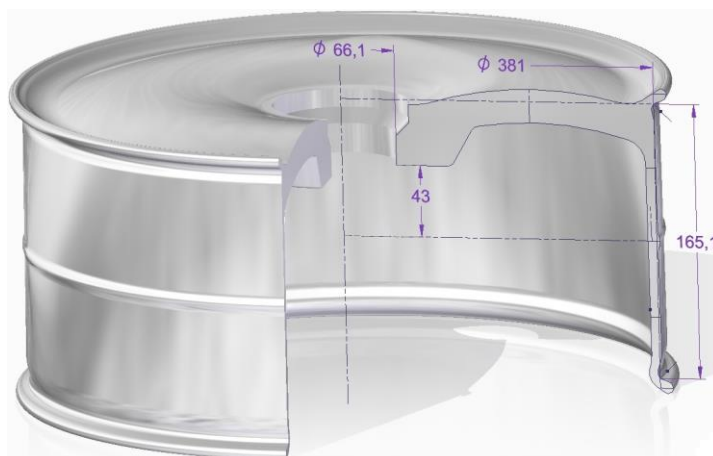
- Gumiabroncs ülék szélessége: 6,5 *inch* (165,1 *mm*)
- Kerék átmérője a gumiüléknél: 15 *inch* (381 *mm*)
- ET szám vagy középsík eltolás: 43 *mm*
- Felfogató furatok osztókörének átmérője: 4,5 *inch* (114,3 *mm*)
- Felfogató furatok száma: 5
- Felfogató furatok átmérője: 12 *mm*
- Kerékagy átmérője: 66,1 *mm*

A kerék anyagának az EN AW 6061-es alumíniumot (AlMg1SiCu) választottam, mivel ez egy sokrétűen felhasználható, nem túl drága, viszont jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkező könnyűfém. Ezt az anyagot eredetileg 1935-ben az Alcoa vállalatnál fejlesztették ki egyedi formák és sztenderd rúd, lemez illetve csőformák gyártására. Sok területen jól alkalmazhatónak bizonyult (repülőgépgyártás, háztartási elektronika, csomagolóipar, járműipar, stb.). Fontos jellemzői közé tartozik a kiváló korrózióállóság, jó megjelenés simítás után, valamint hőkezelésre alkalmas, így jobb mechanikai tulajdonságok érhetőek el. Viszont a

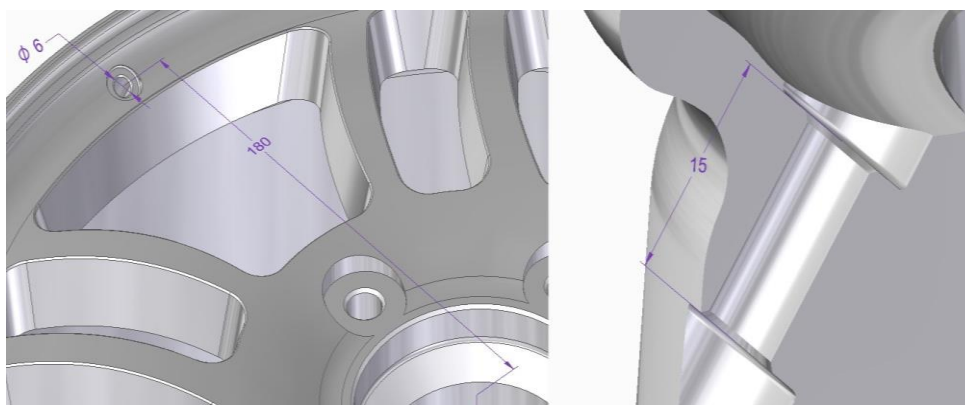
megmunkálhatósága nem túl jó. Egyes megmunkálási eljárások során az emulzió használata előnyös. [1]

A tervezés során a SolidEdge 2022-es verzióját használtam. Ennek oka, hogy a megmunkálás során használt EdgeCAM megmunkáló programmal kompatibilis a fájlformátuma, így nem szükséges köztes formátumot (például parasolid) alkalmazni. A SolidEdge a Siemens által fejlesztett, az iparban viszonylag elterjedt szoftver. Fő alkalmazása a 3D-s modellek és 2D-s rajzok illetve összeállítások készítése. Emellett rendelkezik kiegészítő CAM, VEM szimulációs, elektromos tervezési és más modulokkal is.

A modell létrehozása során a bázis alakrajza a forgáskihúzott kontúr vázlata volt, amely már magába foglalta a központi furatot (11. ábra). A szelepfuratot és annak kétoldali besüllyesztését vázlatból definiáltam (12. ábra).

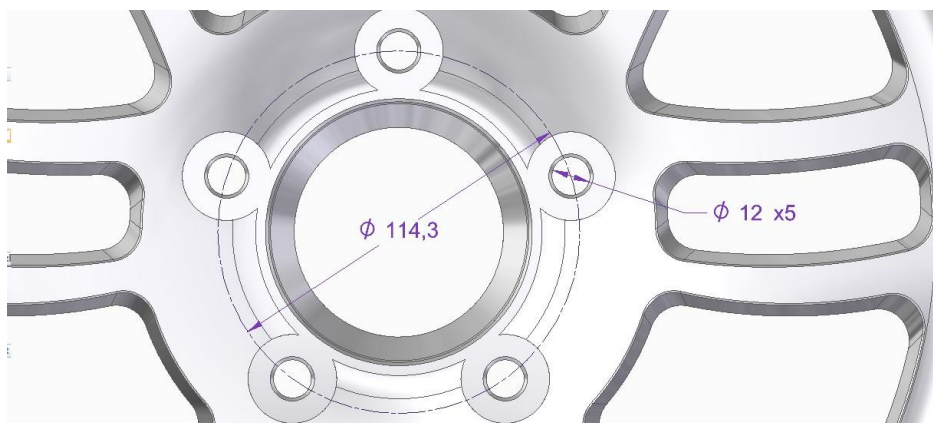


11. ábra: Tengelyszimmetrikusan kihúzott kontúr (Saját ábra)



12. ábra: Szelepfurat elhelyezése (Saját ábra)

A könnyítő kimarásokat szintén vázlatból, míg a felfogató furatokat előre elhelyezett alakrajz alapján adtam meg, majd osztottam ki őket a központfurat görbéje mentén. Végül pedig elhelyeztem a megmunkálás és design szempontjából szükséges oldalferdeségeket, lekerekítéseket illetve letöréseket (13. ábra).



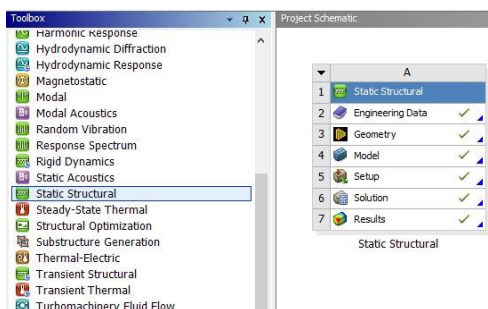
13. ábra: Felfogató furatok (Saját ábra)

3.2. Előgyártmány szimulálása végeelem módszerrel

A megfelelő forgácsolási technológiák kiválasztásához alapfeltétel az előgyártmány ismerete. A 2.1 fejezetben tárgyaltak szerint a kovácsolt előgyártmányt választottam, mert javítja a mechanikai tulajdonságokat és gazdasági szempontból is jóval kedvezőbb. Ahhoz, hogy megkapjam az előgyártmány modelljét, amely kellő pontossággal közelíti meg a valóságot szükségessé vált megterveznem a préskovácsolási technológiát, azon belül is a két szerszámfél kialakítását.

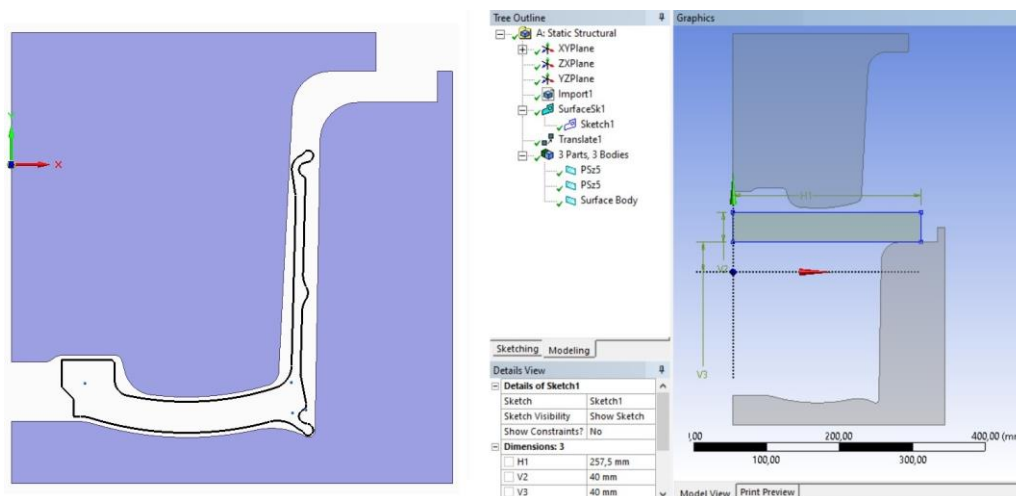
A VEM szimuláció során az Ansys mérnöki szimulációs szoftver 2022/R2-es verzióját használtam. Az Ansys-t az azonos nevű vállalat alapította meg az 1970-es években. A program célja a különböző termékek és rendszerek viselkedésének vizsgálata meghatározott, előre feltételezett körülmények között. Segítségével még a tervezés korai fázisában felfedhetőek az esetleges hibák. Gyorsítja a terméktervezési folyamatot, mivel gyakran ki tudja váltani a prototípus szükségességét. VEM módszerrel ellenőrizhetőek különböző áramlástani, hidrodinamikai, termodinamikai, magnetosztatikus, elektrosztatikus, termoelektromos, vibrációs, - és ahogyan a mostani esetben szükséges - mechanikai probléma, vagy ezek összessége. [2]

A szimuláció legelső lépése a megfelelő környezet kiválasztása a bal oldalt található Toolboxban felkínált lehetőségek közül. Esetünkben mechanikai problémáról lévén szó, a Static Structural modulra van szükségünk. (14. ábra)



14. ábra: Szimulációs modul kiválasztása a Toolbox-ból (Saját ábra)

Ezt követően eldöntjük, hogy milyen alapmodellel lehet a lehető legjobban, de minél kevesebb, véges számú elemből felépíteni a kívánt geometriát („Geometry”). Az alumínium kerék jellegéből adódóan egy tengelyesen szimmetrikus préskovácsolt előgyártmány lesz. A szimmetria miatt a szimulációhoz így a 2D-s tengelyszimmetrikus modellt választottam. A síkmodell megrajzolására az Ansys rendelkezik kettő modellező modullal is, azonban ezek használata a két szerszámfél vázlatához esetünkben nem előnyös. A megfelelő végeredmény eléréséhez sok újratervezésre, kisebb-nagyobb változtatásra van szükség, akár a szimuláció során észlelt hibák, akár a végtermék módosulása okán. Ezért a már ismert SolidEdge-ben rajzoltam meg a síkmodellt és beimportálást követően az Ansys Design Modeller moduljában csak az alumínium pogácsa 2D vázlatát definiáltam meg. (15. ábra)



15. ábra: Présszerszám síkmodellje és az alumínium pogácsa elhelyezése a DM modulban (Saját ábra)

Az ábráról leolvashatóak a pogácsa méretei:

- $h = 40 \text{ mm}$ (magasság)
- $r = 257,5 \text{ mm}$ (sugár)

Így a pogácsa elméleti tömege:

$$m = \rho \cdot V = 2713 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,2575^2 \text{ m}^2 \cdot \pi \cdot 0,04 \text{ m} \approx 22,6 \text{ kg}$$

Miután elkészült a vázlat, kiválasztottam a megfelelő anyagokat. A prészserszám anyagának az 1.2367-es melegalakító szerszámacélt (X38CrMoV5-3) az alumíniumnak pedig természetesen az EN AW 6061-es (AlMg1SiCu) jelölésű anyagot választottam. [8] Ansys-ban az „Engineering Data” fülön tudjuk az anyagot kiválasztani, vagy ha nem található a valamennyi anyag könyvtárban, deklarálnak az. A könyvtárakban nem találtam egyik anyagnak sem a gyártói adattalappal megegyezőt, így létrehoztam őket. (16. ábra)

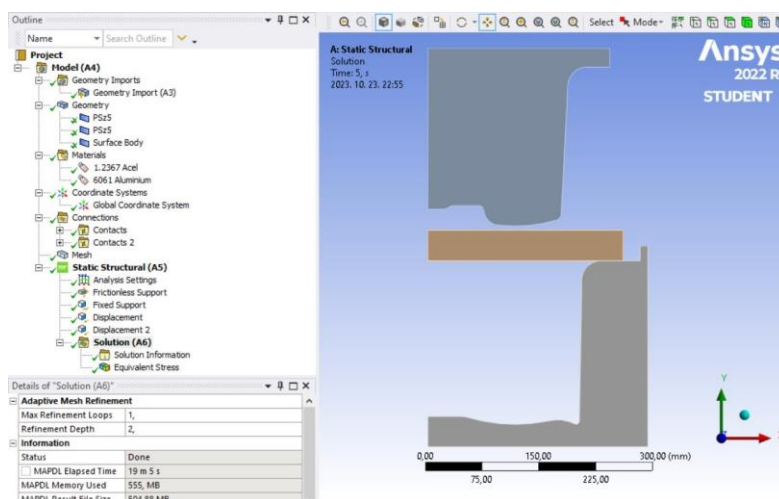
Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	7830	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,29E-05	C ⁻¹
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and Poisson...	
Young's Modulus	218	GPa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,8167E+11	Pa
Shear Modulus	8,3846E+10	Pa
Strain-Life Parameters		
Display Curve Type	Strain-Life	
Strength Coefficient	920	MPa
Strength Exponent	-0,106	
Ductility Coefficient	0,213	
Ductility Exponent	-0,47	
Cyclic Strength Coefficient	1000	MPa
Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2	
S-N Curve	Tabular	
Interpolation	Log-Log	
Scale	1	
Offset	0	Pa
Tensile Yield Strength	1420	MPa
Compressive Yield Strength	1400	MPa
Tensile Ultimate Strength	2010	MPa
Compressive Ultimate Strength	0	MPa

Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	2700	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and Poisson...	
Young's Modulus	69	GPa
Poisson's Ratio	0,12	
Bulk Modulus	3,0265E+10	Pa
Shear Modulus	3,0804E+10	Pa
Linear Isotropic Hardening		
Active Table	Plastic	
Yield Strength	276	MPa
Tangent Modulus	562	MPa
Strain-Life Parameters		
Display Curve Type	Strain-Life	
Strength Coefficient	920	MPa
Strength Exponent	-0,106	
Ductility Coefficient	0,213	
Ductility Exponent	-0,47	
Cyclic Strength Coefficient	1000	MPa
Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2	
S-N Curve	Tabular	
Interpolation	Log-Log	
Scale	1	
Offset	0	Pa
Tensile Yield Strength	290	MPa
Compressive Yield Strength	270	MPa
Tensile Ultimate Strength	310	MPa
Compressive Ultimate Strength	0	MPa

16. ábra: Baloldalon: X38CrMoV5-3 és a jobboldalon: AlMg1SiCu (Saját ábra)

A geometria és anyagválasztás után kezdhethetjük csak el a VEM szimulációs környezetben felépíteni a különböző hatások, peremfeltételek rendszerét, illetve megfelelően paraméterezhetjük őket. Mielőtt azonban nekifognánk, a kezdőlapon a Geometry fülre kattintva a jobboldalt megjelenő ablakban ki kell választani az analízis típusát, a geometriának megfelelően, ami jelen esetben 2D-s analízis. A „Modell” ablak megnyitása után látható az az

ablak ahol megadhatjuk a feltétel és hatásrendszert. A továbbiakban a 17. ábra bal oldalán látható projektfa felépítésén és kitöltésének főbb lépésein fogok végigmenni. Először az általános modell beállításokon, majd a Static Structural-ra vonatkozó speciális beállításokat mutatom be.



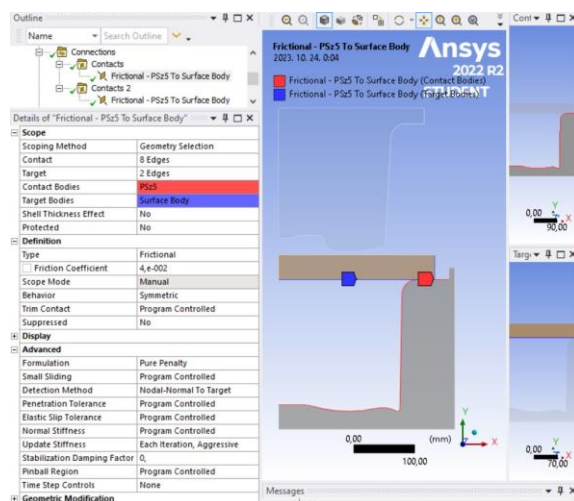
17. ábra: A Static Structural modul szimulációs környezete (Saját ábra)

A Geometry ágon az egyes alkatrészekhez hozzá tudjuk rendelni az anyagát és a viselkedési tulajdonságait. Mivel egy nagymértékű anyag deformációt akarunk vizsgálni a nemlineáris hatásokat engedélyezni kell és a merevségi viselkedést rugalmasra kell állítani. Itt az előzőekben megadott 2D-s viselkedés típusát is meg lehet változtatni, ami az előzőekben tárgyaltak szerint tengelyszimmetrikus.

A Materials ágon a modellben használt anyagokról láthatunk egy-egy összefoglaló adatlapot. Itt láthatjuk a fő mechanikai jellemzőket és a hozzájuk tartozó görbéket, mint például a szakító diagramot és a kifáradási Wöhler-görbét.

A Connections ágon az érintkező, vagy mozgások során későbbiekben érintkező felületek között állíthatjuk be a kapcsolat milyenségét. A kapcsolat alkalmazástól függően lehet kötött, súrlódó, súrlódásmentes, durva vagy egymástól nem elváló. A prösszerszámnál természetesen figyelembe kell venni a súrlódást, melynek értékét a szerszám szilárd szénkenése miatt 0,04-ra vettem. A súrlódás során érintkező felületeket külön kell kiválasztani mind a két alkatrészen (alumínium pogácsa és prösszerszám álló része). Itt a viselkedést szimmetrikusra állítottam, hogy az érintkező felületek mentés a súrlódás állandó legyen. Az érzékelés típusa felületre

normális és a merevségi mátrixokat minden egyes iteráció során frissítse. Ezek a beállítások hasonlóak a felső mozgó szerszám fél és a pogácsa közötti kapcsolat esetén is. A beállítások a 18. ábrán láthatóak.



18. ábra: Súrlódó kontakt beállítása az álló szerszám és a munkadarab között (Saját ábra)

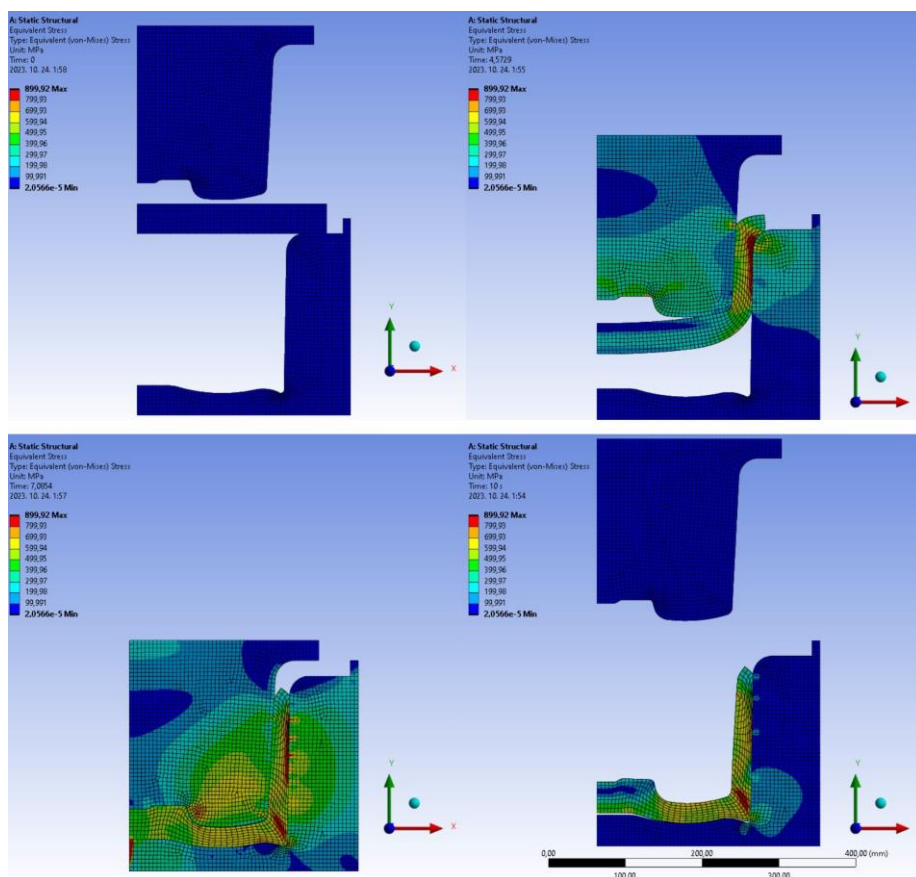
A Mesh ágon a végelem-hálót állíthatjuk be. A háló „finomságát” a minimális és maximális elemméretek megadásával változtathatjuk meg az alapértelmezetről, az általunk kívánt értékre. Célszerű olyan elemmérettel végezni a szimulációt, ami a legkisebb lekerekítésnél kisebb. A különböző görbületi sugarakon a háló részletességét tovább lehet csökkenteni egyéb beállításokkal. Minél kisebb az elemek mérete annál pontosabb szimulációt kapunk a megoldásban, valamint az eredmény legenerálása is hatványozottan tovább tart. Ezért fontos még a legelején a megfelelő modellt alkalmazni, a lehető leginkább egyszerűsíteni a modellt, levenni a terhelés szempontjából nem fontos részeket és törekedni a sík és tengelyszimmetrikus modellekre. Az elemek formája is módosítható amennyiben szükséges, habár az alapértelmezett négyszöggel, valamivel jobb pontosság érhető el általános esetekben. Én 5 mm-re vettem a négyszög-háló méretét és az egyszerűsített modellen is 3358 elemet, 10599 csomópontot hozott létre a program. Ez csomópontonként egy merevségi mátrixot jelent.

A modell általános beállításait követően térjünk rá a Static Structural speciális beállításaira. Első lépés az analízis beállítások kezelése. Itt először két fő lépésre bontom a mozgást. Az első mozgás a felső szerszám legalsó pontra éréséig tart (7 másodperc). A második fő lépés pedig az alaphelyzetig tartó mozgása (3 másodperc). A részlépések számának növelésével pontosabb

eredményt kapunk, így azt 200-ra határoztam meg. Az eredményben egy direkt megoldást keresünk, illetve engedélyezni kell a nagy deformációkat, hogy megfelelően számolható legyen a feladat.

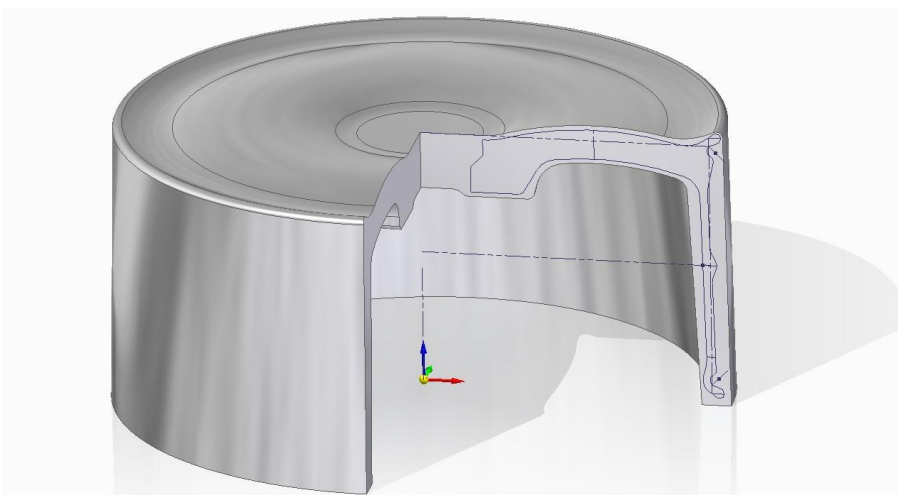
A feladat szempontjából lényeges kényszereket is hozzá kell adni. Az álló félt le kell fixálni, a munkadarab és a felső szerszám szimmetriatengelyére súrlódásmentes vagy axiálisan (y tengely) szabadon elmozdítható megtámasztás kell. A felső szerszám felső lapjára ezután rá kell tenni az elmozdulást okozó táblázatosan meghatározott mozgást, a szerszám süllyedését és emelkedését. Ha szükségünk van, akkor itt megadhatunk különböző terheléseket, mozgásokat, gyorsulást, nyomást, hőmérsékleti állapotot, csuklóterhelést és más körülményeket egyaránt.

Az utolsó, Solution ágon értelem szerűen megadhatjuk, hogy mik legyenek a várt eredmények. Szemléltetés szempontjából a redukált feszültséget határoztam meg várt eredménynek. A szimulációhoz ki kell választani a megoldás lehetőséget és azt követően a program legenerálja a végeelem-hálót, majd kiszámolja a kívánt eredményt a megadott adatok alapján. A préselés folyamatát a 19. ábra szemlélteti.



19. ábra: A szimulációval kapott préselési folyamat (Saját ábra)

Végeredményül megkapjuk a préselt előgyártmány formáját. A préseletet ezután SolidEdge-ben lemodelleztem. Most már rendelkezésre áll egy kellően pontos előgyártmány, amiből kiindulva le lehet generálni a megmunkáló programokat. Az előgyártmány modellje a 20. ábrán látható.



20. ábra: Az előgyártmány modellje (Saját ábra)

A geometriát részben leegyszerűsítettem, mivel a szerszámból kifolyó sorjás rész levágásra kerül. Így a tömege 21,5 kg-ra redukálódott. A tömeg, a megmunkálási idő és költség csökkentésére lehet alkalmazni többlépcsős préselést, illetve az oldalfal más technológiával való kialakítása is megoldás lehet.

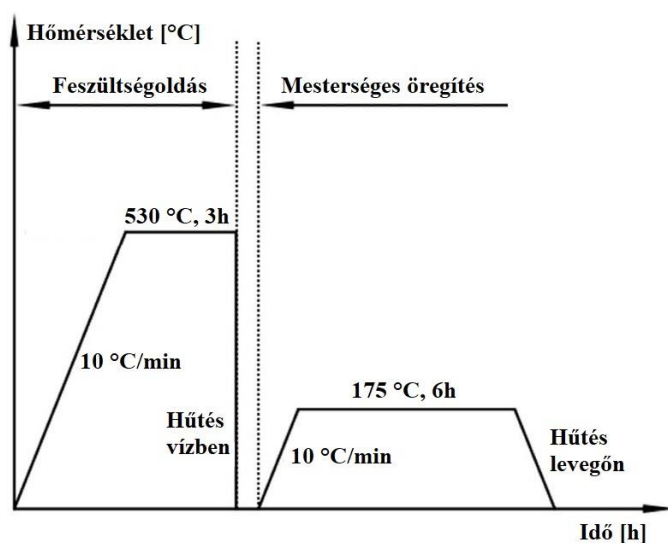
3.2.1. Az alumínium megmunkálása és az előgyártmány hőkezelése

Az acéltól eltérően az alumínium megmunkálása több szempontból is eltér. Az alumínium forgácsolásakor a kis sűrűség miatt a forgácsolóerők is kisebbek lesznek, így 3-4-szer nagyobb fajlagos forgácsolási sebesség érhető el a forgácsolási sebesség növelésével. Az alumínium forgácsolásakor sokkal kevesebb hő fejlődik a súrlódó zónákban, de az alacsonyabb olvadáspont miatt akár ez is gondot jelenthet. A hőfejlődés hatására az anyag meglágyulhat és intenzívebb lesz az élszak-képződés. Gyakran megoldást jelenthet a nagyobb forgácsolási sebesség használata. [8] [1] A 6061-es ötvözet forgácsolásakor további probléma lehet a vékonyfalú alkatrészek megmunkálásakor gerjedő vibráció. Ez első sorban az alumínium felni külső és belső palástfelületének megmunkálása során jelentkezhet. A vibráció és az élrátét

elkerülése érdekében speciálisan alumínium megmunkálására alkalmas, nagy hátszögű, éles, forgácselvezetés miatt polírozott homloklfelületű bevonatolt lapka, illetve karbid szerszám ajánlott. Az alumíniumok forgácsolásra legalkalmasabb szerszámanyagoknak kétségkívül a különböző speciális keményfémek bizonyulnak. A keményfémek magas olvadáspontú fémkarbidokat és kötőanyagként alacsonyabb olvadáspontú fémeket tartalmaznak. Vegyi összetételüktől (egy-, két- vagy három karbidos kivétel) függően jó kopásállósággal rendelkeznek és 800 - 1000 °C tartományig hőállóak, emellett jó a szívósságuk és szilárdságuk egyaránt. [9]

Az alumínium hőkezelésének következtében az anyagszerkezete megváltozik. A módosult kristályszerkezet hatására javulnak a szilárdsági, mechanikai jellemzők és a megmunkálhatósága is kedvezőbbé válik. A hőkezelés hatására az anyag nyúlása, ezáltal formázhatósága lecsökken, ridegebb lesz. Ebből következően célszerű a megmunkálással kialakított kész alkatrészt, illetve amennyiben ez nem megoldható, esetünkben a préselt előgyártmányt hőkezeltetni.

Az alumínium felni kovácsolt előgyártmányának tulajdonságait T6-os hőkezeléssel lehet a legjobban javítani. A hőkezelés a következőképpen néz ki T6 esetén: először 530 °C-ig lassan melegítjük a munkadarabot, 2-3 óra hőntartást után pedig gyorsan visszahűtjük szobahőmérsékletre. Ezt követően 6-8 órán keresztül öregítjük 175 °C-on. A hőkezelés után az alumínium keménysége nagyjából 95 HB, amit a megmunkálás során figyelembe kell venni. Az EN AW 6061 T6-os hőkezelési diagramja a 21. ábrán látható. [8]



21. ábra: A 6061 T6 általános hőkezelési diagramja (Saját ábra)

3.3. Gyártástervezés CAM szoftverrel

Ebben az alfejezetben részletezem a megmunkáló CNC programok elkészítését. Bemutatom a megmunkáláshoz használt esztergáló, maró és fúróciklusokat, ismertetve a technológiai paramétereket, választott szerszámokat, szerszám pályákat, megmunkálási stratégiákat. Ennek megvalósítását az egyes alkatrész felfogásonként, megmunkáló programonként külön részekre tagoltam.

A megmunkálás megtervezését az EdgeCAM 2023.1-es verziójú számítógépes gyártástervező programmal készítem el. Az EdgeCAM számos megmunkálási lehetőséget lefed a rendelkezésre álló moduljaiban. A szoftver rendelkezik 2,5, 3, 4 és 5 tengelyes megmunkálási ciklusokkal, illetve esztergáló, maró és szikraforgácsolási környezettel.

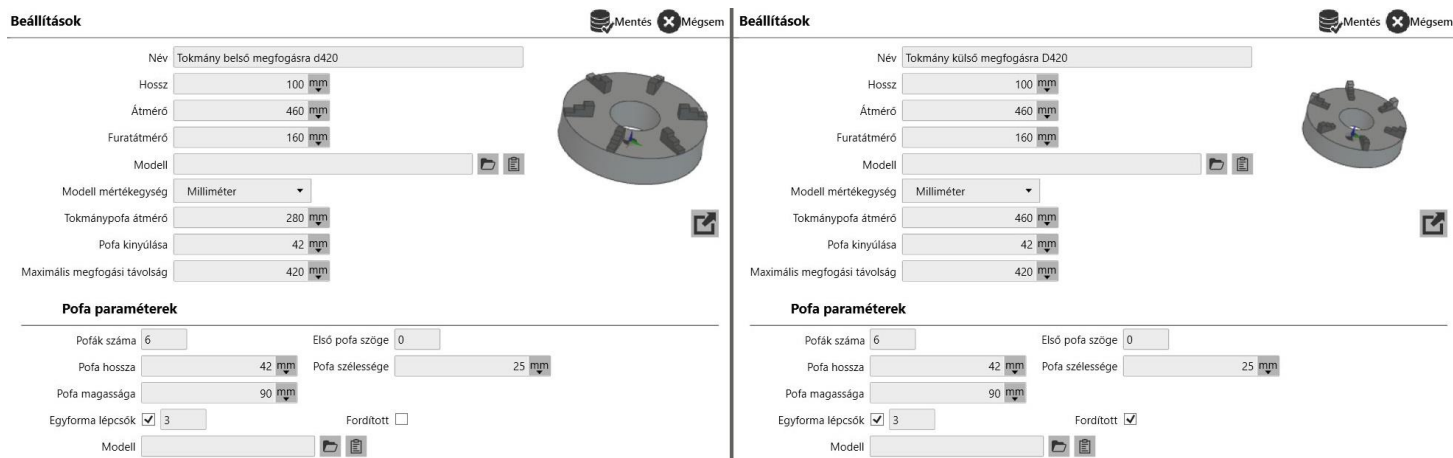
A továbbiakban fontos figyelembe venni, hogy az esztergáló szerszámokat az ISCAR [6] katalógusból, pontos megnevezés alapján választottam. Míg a maró szerszámokat a FRAISA [4] katalógusából rendelési szám alapján határoztam meg és utaltam rájuk.

3.3.1. Külső esztergáló program ismertetése

A legelső befogás célja a lehető legnagyobb mennyiségű anyag eltávolítása, és a külső felületek készre munkálása. Itt a lehető legkisebb ciklusidő elérésére törekedtem, ez a meghatározóbb esztergálási program.

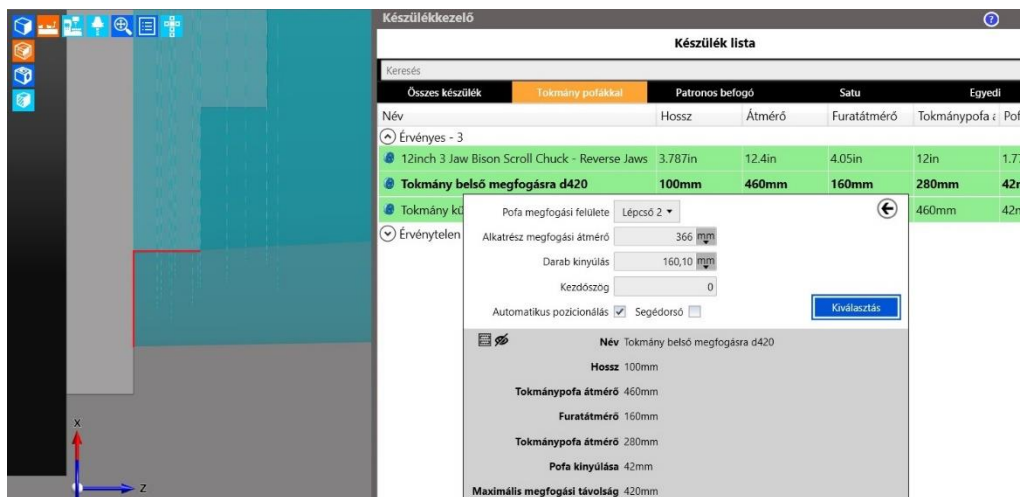
A 3.2-es fejezetben tárgyaltak szerinti leegyszerűsített geometriához először egy megfelelő tokmány választása volt a feladat. A forgácsolás során a nagy kerület miatt nagy nyomatok ébrednek. A kerék elfordulásának, vagy elmozdulásának megakadályozásához nagy nyomással szorító tokmánypofákra van szükség. Ez akkora erőket jelenthet, amik számottevően deformálhatják a kerék geometriáját. A kisebb-nagyobb mértékű ovalitásnak egy kerék esetén akár személyi épségi és vagyoni védelmi kockázata is lehet, ezért egy hatpofás tokmányt definiáltam a nyomás megfelelő elosztása érdekében. Itt már létrehoztam mind a külső és a belső felületek megfogására is alkalmas tokmányokat. (22. ábra)

A precízebb befogás érdekében szükséges a keréken megfogott átmérő ívét lekövető kialakítású tokmánypofákat használni. Ezáltal még nagyobb folyamatbiztonságot lehet garantálni.



22. ábra: Baloldalon a belső, jobboldalt pedig a külső megfogásra használt tokmány (Saját ábra)

Miután az alkatrészt, ez esetben esztergált kereket és a préselt előgyártmányt beillesztettem a megmunkáló környezetbe, hozzá igazítottam a belső megfogó tokmányt. A befogás paramétereit a 23. ábrán láthatóak. A felfekvő felületeket pirossal jelöltem.



23. ábra: Befogás paramétereit és a felfekvő felületeket (pirossal) (Saját ábra)

A megmunkáló ciklusok generálásához alaksajátosságokat kell definiálni, amelyekhez szerszámpályát lehet majd rendelni. A legfontosabb alaksajátosságok ebben a felfogásban a homlokfelület, amely majd a beszerelt keréknél látható lesz, ezért ennek esztétikai elvárásai is vannak. Ezen kívül további három alaksajátosság, a központi furat középpontja és kontúrja,

valamint a külső palástelület szükséges meghatározni. Az automatikus alakajátosság kereséssel nem talált megmunkálás szempontjából megfelelőeket, így ezeket manuálisan felületekből határoztam meg.

Az alakajátosságokra épülő külső esztergáló ciklusokat mutatom be a továbbiakban. A műveleti sorrendet az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Az első felfogás műveleti sorrendje (Saját táblázat)

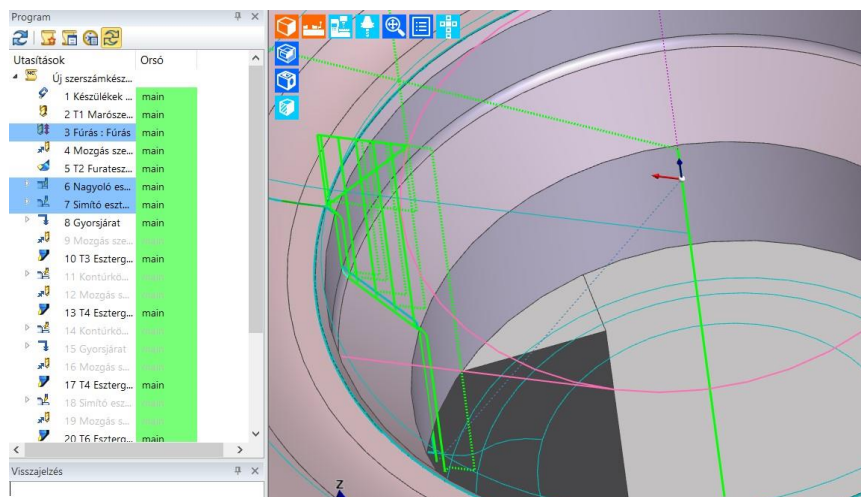
Felfogás #	#	Művelet megnevezése
1. OD Esztergálás	1.	Fúrás
	2.	Furat nagyolás
	3.	Furat simítás
	4.	OD Homlok nagyolás
	5.	OD Palást nagyolás
	6.	OD Homlok simítás
	7.	Beszúrás kinagyolása
	8.	OD Palást simítás

Az első műveletnek egy nagy átmérőjű fúrást definiáltam, hogy a későbbi esztergáló ciklusoknak rövidebb lehessen a szerszámpályája. A fúráshoz használt lapkák (4db): SOMT 100408-DT, valamint a hozzá tartozó szár: DR063>066-165-50-10/11CA. A furat átmérője 63 mm, ami igen nagy számítás még könnyűfémekben is. A forgácselvezetés és szerszám élettartam növelése érdekében itt nagy nyomású nagyjából 60 bar-os belső emulzió hozzávezetés alkalmazása a szükséges. Az emulzió olajtartalma 8-10 m/m %. [7] [15]

A munkadarab percenkénti fordulatszáma 1000, illetve a szerszám fordulatonkénti előtolása 0,2 mm. A furat elkészítésekor ügyeltem, hogy a szerszámpálya túllógjon az előgyártmányon, így kialakítva a következő műveletekhez szükséges helyet.

A furat kinagyolásához használt lapka: VCGT 220520-DW, illetve a szerszámszár: A40U SVLFCL-22. A furat belső előre esztergálásához szükségessé vált az újonnan kialakult geometria egy szélső pontja, amit jelen esetben egy 63 mm átmérőjű körrel definiáltam a nagyoláshoz. A szerszámpályát végmeghosszabbítással kifuttattam az előgyártmányig, mivel a második felfogásban is szükséges a belső homlokfelület esztergálása.

A furat simítása ugyan ezekkel a szerszámokkal történt. A különbség csupán annyi volt, hogy a furatkontúrba belevettem a letörést is. Az első három művelet szerszám pályái a 24. ábrán láthatóak.



24. ábra: Központfurat elkészítéséhez alkalmazott szerszám pályák (Saját ábra)

A furat elkészítését követően kerül sor a külsőoldali esztergáló ciklusokra. A 4. műveletben a külső homloklépcső nagyolása valósul meg. A használt lapka: GIPA 8-35V-1.20-D, illetve szerszám szár: GHVL 25-8.

Itt visszafelé történő homlokesztergálást alkalmaztam állandó felületi sebességgel (ÁFS). Az ÁFS lényege, hogy a munkadarab percnkénti fordulatszámát optimalizálja a program a forgácsolási sebesség konstanson tartása érdekében.

Kontúrkövető nagyoló ciklussal a szerszám pályája leköveti az alakcsatlakozás görbét így a lapkára javasolt paraméterek betartásával majdnem egyetlen fogással eltávolítható az összes ráhagyás. A kontúrkövető megmunkálásnak nagy előnye, hogy a „z” és az „x” irányú fogásvétel és ráhagyás is külön változtatható. Itt például x irányban 1,5 mm, z-ben pedig 2,5 mm-es fogásmélységet határoztam meg a lapka geometriai kialakítása miatt.

Itt már fontos figyelni arra, hogy a szerszám élét ne teljesen merőlegesen vezessük bele az anyagba, hanem valamiféleképpen tompítsuk fogásba állást. A rá- és összekötési beállításokkal ezt könnyen megtehetjük. Személy szerint a szerszám pályák többségét, amikor elegendő hely van rá 30-45°-ban 3-5 mm-es sugáron vezettem a megmunkálandó felületre, ahogyan itt is tettem.

A külső oldali keréküléken a szerszám pályát kivezettem az előgyártmányig, hogy a lehető legtöbb anyagot távolíthassam el az adott ciklusban.

A nagyoló és simító esztergaciklusokhoz a fúráshoz hasonlóan szintén 8-10 m/m %-os emulzió használata szükséges. A hozzávezetés szerszámtól függően lehet alsó vagy felső, esetleg kombinált. Itt a nyomás értéke körülbelül 7-8 bar. Ez a forgácselvezetés és az éltartam növelés szempontjából válik fontossá. A szárazmegmunkálásnál sokkal jobb folyamatbiztonságot érhetünk el vele. [7]

Az 5. külső palástnagyoló műveletben a megelőzőleg használt lapkát és szerszámot használom, csak itt radiális felfogásban. Ez a legnagyobb anyagleválasztással járó művelet esztergálás során.

Kontúrkövető nagyolással valósítottam meg, így 4 folyamatos fogással (2,5 mm-es fogásmélység) ki lehetett nagyolni a palástfelületet. A szerszám geometriájából adódóan itt a felső keréküléknél maradt bent anyagfelesleg, melyet a későbbiekben egy másik szerszámmal el kell távolítani.

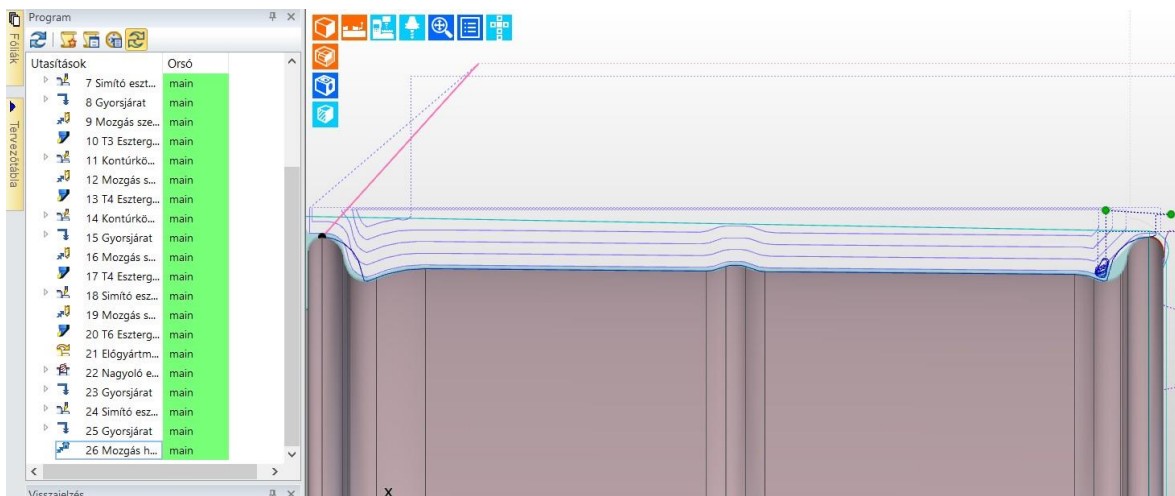
Ennél a műveletnél érdemes a készülékfigyelést bekapcsolni, hogy elkerüljük az ütközéseket a tokmánnal.

A 6. művelet során már egy nagy rádiuszú szerszámot választottam, amellyel a nehezebben elérhető részeket is le lehet simítani. Az alkalmazott lapka: FSPA 80-40YZ, illetve szerszámszár: FSHDR 25-8. Ez a szerszám már hajlamos az elhajlásra és az abból fakadó berezgésre egyaránt.

Az alumínium felni homlokfelülete az egyetlen, ami járműre szerelt állapotban is mindig jól látható, ezért esztétikai szempontok miatt kis előtolást választottam a simításához. (0.1 mm/ford).

A 7. műveletben az előző rádiuszos beszúróval végzem el a palástnagyolás során megmaradt anyag eltávolítását. Először ehhez újragenerálom az eddig megmaradt előgyártmány 3D modelljét. Ezt követően hullámvonalú nagyolással lemunkálom a simítás előtt. Ügyelve a szerszám kihajlási érzékenységére, 1 mm-es fogásmélységet használok.

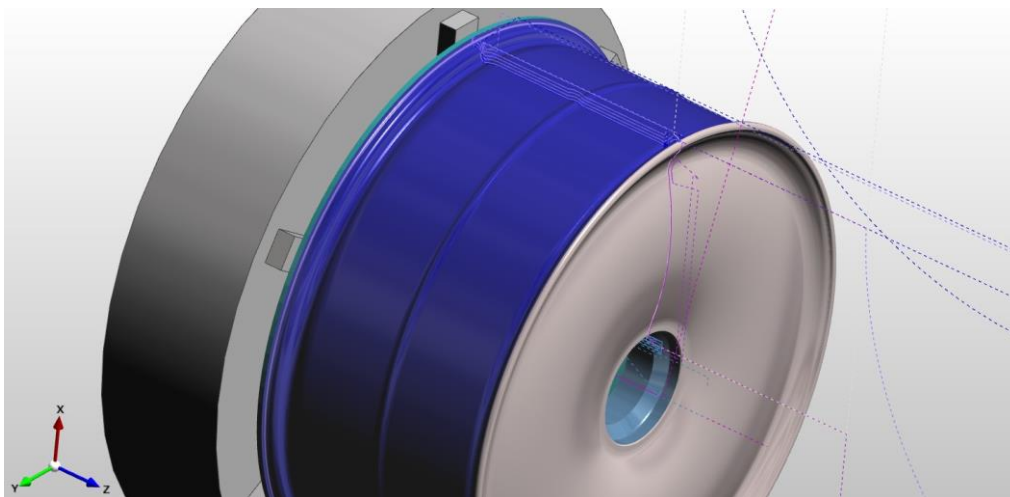
Az 5. és 7. művelet szerszám pályái és az újragenerált előgyártmány kontúrja a 25. ábrán látható.



25. ábra: A külsőoldali palástfelület és beszúrás esztergálása (Saját ábra)

Az utolsó, 8. műveletben a palástfelület simítását végzem ugyan azzal a szerszámmal. Itt az esztétika kevésbé fontos, így nagyobb előtolás alkalmazható, mint a homlokfelületen. A készülékfigyelés bekapcsolása ebben az esetben is szükséges, az ütközések elkerülése végett.

A megmunkált kerék és az összes szerszám pálya a 26. ábrán látható.



26. ábra: Az alumínium kerék külső megmunkált felületei és az alkalmazott szerszám pályák (Saját ábra)

Az első felfogás során a teljes ciklus idő 273 másodperc, melyből 244 másodpercet a megmunkálási idő tett ki. Az egyes műveletekhez tartozó forgácsolási paramétereket a 2.

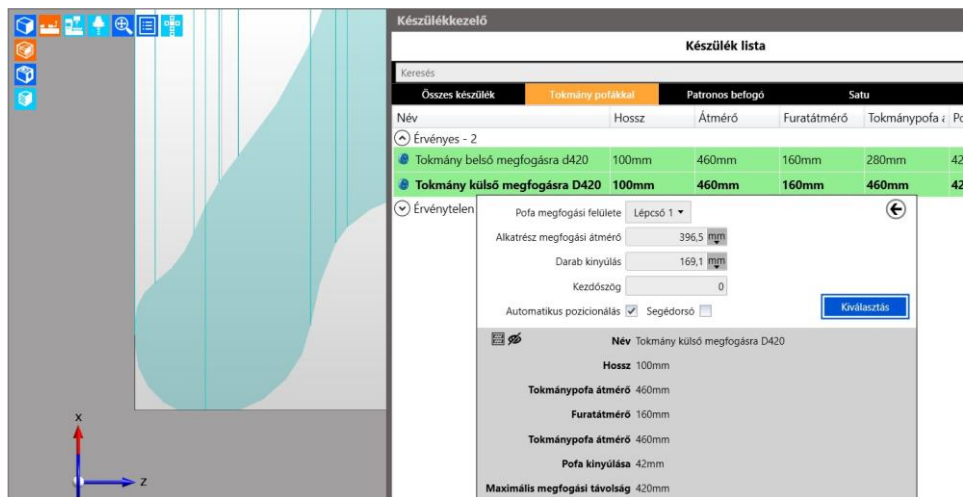
táblázat tartalmazza. Az ÁFS az átlagos felületi sebességet rövidíti, amely a munkadarab percenkénti fordulatszámát optimalizálja a forgácsolási sebesség konstans tartása érdekében.

2. táblázat: Az első felfogás során használt technológiai paraméterek összegző táblázata (Saját táblázat)

#	Művelet megnevezése	v_c [$\frac{m}{min}$]	a [mm]	D [mm]	n [$\frac{1}{min}$]	f [$\frac{mm}{ford}$]	C_T [s]
1.	Fúrás	200	-	63	1000	0.2	19
2.	Furat nagyolás	390	2	82.2	1500	1	8
3.	Furat simítás	520	0.8	82.2	2000	0.15	12
4.	OD Homlok nagyolás	700	2.5	Változó	ÁFS	0.6	23
5.	OD Palást nagyolás	2000	0.5	400	1600	0.6	50
6.	OD Homlok simítás	900	0.5	Változó	ÁFS	0.15	61
7.	Beszúrás kinagyolása	900	1	385	745	0.5	10
8.	OD Palást simítás	900	0.5	400	720	0.4	32

3.3.2. Belső esztergáló program ismertetése

A második felfogáshoz egy hatpofás külső megfogású tokmányt használtam, a megfogási paraméterei a 27. ábrán láthatók.



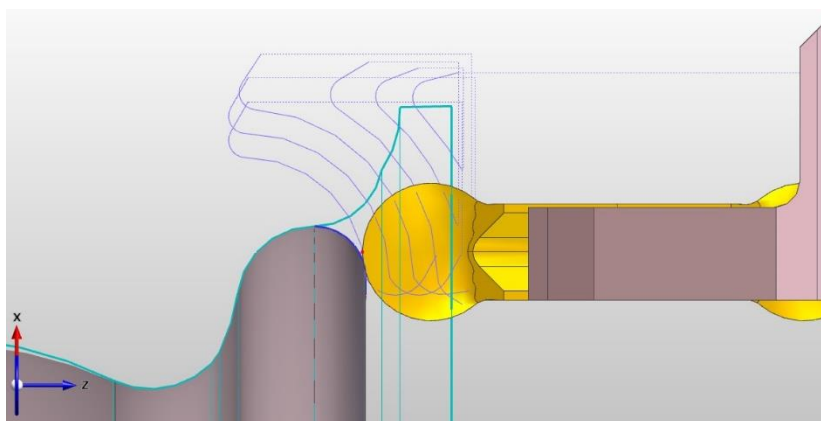
27. ábra: A külső befogás paraméterei (Saját ábra)

Ebben az esetben csupán két alaksajátosságra volt szükségem. Az alsó kerékülékre és a belső profilra. A továbbiakban az alaksajátosságokra épülő belső esztergáló ciklusokat ismertetem. A műveleti sorrendet az 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A második felfogás műveleti sorrendje (Saját táblázat)

Felfogás #	#	Művelet megnevezése
2. ID Esztergálás	9.	Alsó kerékülék külső oldali esztergálása
	10.	ID Homlok nagyolás
	11.	ID Homlok simítás
	12.	ID Palást nagyolás
	13.	ID Palást simítás

A 9. műveletben először a kerékülék azon részét távolítom el, amit a belső esztergáló szerszámokkal nem lehet megmunkálni. A használt lapka: FSPA 80-40YZ, hozzá tartozó szerszám: FSHDR 25-8. Kontúrkövető ciklussal határozom meg a szerszám pályát. (28. ábra)



28. ábra: Külsőoldal kontúrkövető forgácsolása (Saját ábra)

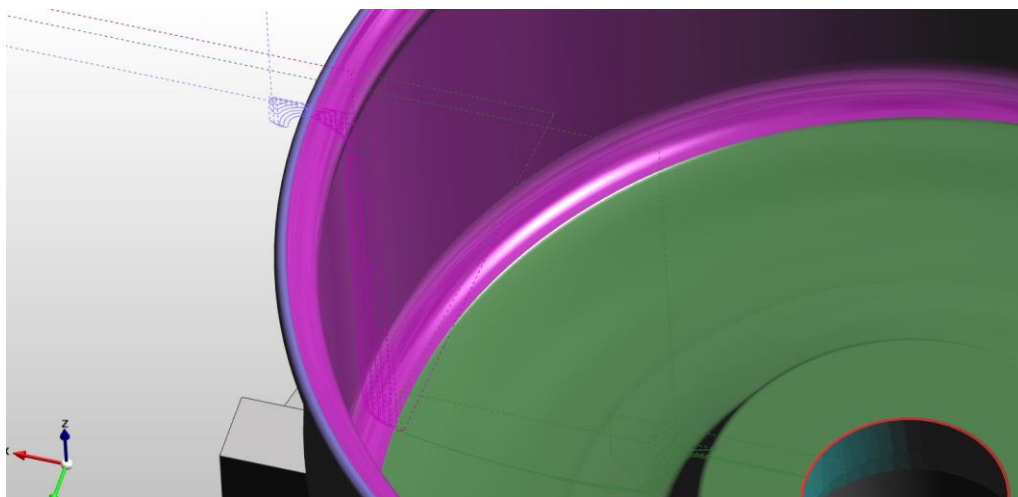
A 10. és 11. művelettel a belső homlokfelületet nagyolom és simítom. Először kontúrkövető ciklussal eltávolítom a ráhagyás nagy részét, majd egy lépésben besimítom. Alkalmazott lapka: GIDA 80-40YZ-D, hozzá tartozó szerszám: GHIUL 50C-27.5A-8. Itt szükség volt egy köztes előgyártmány frissítésre, hogy ne hozzon létre felesleges szerszám pályákat a további megmunkálás során.

A 12. és 13. művelettel a belső palást felületet nagyolom, utána pedig simítom. Alkalmazott lapka: VCGT 220520-DW, hozzá tartozó szerszám: A40U SVLFCL-22.

Mivel a belső oldalnak nincs esztétikai szerepe, a felületi érdességre nem kell különösebb hangsúlyt fektetni. Körlapkával 0,5 mm, rombusz lapkával 0,3 mm-es fordulatonkénti előtolást használtam.

Az alsó és felső kenőfolyadék hozzávezetés itt is szintén jelentősen növelheti a szerszámok élettartamát, tekintve, hogy ezeknél a műveleteknél nagy forgácsoló sebességgel dolgozik a lapka.

A megmunkált kerék és az összes hozzá tartozó szerszám pályát a 29. ábra szemlélteti.



29. ábra: Az alumínium kerék belső megmunkált felületei és az alkalmazott szerszám pályák (Saját ábra)

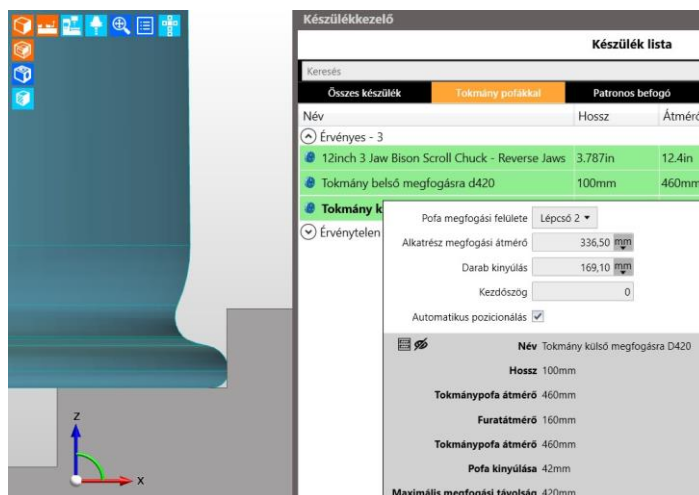
A második felfogás során a teljes ciklusidő 156 másodperc, melyből 142 másodpercet a megmunkálási idő tett ki. Az egyes műveletekhez tartozó forgácsolási paramétereket a 4. táblázat tartalmazza. Az ÁFS az átlagos felületi sebességet rövidíti, amely a munkadarab percenkénti fordulatszámát optimalizálja a forgácsolási sebesség konstans tartása érdekében.

4. táblázat: A második felfogás során használt technológiai paraméterek összegző táblázata (Saját táblázat)

#	Művelet megnevezése	$v_c \left[\frac{m}{min} \right]$	$a \text{ [mm]}$	$D \text{ [mm]}$	$n \left[\frac{1}{min} \right]$	$f \left[\frac{mm}{ford} \right]$	$C_T \text{ [s]}$
9.	Alsó kerékülék külső oldali esztergálása	900	1,4	400	720	0.4	23
10.	ID Homlok nagyolás	1250	1.5	Változó	ÁFS	0.7	19
11.	ID Homlok simítás	1500	1	Változó	ÁFS	0.5	13
12.	ID Palást nagyolás	1100	1.8	Változó	ÁFS	0.6	66
13.	ID Palást simítás	2000	1	Változó	ÁFS	0.3	21

3.3.3. Maróprogram ismertetése

A harmadik felfogáshoz szintén egy hatpofás tokmányt használtam külső megfogásra. A megfogási paramétereit a 30. ábrán láthatóak.



30. ábra: Megfogási paraméterek a maróprogram generálásához (Saját ábra)

Itt a zsebek oldalfelületei, furatközéppontok, illetve a besüllyesztések síkjai voltak a megmunkálás szempontjából meghatározó alakrajzjelölések. A továbbiakban az alakrajzjelölésekre épülő 3 és 5 tengelyes maró ciklusokat ismertetem. A műveleti sorrendet az 5. táblázat tartalmazza.

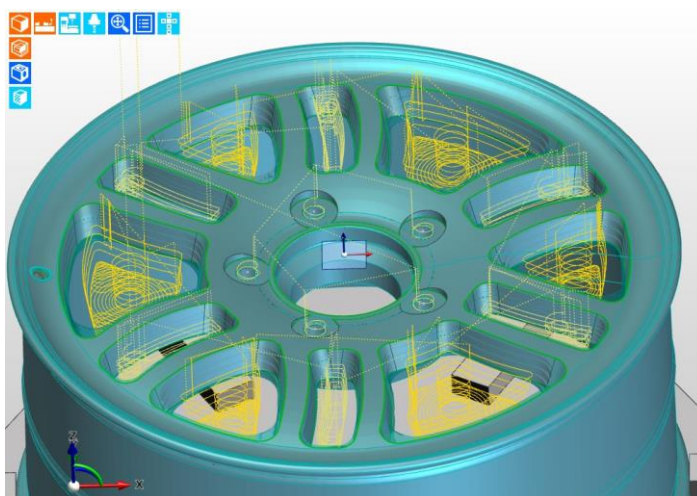
5. táblázat: A harmadik felfogás műveleti sorrendje (Saját táblázat)

Felfogás #	#	Művelet megnevezése
3. Marás	14.	Nagy könnyítők nagyolása
	15.	Kis könnyítők nagyolása
	16.	Felfogató furatok besüllyesztése
	17.	Könnyítések 5 tengelyes simítása
	18.	Könnyítések alsó éleinek sorjázás
	19.	Szelepfurat besüllyesztés
	20.	Szelepfurat központfúrása
	21.	Felfogató furatok központ fúrása
	22.	Könnyítések felső éleinek sorjázás
	23.	Felfogató furatok fúrása
	24.	Szelepfurat fúrása

A megmunkálások során minden esetben rámarást használtam a kisebb hőfejlődés és jobb felületek érdekében. A maróprogram legelső két művelete (14. és 15.) a tömegcsökkentést és féktárcsák léghűtését biztosító könnyítő kimarások nagyolása. Ezen műveletek során a lehető legnagyobb mennyiségű anyag eltávolítása a cél, minél rövidebb idő alatt.

A 14. műveletben használt keményfém maró szerszámmal (15600 770) a nagyobb kikönnyítéseket nagyoltam. Spirális besüllyesztés után egy lépésben, a szerszám hosszát kihasználva hullámforma stratégiával és kis fogásmélységgel. A minél nagyobb anyageltávolítás érdekében köztes fogásokat is alkalmaztam. A 15. műveletben a kisebb könnyítéseket kisebb átmérőjű bevonatolt keményfém maróval (C 15620 610) munkáltam meg, itt már több lépést alkalmaztam, de azonos stratégiát és köztes fogásokat.

A felfogató furatok besüllyesztését ugyan azzal a szerszámmal végeztem kisebb előtolással és nagy fordulattal, mivel itt készre munkált felület elérése volt a cél. Az első három (14-16) művelet szerszám pályái, valamint az azt követően újragerálalt előgyártmányt a 31. ábra szemlélteti.



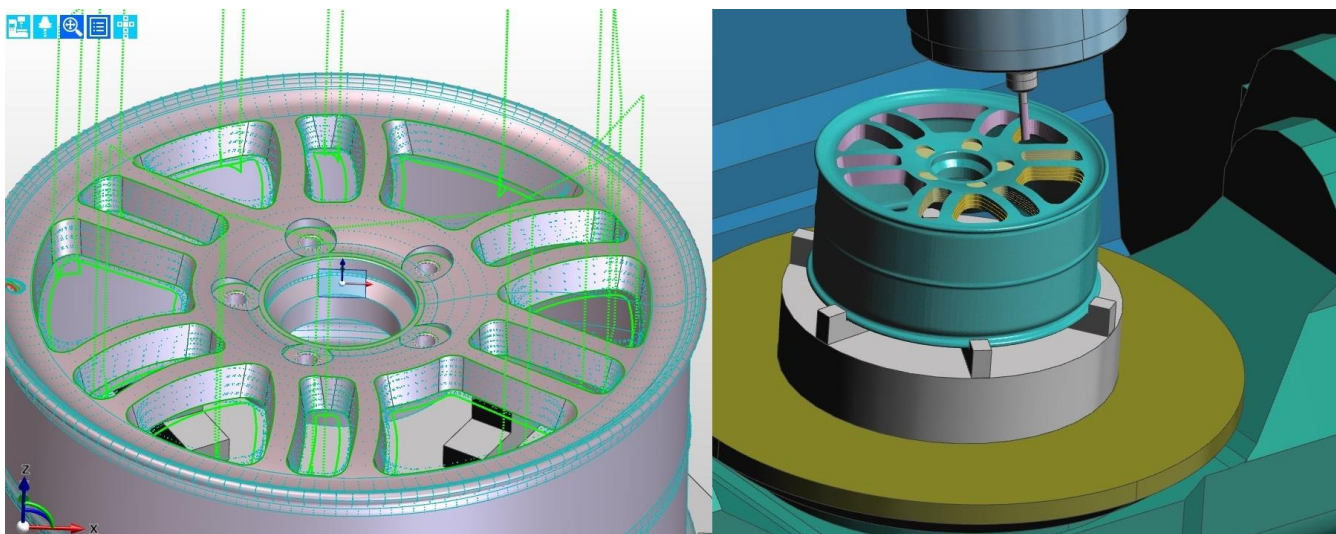
31. ábra: A nagyoló marások és felfogató furatok besüllyesztése után kapott előgyártmány (Saját ábra)

A 17. műveletben a könnyítő kimarások oldalfelületeit simítottam be. Erre a műveletre jellemzően kétféle megoldási stratégia létezik. Egyik a háromtengelyesen is kivitelezhető szerszám pályával, amely valamilyen görbülettel rendelkező, például gömbvégű, vagy körszegmens (parabolikus) maróval. Másik lehetőség az öttengelyes stratégia egyenes szárú szerszámmal. A forgácsolási idő az első esetben akár több tízszerese is lehet az öttengelyes megmunkálásnak,

így annak géphasználati költségei is nagyobbak lesznek. A háromtengelyes megmunkálás mellett egyedül a kisebb bekerülési költség érvel. Bonyolultabb alkatrészek esetén pedig elengedhetetlen az öttengelyes szerszámgépek használata.

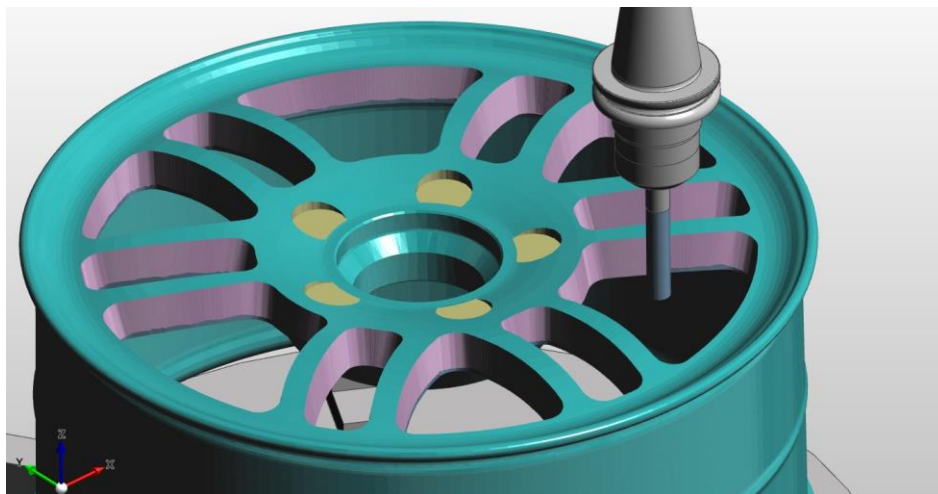
Mivel sokkal célravezetőbb, egy öttengelyes ciklust definiáltam a megmunkáláshoz. A simító műveletnél a jó felületi minőség elérése érdekében egy 6 élű bevonatolt könnyűfém marót választottam (C 15590 501). A művelet során jellemzően kis percenkénti előtolást, de nagy fordulatszámot használtam a minél kisebb felületi érdesség eléréséhez. A zsebek oldalfelületét egyetlen lépésben a szerszám hosszának kihasználásával oldottam meg néhány mm-es átfedéssel, a belépésnél kialakuló vetített egyenes eltüntetése miatt.

Öttengelyes alkalmazásoknál ügyelni kell a különböző rá- és leállításokra, kiemelési síkokra, mivel a bonyolult szerszám pályák könnyen ütközéshez is vezethetnek. Az általam készített alkalmazásban vízszintes menti parabolikus ráállást definiáltam az egyes régiókban. A kellő oldaltávolság megtartásával kerültem el a szerszámtörés lehetőségét. A szerszám pályák és a megmunkálás szimulációja a 32. ábrán látható.



32. ábra: Öttengelyes marás alkalmazása ferde oldalfelületeken (Saját ábra)

Ezt követően a 18. művelet során ugyan ezzel a szerszámmal lesorjáltam a könnyítők alsó élszalagját. A kicsi, 0,5 mm-es fogásmélység miatt nagyjából 30%-al nagyobb percenkénti előtolással és fordulatszámmal valósítottam meg. (33. ábra)



33. ábra: Alsó élek sorjázása (Saját ábra)

A 19. művelet célja a szelepfurat besüllyesztése, amelynek 0,5 mm-es sarokrádiusza van. A művelethez bevonatolt keményfém szerszámot választottam. (C 15573 300)

Az általam bemutatott programban csak a homloklapló oldalon tudtam kialakítani megfelelően a besüllyesztést, mivel a külső oldalra nem tudja beforgatni a munkadarabot a megmunkáló program. Ennek megvalósításához nagyobb engedélyezett szögelfordulást kell biztosítani az asztal forgástengelyei mentén. Számomra nem volt elérhető ebben a szoftverben ilyen lehetőség. A geometriai hiányosságra a legjobb megoldás egy megfelelő megmunkáló gép választása. Továbbá a szelepfurat geometriájának, pozíciójának módosítása, olyan szelep kialakítás, ami légmentesen képes tömíteni a furaton belül, illetve belső beszűrő és alámetszésre alkalmas szerszámmal korlátozottan, de ki lehet alakítani a besüllyesztést.

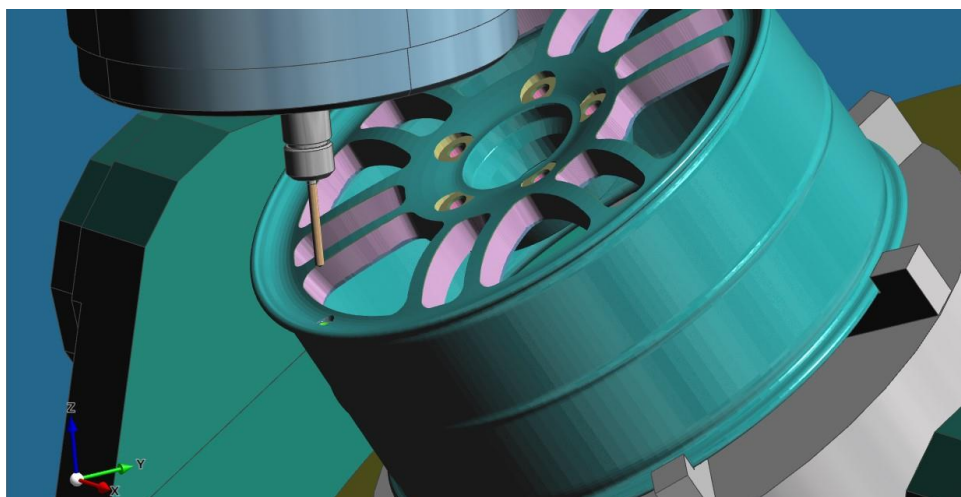
A 20. és 21. műveletben 90°-os központfúróval először a szelepfurat (B92040 1200), majd a felfogató furatok (B92040 1600) helyét készítettem elő. Mind a két esetben olyan megmunkálási mélységet választottam, hogy azzal a későbbiekben már ne kelljen külön rátenni az 1x45°-os kezdőletörést, ezzel megspórolva a szerszámcsere idejét.

Mivel a 90°-os központozóval (B92040 1600) lehetőség van rá, ezért a könnyítők felső élére elhelyeztem a letöréseket. A 19-22. művelet eredményét a 34. ábra szemlélteti.



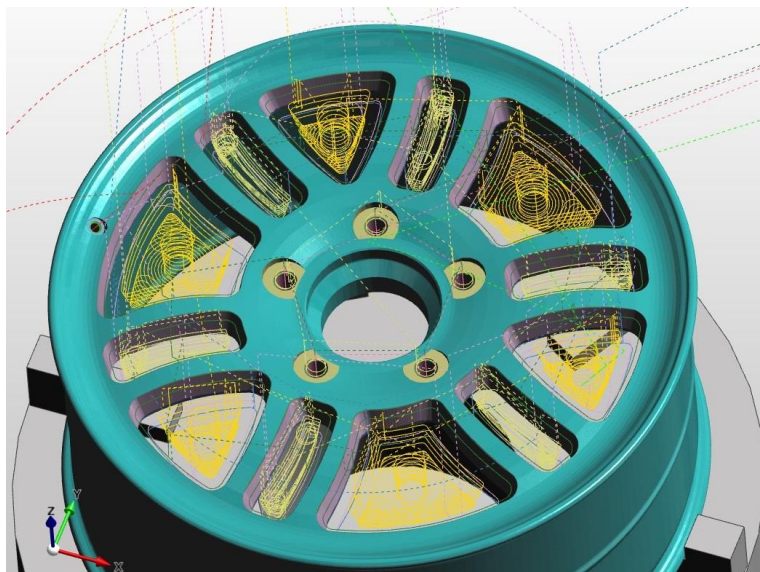
34. ábra: A furatközpontok és a felső élek sorjázása 90°-os központozóval (Saját ábra)

A 23. művelet során forgácstörő fúróciklussal munkáltam meg a felfogató furatokat. Szerszám: B62011 1200. A 24. műveletben azonos stratégiát alkalmaztam, a kisebb átmérőjű szerszámhoz igazítva. Szerszám: B62011 0600. A 35. ábra a beforgatott munkadarabot mutatja a szelepfurat fúrása előtt.



35. ábra: A szelepfurat beforgatása a szerszám axiális tengelyébe (Saját ábra)

A következő, 36. ábra pedig a végbement szimuláció végeredményét mutatja az összes alkalmazott szerszám pályáival együtt.



36. ábra: Lefuttatott megmunkálóprogram az össze szerszámpályával (Saját ábra)

A harmadik felfogás során a teljes ciklusidő 732 másodperc, melyből 678 másodpercet a megmunkálási idő tett ki. Az egyes műveletekhez tartozó forgácsolási paramétereket a 6. táblázat tartalmazza. Az ÁFS az átlagos felületi sebességet rövidíti, amely a munkadarab percenkénti fordulatszámát optimalizálja a forgácsolási sebesség konstanson tartása érdekében.

6. táblázat: A harmadik felfogásban használt technológiai paraméterek összegző táblázata (Saját táblázat)

#	Művelet megnevezése	$v_c \left[\frac{m}{min} \right]$	$a [mm]$	$D [mm]$	$n \left[\frac{1}{min} \right]$	$f \left[\frac{mm}{min} \right]$	$C_T [s]$
14.	Nagy könnyítők nagyolása	500	3.75	-	6300	3800	261
15.	Kis könnyítők nagyolása	550	4.8	-	10500	5300	120
16.	Felfogató furatok besüllyesztése	550	5.5	28	9500	2500	21
17.	Könnyítések 5 tengelyes simítása	-	1	-	12000	2200	105
18.	Könnyítések alsó éleinek sorjázás	-	0.5	.	15000	3000	81
19.	Szelepfurat besüllyesztés	-	2	12	9000	1800	1
20.	Szelepfurat központfúrása	220	4	-	5800	1800	2
21.	Felfogató furatok központ fúrása	220	7	-	4300	1800	7
22.	Könnyítések felső éleinek sorjázás	220	7	-	9000	3500	58
23.	Felfogató furatok fúrása	250	5	12	6600	2200	18
24.	Szelepfurat fúrása	250	4	6	12500	1800	4

A marás idejét legjobban egy pontosabb előgyártmánnyal lehet csökkenteni. A könnyítő kimarások elkészítésénél a legnagyobb eltávolítandó forgácstérfogatot a préselési technológia egyszerűsítése miatt hozzáadott anyagmennyiség teszi ki. A kevesebb hozzáadással gyártott préselet drágább szerszámmal és technológiával, viszont kisebb anyag, illetve megmunkálási költséggel jár. A marás ideje nagyjából 30%-al is csökkenthető.

Az alumínium marásakor csak simító alkalmazásoknál célszerű (8-10 tömegszázalékos olajtartalmú [15]) emulziót használni a forgácselvezetés és jobb felületi minőség miatt. A magas előtolású és forgácsolási sebességű nagyolásoknál is használhatunk árasztásos és/vagy belső hűtést a hőfejlődés csökkentésére, forgácseltávolításra viszont megfelelően éles szerszámokkal dolgozva nem kötelező. [7]

Alumíniummal dolgozva is igaz az általános megállapítás, miszerint a fúrást hűtő-kenő folyadékkal kell végezni. A legjobb, a belső hűtőcsatornás porkohászati úton előállított bevonatolt keményfém csigafúró használata. A belső emulzió-hozzávezetés nagy nyomással segíti a forgácseltávolítást és növeli a folyamatbiztonságot. [7]

4. Gazdasági számítás

A forgácsoló megmunkálási költségek nettó értéke:

	Óradíj $\left[\frac{Ft}{h}\right]$	Idő [s]	Költség $\left[\frac{Ft}{db}\right]$
CNC eszterga gép	40000	429	4767
CNC 5 tengelyes maró gép	60000	732	12200
Képzett gépkezelő	5500	1161	1774
Szerszám amortizáció	25000	1161	8063
Összesen:	130500	-	26803

A feltüntetett árak megközelítőleg érvényesek, azok megmunkálással foglalkozó cégtől és darabszámtól függően eltérhetnek. Az ár továbbá nem tartalmazza a gyártástervezés plusz költségeit.

5. Összefoglalás

A szakdolgozatomban egy alumínium felni gyártástervezésével foglalkoztam. A kezdő fejezetben egy rövid bemutató után ismertettem az alumínium kerék tervezési paramétereit és anyagát, melyeket a megvalósítás során figyelembe kellett vennem. Felépítés alapján a szakmai dolgozatomat három főbb pontra osztottam.

Az első pontban a kerék modelljének elkészítése volt a célom. A megadott feltételeken kívül ügyeltem egy olyan geometria létrehozására, amely gyártási szempontból gazdaságos és megvalósítható. Szem előtt kellett tartanom az előgyártmány és a késztermék gyárthatóságát a választott technológiákkal. Ez egy olyan feladat volt, ami többszöri újragondolást és módosítást igényelt.

A második pontban az előgyártmány kialakítását és gyárthatóságát vizsgáltam végeelem módszer segítségével. Szükséges volt egy prérsszerszám metszetének nagyvonalú, részben iterációval megvalósított megtervezése. VEM szimulációval elemeztem az anyagválasztás, geometria és ráhagyások helyességét, melyek alapján el tudtam készíteni a préselt előgyártmány modelljét.

A harmadik pontban a megmunkálás tervezése volt központban. Definiáltam a szükséges szerszámokat, tokmányokat, minden műveletet részleteibe menően megterveztem a három megmunkáló programban. Meghatároztam a különböző alaksajátosságokat, 3 és 5 tengelyes szerszám pályákat, ütközéseket vizsgáltam, a nagyoló, simító, fúró és egyéb műveletek technológiai paramétereit deklaráltam, törekedtem a megmunkáló programok minél nagyobb mértékű optimalizációjára.

Végül pedig egy gazdasági számítással meghatároztam a megmunkálás nettó költségeit a felhasznált erőforrások alapján.

6. Summary

In my thesis, I dealt with the production planning of an aluminium rim. In the opening chapter, after a short presentation, I explained the design parameters and material of the aluminium wheel, which I had to take into account during the implementation. Based on the structure, I divided my professional thesis into three main points.

In the first point, my goal was to make a model of the wheel. In addition to the specified conditions, I took care to create a geometry that is economical and feasible from a production point of view. I had to keep in mind the manufacturability of the pre-manufactured product and the finished product with the chosen technologies. It was a task that required several revisions and modifications.

In the second point, I examined the design and manufacturability of the prefabrication using the finite element method. A generous design of the cross-section of a press tool, partially implemented through iteration, was necessary. Using VEM simulation, I analysed the pertinence of the choice of materials, geometry and allowances, based on which I was able to create the model of the pressed preform.

In the third point, machining planning was central. I defined the necessary tools and chucks, planned every operation in detail in the three machining programs. I determined the various shape characteristics, examined 3- and 5-axis tool paths and collisions, declared the technological parameters of roughing, smoothing, drilling and other operations, and strove to optimize the machining programs as much as possible.

Finally, I used an economic calculation to determine the net costs of the machining based on the resources used.

NYILATKOZAT

Alulírott Vámosi Milán, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gépeszmérnöki szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023. év 11. hó 02. nap


Hallgató


NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023. év 11. hó 02. nap


Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

8. Mellékletek

8.1. Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.alcoawheels.com/europe/hu/elonyok/> (2023.10.12.)
- [2] <https://www.ansys.com/> (2023.10.22.)
- [3] <https://www.cnc.hu/> (2023.10.12.)
- [4] <https://www.fraisa.com/hu/> (2023.11.02.)
- [5] <https://www.hagerty.com/media/automotive-history/ettore-bugatti-made-alloy-wheels-a-thing/> (2023.10.12.)
- [6] <https://www.iscar.com/index.aspx/countryid/1/lang/en> (2023.10.28.)
- [7] <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu> (2023.10.25.)
- [8] <https://www.theworldmaterial.com/> (2023.10.26.)
- [9] Kári-Horváth Attila, Pellényi Lajos, Szabó Lajos, Zsidai László:
Gépgyártástechnológia példatár és segédlet
- [10] Mátyási Gyula, Boór Ferenc, Hervay Péter, Kakuk Gyula, Markos Sándor, Mikó Balázs: CAM Tankönyv
- [11] Mátyási Gyula: NC technológia és programozása I.
- [12] Moharos István, Oldal István, Szekrényes András: Végeselem-módszer
- [13] Oldal I., Kátai L. Madarász I., Szabó I., Nagy I., Hervay P., Horváth R., Mikó B., Molnár L., Papp O., Piros A., Rabb L., Tóth G. N., Váradi K.: CAD Tankönyv
- [14] Pálincás Sándor, Balogh Gábor, Gyönyörű Attila: Számítógéppel segített gyártás
- [15] Valasek István, Béres János, Losonczi Zsolt, Kiss András, Kormos Ilona, Lakics L.-né, Tóth Imre: Megmunkálás Tribológia

8.2. Ábrák és táblázatok

8.2.1. Ábrák

- 37. ábra: Az alumínium kerék 3D modellje (Saját ábra)
- 38. ábra: A forgácsleválasztás folyamata (Forrás: [9])
- 39. ábra: Hő fejlődése forgácsleválasztáskor (Tribológia előadások) (Forrás: [9])
- 40. ábra: A forgácsolóerő komponensei (Forrás: [9])
- 41. ábra: Egyélű esztergakés kialakítása, élszögei és a hagyományos csúcseszterga felépítése (Forrás: [9])
- 42. ábra: Rá- és ellenirányú marás, valamint egy egytetemes marógép felépítése (Forrás: [9])
- 43. ábra: Csigafúró részei és az állványos fúrógép felépítése (Forrás: [9])
- 44. ábra: VEM szimuláció beintegrálódása a gyártástervezési folyamatba (Forrás: [12])
- 45. ábra: Vastagfalú, nagy belső nyomású cső szimulációja, balról jobbra haladva: 3D modelltől, 2D tengelyszimmetrikus modellel és 2D síkfeszültséggel megvalósítva (Forrás: [12])
- 46. ábra: Szerszám definiálása ISCAR katalógus alapján az EdgeCAM szoftverben (Saját ábra)
- 47. ábra: Tengelyszimmetrikusan kihúzott kontúr (Saját ábra)
- 48. ábra: Szelepfurat elhelyezése (Saját ábra)
- 49. ábra: Felfogató furatok (Saját ábra)
- 50. ábra: Szimulációs modul kiválasztása a Toolbox-ból (Saját ábra)
- 51. ábra: Présszerszám síkmodellje és az alumínium pogácsa elhelyezése a DM modulban (Saját ábra)
- 52. ábra: Baloldalon: X38CrMoV5-3 és a jobboldalon: AlMg1SiCu (Saját ábra)
- 53. ábra: A Static Structural modul szimulációs környezete (Saját ábra)
- 54. ábra: Súrlódó kontakt beállítása az álló szerszám és a munkadarab között (Saját ábra)
- 55. ábra: A szimulációval kapott préselési folyamat (Saját ábra)
- 56. ábra: Az előgyártmány modellje (Saját ábra)
- 57. ábra: A 6061 T6 általános hőkezelési diagramja (Saját ábra)
- 58. ábra: Baloldalon a belső, jobboldalt pedig a külső megfogásra használt tokmány (Saját ábra)
- 59. ábra: Befogás paramétereit és a felfekvő felületek (pirossal) (Saját ábra)
- 60. ábra: Központfurat elkészítéséhez alkalmazott szerszám pályák (Saját ábra)
- 61. ábra: A külsőoldali palástfelület és beszúrás esztergálása (Saját ábra)

62. ábra: Az alumínium kerék külső megmunkált felületei és az alkalmazott szerszám pályák (Saját ábra)

63. ábra: A külső befogás paraméterei (Saját ábra)

64. ábra: Külsőoldal kontúrkövető forgácsolása (Saját ábra)

65. ábra: Az alumínium kerék belső megmunkált felületei és az alkalmazott szerszám pályák (Saját ábra)

66. ábra: Megfogási paraméterek a maróprogram generálásához (Saját ábra)

67. ábra: A nagyoló marások és felfogató furatok besüllyesztése után kapott előgyártmány (Saját ábra)

68. ábra: Öttengelyes marás alkalmazása ferde oldalfelületeken (Saját ábra)

69. ábra: Alsó élek sorjázása (Saját ábra)

70. ábra: A furatközpontok és a felső élek sorjázása 90°-os központozóval (Saját ábra)

71. ábra: A szelepfurat beforgatása a szerszám axiális tengelyébe (Saját ábra)

72. ábra: Lefuttatott megmunkálóprogram az össze szerszám pályával (Saját ábra)

8.2.2. Táblázatok

7. táblázat: Az első felfogás műveleti sorrendje (Saját táblázat)

8. táblázat: Az első felfogás során használt technológiai paraméterek összegző táblázata (Saját táblázat)

9. táblázat: A második felfogás műveleti sorrendje (Saját táblázat)

10. táblázat: A második felfogás során használt technológiai paraméterek összegző táblázata (Saját táblázat)

11. táblázat: A harmadik felfogás műveleti sorrendje (Saját táblázat)

12. táblázat: A harmadik felfogásban használt technológiai paraméterek összegző táblázata (Saját táblázat)

8.3. EN AW 6061 T6 fontosabb anyagjellemzői

Tömegszázalékos kémiai összetétel:

Al	Mg	Si	Cr	Mn	Ti	Cu	Zn	Fe	Egyéb
95,8 –	0,8 –	0,4 –	0,04 –	max	max	0,15 –	max	max	max
98,6	1,2	0,8	0,35	0,15	0,15	0,4	0,25	0,7	0,15

Sűrűség: $\rho = 2710 \frac{kg}{m^3}$

Szakítószilárdság: $R_m = 310 MPa$

Folyáshatás: $R_{eH} = 275 MPa$

Nyíró szilárdság: $\tau_{ny} = 207 MPa$

Young modulus: $E = 68,9 GPa$

Szakadási nyúlás: $A = 10 \%$

Poisson tényező: $\mu = 0,33$

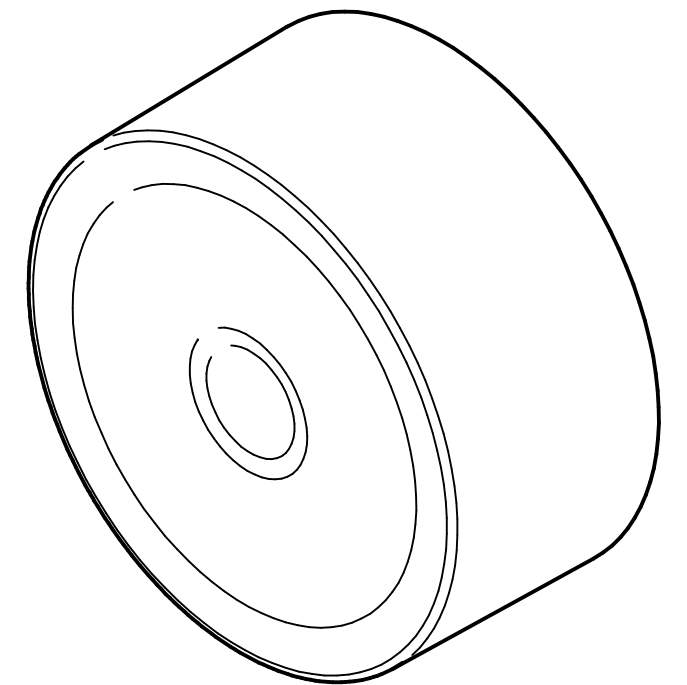
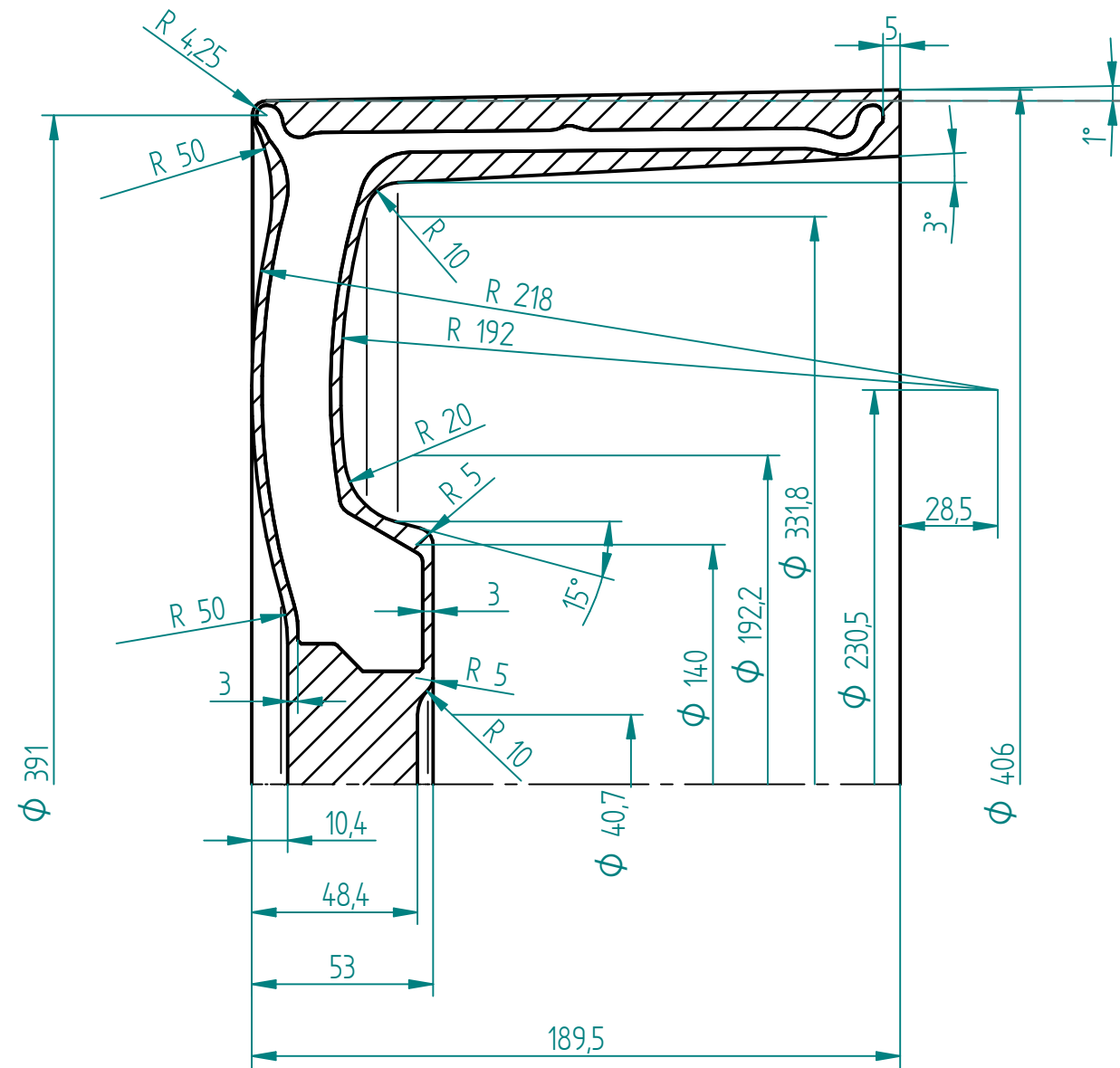
Keménység: $95 HB$

8.4. Alkalmazott szerszámok

Felfogás #	#	Művelet megnevezése	Lapka	Szár
1. OD Esztergálás	1.	Fúrás	SOMT 100408-DT	DR063>066-165-50-10/11CA
	2.	Furat nagyolás	VCGT 220520-DW	A40U SVLFCL-22
	3.	Furat simítás	VCGT 220520-DW	A40U SVLFCL-22
	4.	OD Homlok nagyolás	GIPA 8-35V-1.20-D	GHVL 25-8
	5.	OD Palást nagyolás	GIPA 8-35V-1.20-D	GHVL 25-8
	6.	OD Homlok simítás	FSPA 80-40YZ	FSHDR 25-8
	7.	Beszúrás kinagyolása	FSPA 80-40YZ	FSHDR 25-8
	8.	OD Palást simítás	FSPA 80-40YZ	FSHDR 25-8


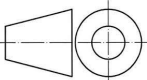
Felfogás #	#	Művelet megnevezése	Lapka	Szár
2. ID Esztergálás	9.	Alsó macskafül esztergálása	FSPA 80-40YZ	FSHDR 25-8
	10.	ID Homlok nagyolás	GIDA 80-40YZ-D	GHIUL 50C-27.5A-8
	11.	ID simítás	GIDA 80-40YZ-D	GHIUL 50C-27.5A-8
	12.	ID Palást nagyolás	VCGT 220520-DW	A40U SVLFCL-22
	13.	ID Palást simítás	VCGT 220520-DW	A40U SVLFCL-22

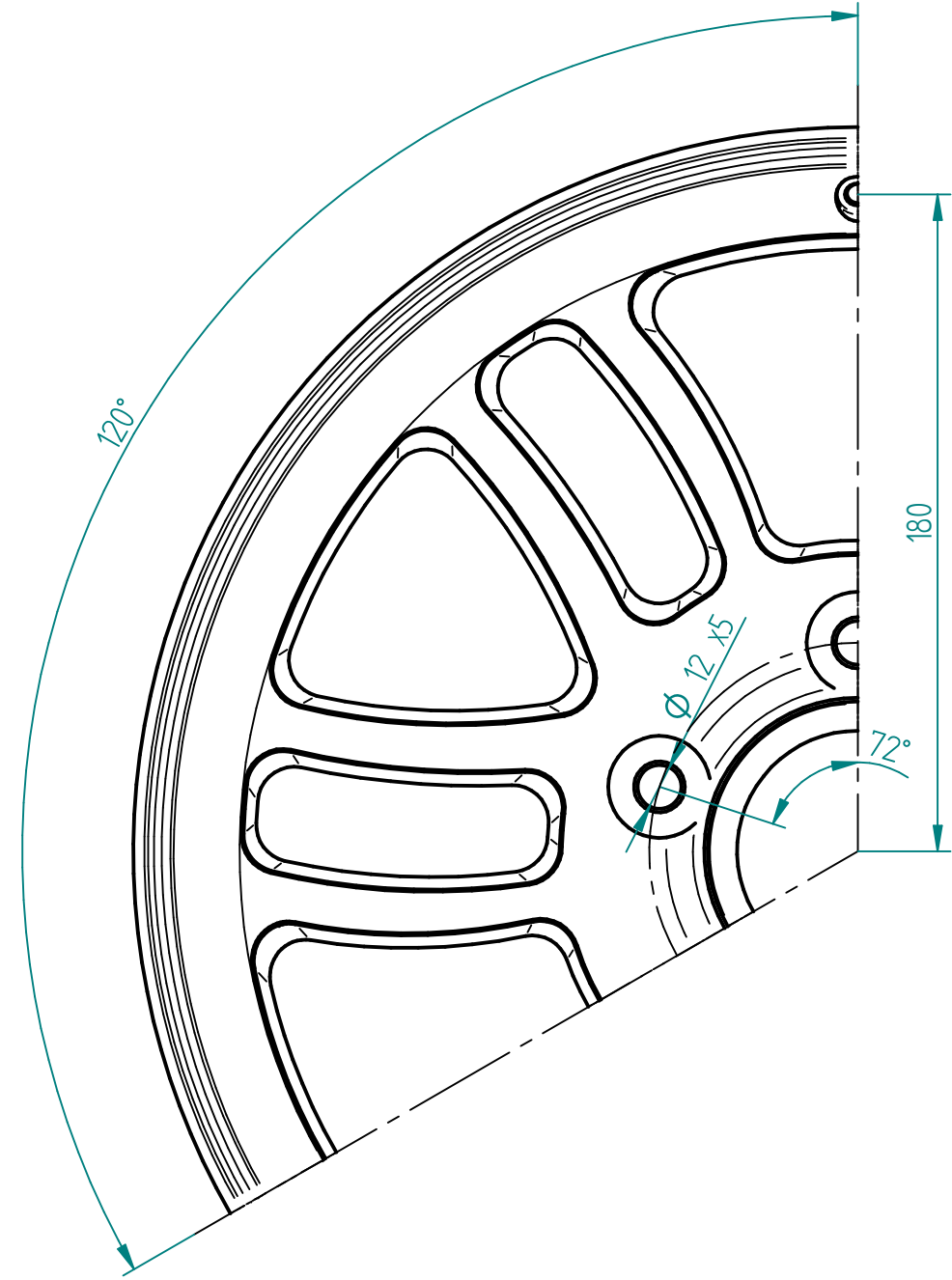
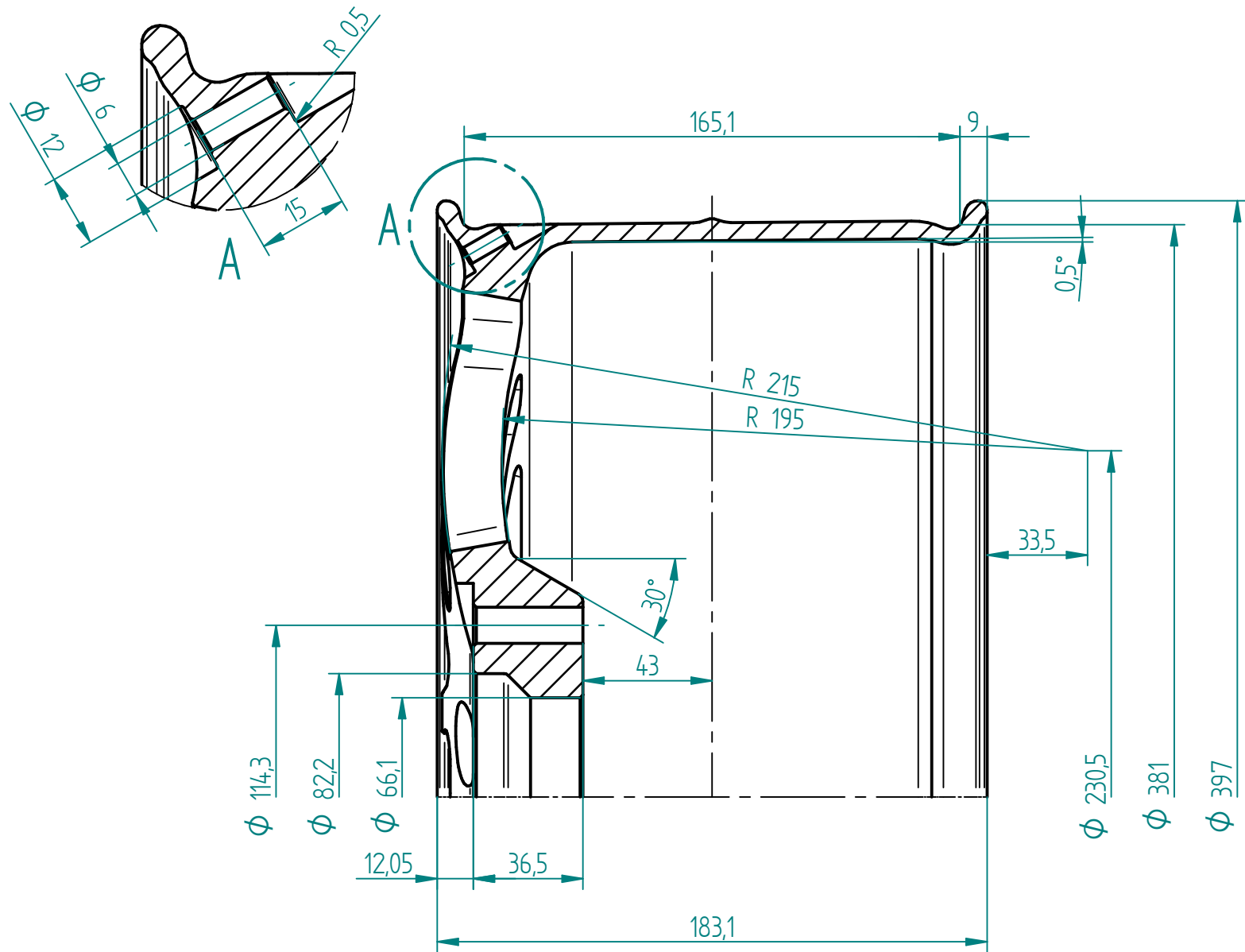
Felfogás #	#	Művelet megnevezése	Szerszám rendelési száma
3. Marás	14.	Nagy könnyítők nagyolása	15600 770
	15.	Kis könnyítők nagyolása	C 15620 610
	16.	Felfogató furatok besüllyesztése	C 15620 610
	17.	Könnyítések 5 tengelyes simítása	C 15590 501
	18.	Könnyítések alsó éleinek sorjázás	C 15590 501
	19.	Szelepfurat besüllyesztés	C 15573 300
	20.	Szelepfurat központfúrása	B92040 1200
	21.	Felfogató furatok központ fúrása	B92040 1600
	22.	Könnyítések felső éleinek sorjázás	B92040 1600
	23.	Felfogató furatok fúrása	B62011 1200
	24.	Szelepfurat fúrása	B62011 0600



M 1:5

A préseleten T6-os feszültségoldó, majd mesterségesen öregbítő hőkezelést kell alkalmazni. A rajzon csak a meghatározó méretek kerültek feltüntetésre. A többi méretet a modell tartalmazza.


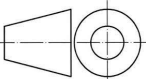
	Szakdolgozat címe: Alumínium felni megmunkálás tervezése CAM szoftverrel		Anyag: AlMg1SiCu	Méretarány: 1:2
	Tárgy: Préseletrajz		Tömeg: 21,54 kg	Dátum: 2023.11.05
Készítette: Vámosi Milán	Neptun kód: GPHKP8	Ellenőrizte:	Vetítési Mód: 	1. sz. lap Lapok száma: 2



M 1:5

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Jelöletlen letörések mérete a furatokon: 1x45°
 Jelöletlen letörések mérete a könnyő kimarásokon: 0,5x45°
 A rajzon csak a meghatározó méretek kerültek feltüntetésre. A többi méretet a modell tartalmazza.

 MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM Műszaki Intézet	Szakdolgozat címe: Megmunkálás tervezése CAM szoftverrel	Anyag: AlMg1SiCu	Méretarány: 1:2
	Tárgy: Megmunkált Kerék Rajz	Tömeg: 7,46 kg	Dátum: 2023.11.05
Készítette: Vámosi Milán	Neptun kód: GPHKP8	Ellenőrizte:	Vetítési Mód: 
		2. sz. lap	Lapok száma: 2