



MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



SZERSZÁMGÉPEK INTÉZETI TANSZÉKE
ANYAGSZERKEZETTANI ÉS ANYAGTECHNOLÓGIAI INTÉZET

DIPLOMATERV

Feladat címe:

Kovácshegerlési technológia és szerszámtervezés

Készítette:

Búdi László

*MSc szintű, gépészmérnök szakos
CAD/CAM szakirányos hallgató*

Tervezésvezető:

CSERJÉSNÉ SUTYÁK ÁGNES

mérnök tanár

Miskolci Egyetem Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet

Konzulensek:

LUKÁCS ZSOLT

egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet

2014.Május

Tartalomjegyzék

Eredetiségi nyilatkozat	2
Bevezetés, célkitűzések megfogalmazása	3
1. A technológia ismertetése	5
1.1 Hengerlési technológia.....	5
1.2 A Keresztékes hengerlés technológiája	7
1.3 Szerszámgeometria	8
1.4 A hengerlés hibalehetőségei	10
1.4.1 Csúszás (Slip)	10
1.4.2 Felületi hibák	11
2. A kovácshengerelt tengely technológiai tervezése.....	13
2.1 A szerszám előtervezése	14
2.2 Kézi számítás eredményei.....	24
2.3 A Szerszám tervezése	26
2.3.1 PTC Creo 2.0 bemutatása	26
2.3.2 A szerszám geometriai modelljének előállítása.....	27
3. A hengerlési folyamat végeselemes modellezése	38
3.1 A végeselem módszer kialakulása	38
3.2 Programbemutató.....	40
3.2.1 ANSYS Workbench	40
3.2.2 Deform.....	40
3.2.3 QForm.....	43
3.2.4 Simufact forming.....	45
3.3 A szerszámpróba Deform 3D segítségével	47
4. Összefoglalás.....	54
Köszönetnyilvánítás.....	55
Summary.....	56
Irodalomjegyzék	57

Eredetiségi nyilatkozat

Alulírott; Neptun-kód:.....

a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának végzős szakos
hallgatója ezennel büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában nyilatkozom és
aláírással igazolom, hogy

.....
című szakdolgozatom/diplomatervem saját, önálló munkám; az abban hivatkozott
szakirodalom

felhasználása a forráskezelés szabályai szerint történt.

Tudomásul veszem, hogy szakdolgozat esetén plágiumnak számít:

- szószerinti idézet közlése idézőjel és hivatkozás megjelölése nélkül;
- tartalmi idézet hivatkozás megjelölése nélkül;
- más publikált gondolatainak saját gondolatként való feltüntetése.

Alulírott kijelentem, hogy a plágium fogalmát megismertem, és tudomásul veszem, hogy
plágium esetén szakdolgozatom visszautasításra kerül.

Miskolc,.....évhónap

.....

Hallgató

Bevezetés, célkitűzések megfogalmazása

A kovácsolási technológia napjainkban igen széles körben elterjedt fémalakító eljárás. Ez annak köszönhető, hogy a folyamat gyors, ugyanakkor pontos és szilárdságnövelő hatása is van. Továbbá a munkadarabokat úgy készítik el, hogy a lehető legkevesebb anyagot kelljen leválasztani a soron következő megmunkálásokban, ennek köszönhetően a hulladékképződés minimálisra csökkenthető.

A kovácsolás egyik speciális fajtája a keresztékes megleghengerlési technológia, mellyel forgásszimmetrikus tengelyeket gyártanak. A folyamat előnye szintén a nagy termelékenység, szilárdság-és kopásállóság növelés és a hulladékcsökkentés. Ez utóbbi jóval nagyobb lehet, mint a hagyományos kovácsolási technológiáknál, függően az eljárás módjától.

A technológia megismerésének és tanulmányozásának lehetőségét szakmai gyakorlatom keretein belül, a mezőkövesdi székhelyű Kovács Vegyipari Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. biztosította.

A vállalat bemutatása:

A cég elődje, az 1970-es évek közepétől folyamatosan fejlődött kisebb családi vállalkozásból egy 80 alkalmazottat foglalkoztató és 1000 négyzetmétert meghaladó modern vállalattá, ami Kovács Kft. néven 1993-ban lett alapítva. Napjainkban több mint 200 dolgozóval, kb. 16.000 m² –en folyik a termelés, hogy különböző esztergált, mart és kovácsolt termékeket állítson elő helyi és külföldi cégek számára. Jelenleg az alapító család két generációja egy mérnöki gárda támogatásával széles körben gyárt alkatrészeket elsősorban az autóipar számára. A vállalat nagy hangsúlyt fektet a legmodernebb technológiák alkalmazására, ügyfeleinek magas szintű kiszolgálására, így a minőség biztosítása érdekében az ISO/TS 16949:2002 szerint tanúsított minőségirányítási rendszert működtet. A cég által gyártott főbb alkatrészek szivattyútengelyek, fogaskerék-, nyeles kerék-, főtengely-, előtét-tengely előgyártmányok, kuplungtárcsák. [1]

A nyári szakmai gyakorlatom során jó szakmai kapcsolat alakult ki a cég mérnökgárdájával, ezért diplomamunkám témáját is a cég egy ipari feladata szolgáltatta. Diplomatervem konkrét témája egy kovácshengertő szerszám megtervezése. Az elkészítendő alkatrész egy sebességváltó főtengelyének előgyártmánya, amely további megmunkálási- és szerelési folyamatokat követően épül be a váltóműbe. A tervezés nem egyszerű feladat, hiszen az alakítás közben lejátszódó folyamatok nehezen definiálhatóak,

valamint az erőszükséglet meghatározására is csak közelítő megoldások léteznek, ezért az eljárást modellezéssel fogom elemezni.

A dolgozat első részében a fémalakító eljárásokat ismertetem, majd a terület folyamatos szűkítésével elhelyezem a keresztékes hengerlési technológiát az alakító eljárások között. Következő lépésben magát a keresztékes hengerlés technológiáját, szerszámgeometriát és azok jellemzőit, valamint a folyamat hibalehetőségeit mutatom be.

A második részben ismertetem a szerszám technológiai tervezését, a geometriájának meghatározásához szükséges képleteket, tapasztalati összefüggéseket, majd a tengely első lépcsőjének kialakításához szükséges számításokat végzem el. Ezt követően néhány, az iparban is jellemző szögpaírok eseteire is megvizsgálom az eredményeket.

Végül képekkel illusztrálva és szöveges magyarázat segítségével elkészítem a teljes szerszámot. Az elkészült szerszám első felületalakító részét kiemelem, és csak ezt használom fel szimulációs környezetben való vizsgálatra idő és erőforrás csökkentése érdekében. A kapott eredményeket összehasonlítom az általam számított eredményekkel, és levonom a következtetéseket.

1. A technológia ismertetése

Napjainkban számos megmunkálási módot alkalmaznak a különböző anyagú, méretű és bonyolultságú termékek előállítására. Ezeket két fő csoportba sorolhatjuk:

- forgácsleválasztásos
- forgácsleválasztás nélküli anyagleválasztás

A forgács nélküli anyagleválasztással készülő termékek jelentősége fokozatosan növekszik, megcélózva az olcsó és egyben jó minőségű gyártást. A forgács nélküli anyagleválasztás technológiái:

- alakítások
- hengerlés
- extrudálás
- dróthuzalok

A kovácsolás is egy alakadó technológia, amely erő alkalmazásával képlékeny alakváltozást idéz elő. Ennek hatására az előgyártmány felveszi a szerszám alakját. A hengerlés technológiája hasonló elven működik, annyi különbséggel, hogy az alakadás görgős szerszám segítségével történik, mely a saját tengelye körül forog [2].

1.1 Hengerlési technológia

A fémek képlékeny alakítási eljárásai közül a legnagyobb mennyiséget hengerléssel állítják elő, bár ez lényegesen fiatalabb eljárás, mint a kovácsolás. Az alakítást végző forgó hengerek a hengerállványban helyezkednek el. Az adott termék hengerlésére telepített – egy vagy több hengerállványból álló – egységet hengersornak nevezik. A hengersorhoz egyéb, olyan műveleteket végző egységek is kapcsolódnak, amik nélkül a hengersor nem tud dolgozni (pl. a darabot felmelegítő és lehűtő egységek, a kikészítő és hőkezelő részlegek). Ennek a komplexumnak hengermű a neve. A hengerelt termékek alak- és méretválasztéka rendkívül változatos. A méretek alsó határát az akár 0,007 mm vastagságú hengerelt fóliák, felső határát pedig az 1 méter körüli gerincmagasságú I-tartók képviselik. A hengerlést végezhetik melegen és hidegen, de az alakítás első fázisa mindig meleghengerlés. A meleghengerlés kiinduló anyaga csaknem kizárólag a folyamatosan öntött buga. A korábbi évtizedekben a kokillába öntött tuskó volt az alapanyag, de ez a módszer a folyamatos öntés előretörésével mára csaknem teljesen kiszorult a hengerművelekből. A termékek egy része – a képlékeny alakítást tekintve is – előtermék

jellegű, ezeket más technológiákkal továbbalakítják, csak kisebb részüket (például a vasúti síneket, betonacélokat, tartószelvényeket stb.) használják fel közvetlenül.

A hengerelt termékeket, illetve eljárásokat több szempont szerint is csoportosíthatjuk. A hengerelt anyag újrakristályosodási hőmérséklete alapján megkülönböztetnek:

- meleghengerlést és
- hideghengerlést [2].

Hengerlési folyamat jellemzői:

A darabnak a hengerek közötti áthaladását *szűrésnek* nevezik. A szűrés során a darab magassága csökken, hosszúsága nő, szélessége is megnő valamilyen mértékben. Az alakváltozásra a magasságcsökkenés és a megnyúlás a jellemző. Az alakváltozást a térfogat-állandóság törvénye alapján lehet értelmezni:

$$h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = h_2 \cdot b_2 \cdot l_2$$

Az R sugarú hengerek és a darab érintkezési felülete a nyomott felület, ami a nyomott ív hossza és a közepes darabszélesség szorzata. A nyomott felület számításához a hengerlési gyakorlatban a nyomott ív vízszintes vetületét (l_d) használják:

$$l_d \approx \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

Ahol $\Delta h = h_1 - h_2$ a magasságcsökkenés.

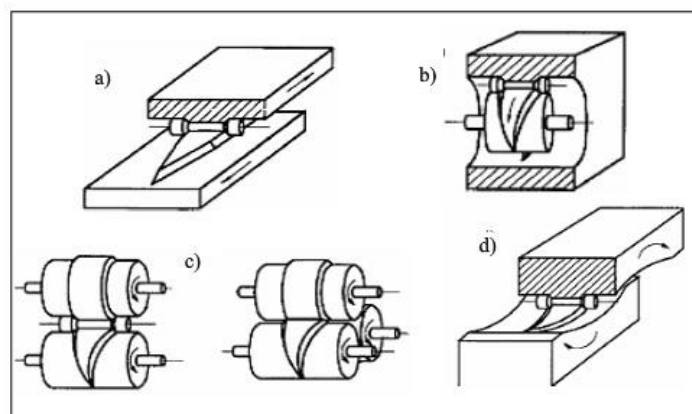
Az alakváltozás jellemző mérőszáma a nyújtási tényező, ami a ki- és a befutó keresztmetszetek vagy hosszúságok hányadosaként értelmezhető:

$$\lambda = \frac{A_1}{A_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Sajátosak a hengerlés sebességviszonyai. Hengerlési sebességnek a hengerrésből kilépő darab sebességét értjük. A darab belépési sebessége ettől kisebb, a sebességviszonyokat az $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ összefüggés írja le. A be- és kilépési sebesség között különbség van, a henger felületén csak egy pont (vonal) van, ahol a darab a henger kerületi sebességével halad. Ez a semleges vonal, ami előtt hátramaradás, utána viszont előresietés tapasztalható. A hengerlés gyakorlatában a hengerlési sebességet és a hengerek kerületi sebességét többnyire azonosnak veszik [2].

1.2 A Keresztékes hengerlés technológiája

Az alakítási technológiák folyamatos kutatási területét képezik a jobb és hatékonyabb eljárások kifejlesztésének, melyek jó minőségben alacsony anyag- és energiafogyasztással dolgoznak. Ez részben megfigyelhető a fémalakítási technológiák között a modernnek számító keresztékes hengerlési technológiánál is. A keresztékes hengerlés a meleghengerlés egy speciális fajtája, amely egy innovatív technológia, számos előnnyel a hagyományos megmunkálásokkal szemben. A technológia az 1960-as években alakult ki, azóta nagy népszerűsége tett szert, elsősorban az USA-ban, főként az autóipar területén. Hasonlóan a többi hengerléshez, a folyamat jellemzője a nagy precizitás (átmérő tűrése akár 0,4 mm is lehet), jó felületminőség ($R_a=5\mu\text{m}$) és nagyobb szilárdság (kifáradási határa 1,5-2-szer, kopásállósága 20-40%-al nagyobb). Az anyagmegtakarítás a többi eljáráshoz képest 20-60%-al is nagyobb lehet, függően az alakítás módjától. Az eljárással elsősorban tengelyszimmetrikus alkatrészeket, főként lépcsős tengelyeket alakítanak ki, egyszerre akár többet is, függően a munkadarabok méretétől. A deformálódás bonyolultsága miatt a folyamat analízisére közelítő megoldások és tapasztalati megfontolások szolgáltatnak eredményt. A technológia lényege, ugyanúgy, mint a többi kovácsolási technológiánál, hogy a szerszám adja meg az alkatrész kívánt végleges alakját. A szerszám kialakításának típusait az 1. ábra szemlélteti. A munkadarab megközelítőleg 1100 - 1250°C-ra van felhevítve és az alakadás a szerszámhengerek egy fordulatára történik [3],[4].



1. ábra. Lehetséges szerszámmegoldások

a) sík, b) egy hengeres, c) több hengeres, d) homorú

A technológia előnyei:

- Energiatakarékos eljárás: hatékony, egyszerre több ugyanolyan alkatrész is gyártható
- Nagy termelékenység: a folyamat sebessége 5 – 20-szor nagyobb, mint más kovácsolásé. Ez is energia megtakarítást eredményez.
- Környezetbarát eljárás: a szerszám nem igényel olaj, vagy egyéb hűtést, valamint működés közben nagyon alacsony a zajszint.
- Jó termékminőség: a felhevített munkadarab a képlékeny folyással eléri a kívánt alakot. Az anyagszerkezet folytonos marad, valamint szemcseszerkezete finomodik, amely növeli a szilárdságot.
- Nagyobb anyagkihasználtság: a hengerlés lecsökkenti a nyersanyag árát azáltal, hogy az anyagvesztés 10% körüli, szemben más eljárásokkal, ahol ez az arány akár 40% fölé is emelkedhet.
- Automatizálható: további költségcsökkentést eredményez, kevesebb dolgozóra, valamint kisebb munkaterületre van szükség [3],[4].

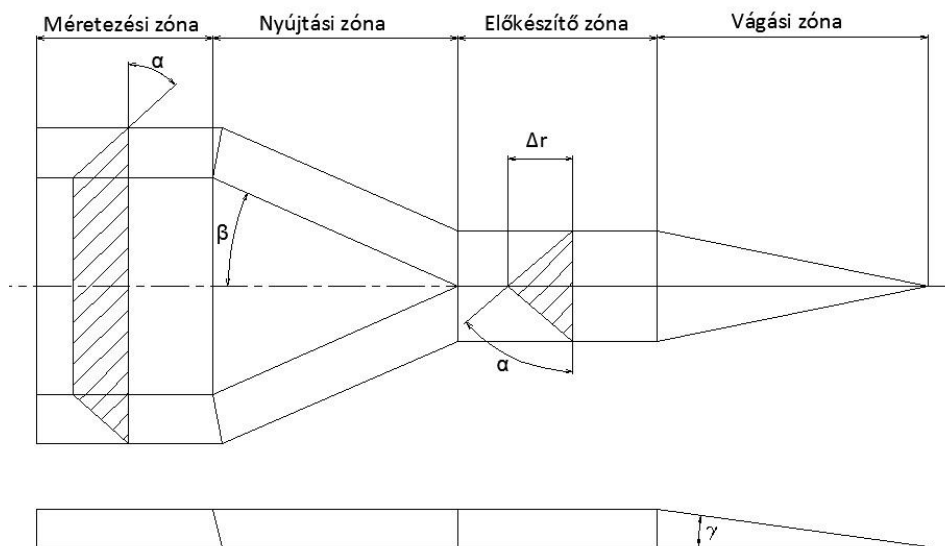
1.3 Szerszámgeometria

Az alapanyag deformációja a szerszám alábbi geometriai paramétereitől függ:

- Alakítás szöge
- Nyújtás szöge
- Emelkedési szög
- Hengerlési mélység
- Ék hossza

Ezeket a későbbiekben részletesen bemutatom.

A szerszámot négy jellegzetes zónára lehet felosztani (2. ábra):



2. ábra. Szerszám geometria

- **Vágási zóna:** A szerszám ezen része alakítja ki a kívánt vágási mélységet, azaz fokozatosan csökkenti le a kiindulási átmérőt a kívánt átmérőre.
- **Előkészítő zóna:** Beállítja a lecsökkenteni kívánt alakítandó felületet.
- **Nyújtási zóna:** Megadja a munkadarab végső alakját. Az alakítási zóna hossza és az alakítási szög kiemelt fontosságú. Ezek helytelen megtervezése esetén nem a kívánt geometriájú darabot kapjuk.
- **Méretezési zóna:** Eltünteti a korábbi műveletekben keletkezett görbületeket, egyenetlenségeket. Az oldalkések gyakran egyesítve vannak a méretezési zónával annak érdekében, hogy eltávolíthassuk a kovácsolt darabot a deformálódott végtől, több darabos megmunkálás esetén pedig a kovácsolt darabok egymástól való elválasztását biztosítja.

Szerszám jellegzetes szögei (2. ábra):

- **Alakítási szög (α):** Szabályozza az érintkezési felület méretét a szerszám és a munkadarab között. Ebben a zónában a kisebb alakítási szög élesebb szerszámot jelent, amely növeli az érintkezési felületet és kisebb lokalizált képlékeny alakváltozást eredményez. A nyújtási és méretezési zónában az alakítási szög a tengely vállainak megfelelő geometriát követi.
- **Nyújtási vagy kiterjesztési szög (β):** Szintén nagyon fontos paraméter az alakítási folyamatban, ugyanis ez határozza meg az axiális irányú deformáció mértékét.

Nagyobb β nagyobb nyúlást eredményez. Ebben az esetben a munkadarab gyorsan növekszik axiális irányba, amely meggyorsítja a belső üregek kialakulását a vágási és előkészítési zónában [3], [4].

1.4 A hengerlés hibalehetőségei

A hengerlési folyamat során felmerülő hibák négy csoportba sorolhatók:

- Csúszás (Slip)
- Helytelen alakú munkadarab
- Felületi hibák
- Anyag belsejében keletkező hibák

1.4.1 Csúszás (Slip)

Csúszás a szerszám és munkadarab forgási sebességének különbségéből adódik. Ez a jelenség helytelen alakadáshoz vezet, így a kész darab keresztmetszete is eltérő lesz a várt eredménytől. A csúszás igen érzékeny a súrlódási tényezőre, ami azt jelenti, hogy a súrlódási tényező csökkenésével a csúszás jelentős mértékben növekszik. A kritikus súrlódási tényező értéke, aminél a csúszás még elkerülhető 0,3-re tehető. Ettől kisebb értéknél a csúszás veszélye áll fenn. Azonban ez még kevés lehet önmagában, így a szerszám egyes felületire fogazást készítenek, amivel kiküszöbölhető a csúszás.

Az alakítási szög (α) helyes megválasztása is fontos, ugyanis minél nagyobb a szög értéke, az érintkező (alakítandó) felület annál kisebb lesz, ami szintén csúszást eredményez. Korábbi tapasztalatok alapján a szög értéke $\alpha > 30^\circ$ esetén okoz gondot, viszont az előkészítési és méretezési zónában nem meghatározó a szerepe, hiszen ott nem történik jelentős képlékeny alakváltozás.

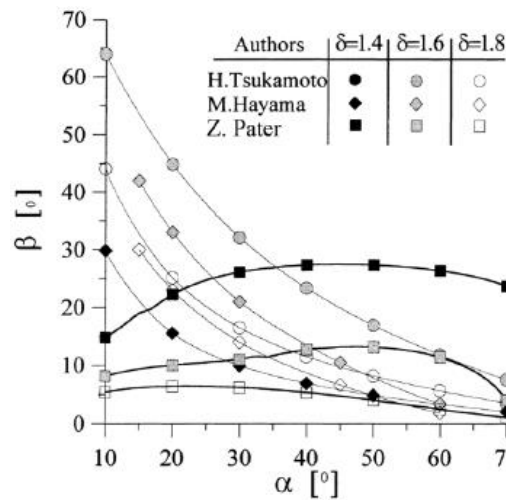
Másrészről viszont az érintő- és normál irányú erők biztosítják a munkadarab forgását a szerszámok között. A megfelelő alak eléréshez szükséges, hogy a két erő egyensúlyban legyen egymással. Ha a tangenciális erő nagyobb, mint a normál irányú, abban az esetben a munkadarab csúszik a szerszámok felülete között [3],[4].

1.4.2 Felületi hibák

A felületi hibák elsősorban a csavarvonalyszerű hornyok, elvékonyodás, nyakképződés, átfedések keletkezése.

Csavarvonalyszerű hornyok tulajdonképpen repedések, amelyek a felület közelében lévő belső repedések felnyílásával keletkeznek.

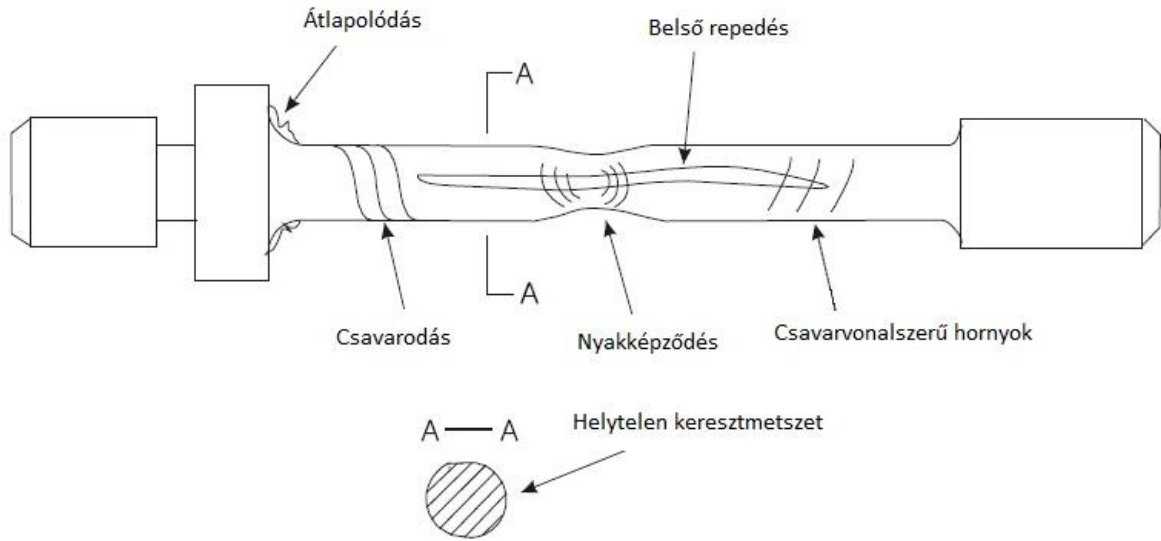
Az alakítás során nyakképződési probléma merülhet fel a munkadarab túlzott vékonyítása következtében. Főként akkor észlelhető a jelenség, ha a húzófeszültség nagyobb, mint az anyag szakítószilárdsága. Az anyagfolyás folyamatos, amíg a munkadarab el nem törik. A törés a munkadarab középső részén fordul elő, ahol a húzófeszültség a legnagyobb. A nyakképződést elősegíti továbbá az alakítási és nyújtási szög, valamint a felületcsökkentés növelése, melyek kapcsolatát a 3. ábra szemlélteti. A nyakképződés elkerülésére léteznek közelítő képletek.



3. ábra. Nyakképződési határok

Belső anyaghibák jellemzően a törések és az üregesedés. Ezek kialakulásáért a munkadarab belsejében ébredő túlzottan nagy húzófeszültség, valamint a nyírási zónában kialakuló nagy nyírófeszültség a felelős [3],[4].

A munkadarabok jellemző hibáit a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. Munkadarab hibái

2. A kovácshengerelt tengely technológiai tervezése

Az általam választott tengely a 1299-404-059 rajzszámú sebességváltó főtengely kovácsolt előgyártmánya. Anyaga ZF7B rozsdamentes speciális szerkezeti acél, melynek jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Anyagnév	DIN	AISI					
ZF7B	20MnCr5	5120					
Kémiai összetétel (tömeg %)							
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	S
0,182 %	0,236 %	1,256 %	1,247 %	0,07 %	0,157 %	0,03 %	0,03 %
Cu	V	Ti	P				
0,187 %	0,006 %	0,002 %	0,012 %				

Az anyag alkalmazását tekintve elsősorban az autóiparban előforduló nagy terhelésű komponensek jellemző anyaga, mint például fogaskerekek, tengelyek, főtengelyek, kapcsoló rudak, bütykös tengelyek [6].

Az alakítást végző gép jellemzői:

Gépadatok: [5]

- Típus: ULS 160 RA
- Megmunkált félkész termékek átmérője: 50-160 mm
- Félkész termékek maximális hossza: 650 mm
- Hengerek fordulatszáma: 5-10 1/min
- Hengerek átmérője: 1000 mm
- Hengerek szélessége: 800 mm
- Max. csavaró nyomaték egy hengerre: 175 kNm
- Tömeg: 62 t
- Gépmagasság: 4317 mm
- Gép szélessége: 5052 mm
- Gép hossza: 4748 mm



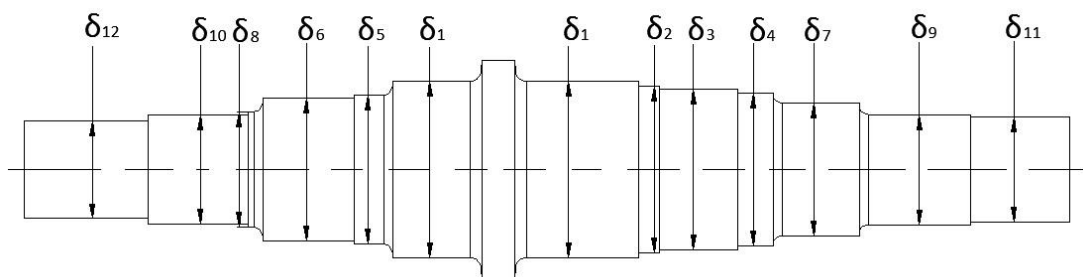
5. ábra. Hengerlő gép

2.1 A szerszám előtervezése

Alkalmazott képletek, összefüggések

A szerszám előtervezésének alapját a kiinduló anyaghoz viszonyított átmérőviszonyok határozzák meg.

- Átmérő viszony:



6. ábra. Átmérő viszonyok

$$\delta = \frac{d_0}{d} \quad (1)$$

Ahol:

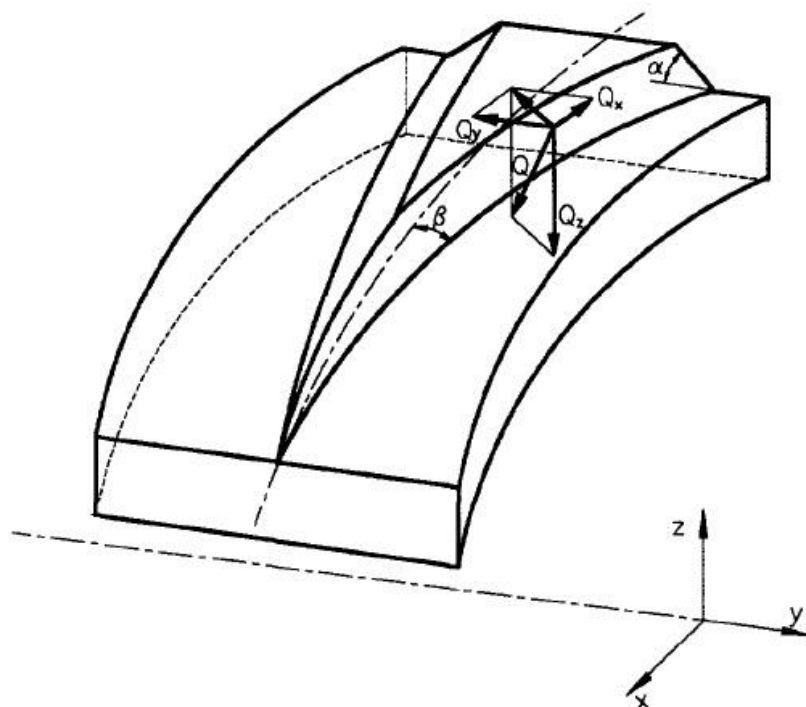
d_0 - a kiinduló átmérő

d – az alakítás utáni átmérő

A kiinduló nyersdarab átmérője 100 mm, mivel a kialakítandó tengely legnagyobb átmérője is ennyi. A lépcsők kialakításánál a kiinduló átmérőt mindig az előzőleg kialakított átmérő képzi.

Az alakváltozási zóna geometriai komplexitása és a deformálódás mechanizmusa miatt a folyamat elemzése igen bonyolult. Ez az oka, hogy a legtöbb kiadvány tapasztalati módszereket alkalmaz a hengerlési erő meghatározására. A keresztékes hengerlés változó paramétereinek közötti összefüggések az extrudálási folyamatra visszavezetve kerülnek meghatározásra. Ez a megoldás az úgynevezett felső-határ (upper-bound) módszer.

A hengerlési folyamathoz fontos tudnunk a hengerlő erőt és a hengerlési nyomatékot. Ez nem csak a megfelelő gépcsoport vagy eszközök kiválasztását teszi lehetővé, hanem az automatizálás lehetőségeit is meghatározza. A hengerlési erőt és komponenseit a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra. Hengerlő erő és komponensei

Ezek az erőkomponensek a szerszám – munkadarab érintkezési felületén értelmezhetők.

Mivel az alkatrész hengeres, az alakítási felület kúpos, így a tengelyszimmetria miatt áttérhetünk henger koordináta rendszerre.

A szerszám és munkadarab érintkező felületei közötti csúszás elkerülése érdekében fontos paraméterként meg kell határozni a kritikus súrlódási tényezőt [3], [4].

▪ Kritikus súrlódási tényező

Meghatározásának alapját a 8. ábra szemlélteti:

$$T \cdot a \geq P \cdot b \quad (2)$$

Az általános összefüggés alapján: $T = \mu \cdot P$ (3)

Ezekből következik: $\mu \geq \frac{b}{a}$ (4)

Ahol:

$$a = (d_1 - D_1 \cdot \frac{1 - \cos \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{\varphi}{2}}) \cdot \cos \frac{\varphi}{2} \quad (5)$$

$$b = (D_1 + d_1) \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \quad (6)$$

Mivel φ relatíve kicsi, ezért: $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \sin \frac{\varphi}{2}$

Így:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{d_1 \cdot Z + Z^2}{D_1 \cdot (D_1 + d_1)}} \quad (7)$$

Ahol:

$$Z = \frac{d_0 - d_1}{2} \quad (8)$$

Ezekből φ számítható.

A fentebbi egyenleteket összegezve:

$$\mu^2 \geq \left(1 + \frac{d_1}{D_1}\right) \cdot \left[\frac{Z}{d_1} + \left(\frac{Z}{d_1}\right)^2\right] \quad (9)$$

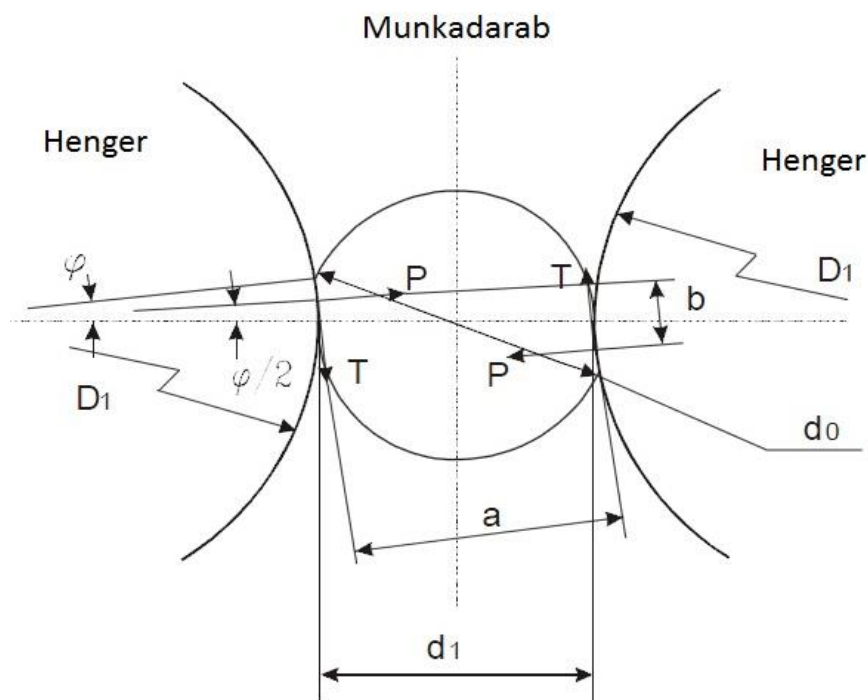
Mivel a „Z” összenyomódási érték a különböző keresztmetszetekben eltérő, ezért az alábbi módon is számítható az értéke:

$$Z = \frac{k}{2} \cdot \pi \cdot d_k \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta) \quad (10)$$

Ahol:

$$d_k = d_1 + 0,62 \cdot (d_0 - d_1) \quad (11)$$

k : relatív deformációs együttható ($0 < k \leq 1$). A $k=1$ azt jelenti, hogy a nyújtási zónában a munkadarab a teljes hosszára lesz húzva.



8. ábra. Szerszám-munkadarab viszonya alakítás közben

- A külső erő munkája a Δz_1 távolságon:

$$W_z = Q_0 \cdot \Delta z_1 = q_m \cdot \sin(\alpha) \cdot \pi \cdot \frac{d_0^2 - d^2}{4} \cdot \Delta z_1 \quad (12)$$

Ahol:

Q_0 : külső erő

q_m : felületi nyomás

- A képlékeny alakítás teljes munkája:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_0^2}{2} \cdot \sigma_0 \cdot \ln \frac{d_0}{d} (\Delta z_1 - \Delta z_2) \quad (13)$$

Ahol:

σ_0 : folyási feszültség

d_0 : kiindulási átmérő

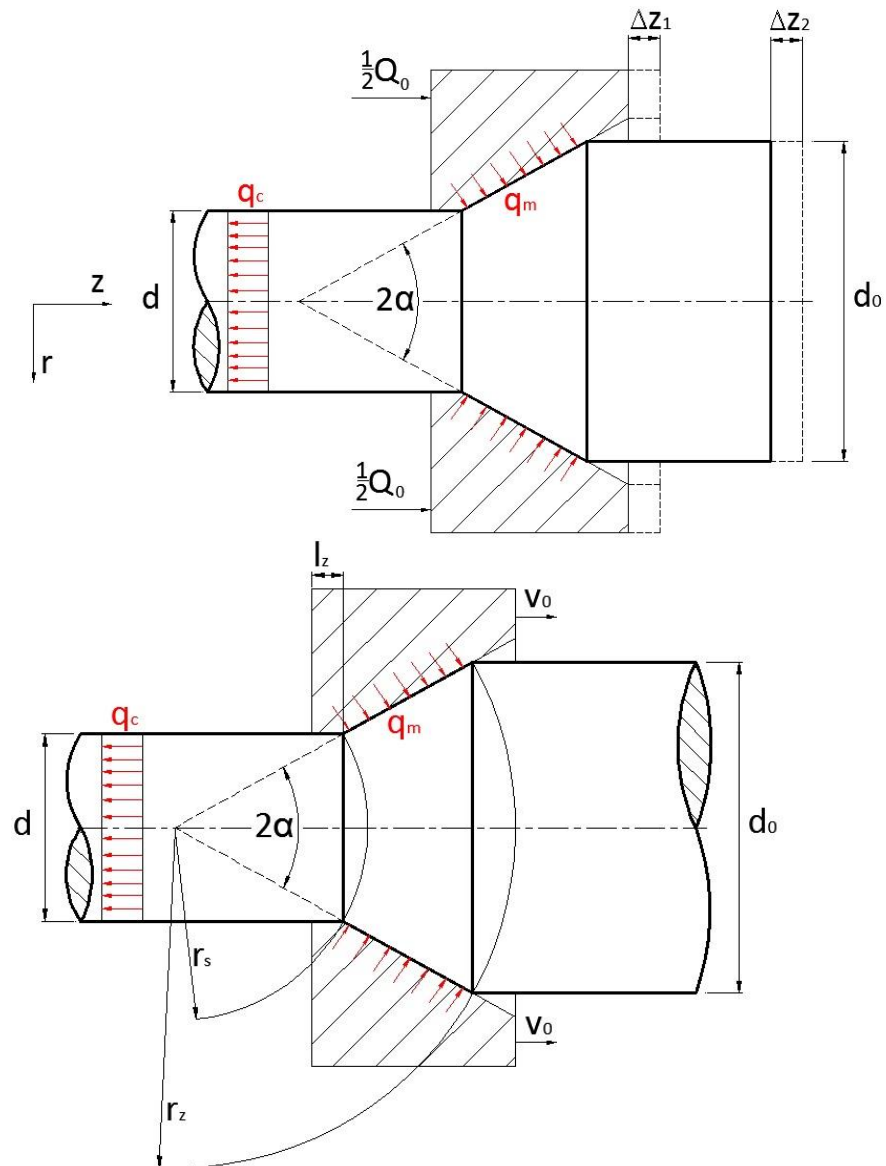
d : alakítás utáni átmérő

- Nyúlás

$$\varepsilon = \alpha \cdot \beta \cdot \Delta A \quad (14)$$

ΔA : Keresztmetszet változás

$$\Delta A = \frac{A_0 - A}{A_0} = 1 - \left(\frac{d}{d_0}\right)^2 \quad (15)$$



9. ábra. Hengeres előgyártmány kúpos csatornában végzett alakítása
(extrudálás)

- Felületi nyomás

A bevezetett- és a disszipálódott energia egyensúlyából kifejezhető a felületi nyomás dimenziótlán alakja:

$$\frac{q_m}{\sigma_0} = \frac{1}{\delta_z^2 - 1} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\left(\frac{f(\alpha)}{\sin^2(\alpha)} + \mu \cdot \operatorname{ctg}(\alpha) \right) \cdot \ln(\delta_z) + \frac{2\alpha - \sin(2\alpha)}{2 \cdot \sin^2(\alpha)} + 2 \cdot \mu \cdot \frac{l_z}{d} \right] \quad (16)$$

- Húzófeszültség:

$$\frac{q_c}{\sigma_0} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\left(\frac{f(\alpha)}{\sin^2(\alpha)} + \mu \cdot \operatorname{ctg}(\alpha) \right) \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d}\right) + \frac{2\alpha - \sin(2\alpha)}{2 \cdot \sin^2(\alpha)} + 2 \cdot \mu \cdot \frac{l_z}{d} \right] \quad (17)$$

Ahol:

$$f(\alpha) = \frac{1}{2} [\sqrt{12} - \cos(\alpha) \sqrt{1 + 11\cos^2(\alpha)} + \frac{1}{\sqrt{11}} \ln \left(\frac{\sqrt{11} + \sqrt{12}}{\sqrt{11} \cos(\alpha) + \sqrt{1 + 11\cos^2(\alpha)}} \right)] \quad (18)$$

$$\delta_z = \frac{\delta + 1}{2} \quad (19)$$

$$l_z = \frac{\pi \cdot \frac{d_0}{2} \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \lambda}{2 \cdot \delta} \quad (20)$$

- Hengerlési együttható:

$$\lambda = (2,587 - 1,577 \cdot \delta^{0,3528}) \cdot (0,00355 \cdot \alpha + 0,927) \cdot \beta^{0,0568} \quad (21)$$

- Relatív hengerlési emelkedés:

$$c = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \lambda \cdot \delta}{\delta - 1} \quad (22)$$

- Az alakítandó felület nagysága:

Ha $C \leq 1$

$$A_{xy} = \frac{2}{3} r_0^2 \frac{\cos(\beta)}{\operatorname{tg}(\alpha)} \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{r_0}{R}} \cdot \frac{\delta - 1}{\delta}} \left[1 + c \frac{\delta - 1}{\delta} \left(1 + \sqrt{\frac{2 + c \cdot \delta - c}{2 \cdot \delta}} \right) - \sqrt{\left(\frac{1 + c \cdot \delta - c}{\delta} \right)^3} \right] \quad (23)$$

$$A_{xz} = \frac{2}{3} r_0^2 \cdot \cos(\beta) \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{r_0}{R}} \cdot c \cdot \frac{\delta - 1}{\delta}} \cdot \left(1 - \sqrt{\left(\frac{1 + c \cdot \delta - c}{\delta} \right)^3} + c \frac{\delta - 1}{\delta} \right) \quad (24)$$

Ha $C > 1$

$$A_{xy} = \frac{2}{3} r_0^2 \cos(\beta) \cdot \frac{\cos(\beta)}{\operatorname{tg}(\alpha)} \cdot \frac{\delta - 1}{\delta} \cdot \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{r_0}{R}}} \cdot \left(1 + \frac{3}{2} \cdot (c - 1) + \sqrt{\frac{\delta - 1}{\delta}} \right) \quad (25)$$

$$A_{xz} = \frac{2}{3} r_0^2 \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{\delta - 1}{\delta} \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{r_0}{R}} + \frac{\delta - 1}{\delta}} \quad (26)$$

- Az alakításhoz szükséges erő:

$$Q_z = q_m \cdot A_{xy} - \tau \cdot \sin(\beta) \cdot A_{xz} \quad (27)$$

Ahol:

τ : Nyíróerő

$$\tau = \mu \cdot \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \quad (28)$$

[3],[4]

Előzetes számítások

A számításokat az első lépcsőre mutatom be részletesen, majd ezeket különböző szögértékekre is megvizsgálom, és végül összehasonlító elemzést végzek.

Kiinduló tervezési adatok:

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\beta = 8^\circ$$

▪ Átmérő viszonyok

$$\delta_1 = \frac{d_0}{d_1} = \frac{100 \text{ mm}}{79,4 \text{ mm}} = 1,259 \quad (1)$$

▪ Nyúlás

$$\varepsilon = \alpha \cdot \beta \cdot \Delta A = 20^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 8^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \left(1 - \left(\frac{79,4}{100}\right)^2\right) = 0,018 \quad (14)$$

▪ Folyási feszültség

$$\sigma_0 = 12,305 \text{ MPa}$$

▪ $f(\alpha)$

$$f(\alpha) = \frac{1}{2} \left[\sqrt{12} - \cos(20) \sqrt{1 + 11 \cos^2(20)} + \frac{1}{\sqrt{11}} \ln \left(\frac{\sqrt{11} + \sqrt{12}}{\sqrt{11} \cos(20) + \sqrt{1 + 11 \cos^2(20)}} \right) \right] = 0,203 \quad (18)$$

▪ Hengerlési együttható

$$\lambda_1 = (2,587 - 1,577 \cdot 1,259^{0,3528}) \cdot \left(0,00355 \cdot 20^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} + 0,927\right) \cdot \left(8^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}\right)^{0,0568} = 0,727 \quad (21)$$

▪ Kritikus súrlódási tényező

$$d_k = 79,4 \text{ mm} + 0,62 \cdot (100 \text{ mm} - 79,4 \text{ mm}) = 92,172 \text{ mm} \quad (11)$$

k=1

$$Z = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 92,172 \text{ mm} \cdot \tan(20^\circ) \cdot \tan(8^\circ) = 7,406 \text{ mm} \quad (10)$$

$$D_1 = 1120,6 \text{ mm}$$

$$\mu^2 \geq \left(1 + \frac{79,4 \text{ mm}}{1120,6 \text{ mm}}\right) \cdot \left[\frac{6,47 \text{ mm}}{79,4 \text{ mm}} + \left(\frac{6,47 \text{ mm}}{79,4 \text{ mm}}\right)^2\right] \quad (9)$$

$$\mu = 0,33$$

▪ Felületi nyomás

$$\delta_{z1} = \frac{\delta_1 + 1}{2} = \frac{1,259 + 1}{2} = 1,13 \quad (19)$$

$$l_{z1} = \frac{\pi \cdot \frac{79,4mm}{2} \cdot tg(20^\circ) \cdot 0,727}{2 \cdot 1,259} = 6,375mm \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \frac{q_{m1}}{12,305MPa} = \frac{2}{\sqrt{3}(1,13^2 - 1)} & \left[\left(\frac{0,203}{\sin^2(20^\circ)} + 0,33 \cdot ctg(20^\circ) \right) \ln(1,13) + \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot 20^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} - \sin(2 \cdot 20^\circ)}{2 \cdot \sin^2(20^\circ)} + 2 \cdot 0,33 \cdot \frac{6,375mm}{79,4mm} \right] \end{aligned} \quad (16)$$

$$q_{m1} = 31,484 MPa$$

▪ Húzófeszültség

$$\begin{aligned} \frac{q_{c1}}{12,305MPa} = \frac{2}{\sqrt{3}} & \left[\left(\frac{0,203}{\sin^2(20^\circ)} + 0,3 \cdot ctg(20^\circ) \right) \cdot \ln\left(\frac{100mm}{79,4mm}\right) \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot 20^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} - \sin(2 \cdot 20^\circ)}{2 \cdot \sin^2(20^\circ)} + 2 \cdot 0,3 \cdot \frac{6,375mm}{79,4mm} \right] \end{aligned} \quad (17)$$

$$q_{c1} = 12,783 MPa$$

▪ Relatív hengerlési emelkedés

$$c = \frac{\pi \cdot tg(8^\circ) \cdot tg(20^\circ) \cdot 0,727 \cdot 1,259}{1,259 - 1} = 0,567 \quad (22)$$

- Alakítandó felületek nagysága

Mivel $C < 1$, ezért:

$$A_{xy1} = \frac{2}{3} (50 \text{ mm})^2 \frac{\cos(8^\circ)}{\tan(20^\circ)} \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{50 \text{ mm}}{39,7 \text{ mm}}} \cdot \frac{1,259 - 1}{1,259}} \cdot \left[1 + 0,567 \frac{1,259 - 1}{1,259} \left(1 + \sqrt{\frac{2 + 0,567 \cdot 1,259 - 0,567}{2 \cdot 1,259}} \right) - \sqrt{\left(\frac{1 + 0,567 \cdot 1,259 - 0,567}{1,259} \right)^3} \right] \quad (23)$$

$$A_{xy1} = 842,965 \text{ mm}^2$$

$$A_{xz} = \frac{2}{3} (50 \text{ mm})^2 \cdot \cos(8^\circ) \sqrt{\frac{3}{1 + \frac{50 \text{ mm}}{39,7 \text{ mm}}} \cdot 0,567 \cdot \frac{1,259 - 1}{1,259}} \cdot \left(1 - \sqrt{\left(\frac{1 + 0,567 \cdot 1,259 - 0,567}{1,259} \right)^3} + 0,567 \cdot \frac{1,259 - 1}{1,259} \right) \quad (24)$$

$$A_{xz} = 160,944 \text{ mm}^2$$

- Nyírófeszültség

$$\tau_1 = \mu \cdot \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} = 0,3 \cdot \frac{12,305 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 2,182 \text{ MPa} \quad (28)$$

- Alakítás erőszükséglete

$$Q_{z1} = 31,484 \text{ MPa} \cdot 842,965 \text{ mm}^2 - 2,182 \text{ MPa} \cdot \sin(8^\circ) \cdot 160,944 \text{ mm}^2 \quad (27)$$

$$Q_{z1} = 26,487 \text{ kN}$$

- A külső erő munkája a Δz_1 távolságon:

$$\Delta z_1 = 55 \text{ mm}$$

$$W_z = 31,485 \text{ MPa} \cdot \sin(20^\circ) \cdot \pi \cdot \frac{(100 \text{ mm})^2 - (79,4 \text{ mm})^2}{4} \cdot 55 \text{ mm} = \quad (12)$$

$$= 1,719 \text{ kJ}$$

- A képlékeny alakítás teljes munkája:

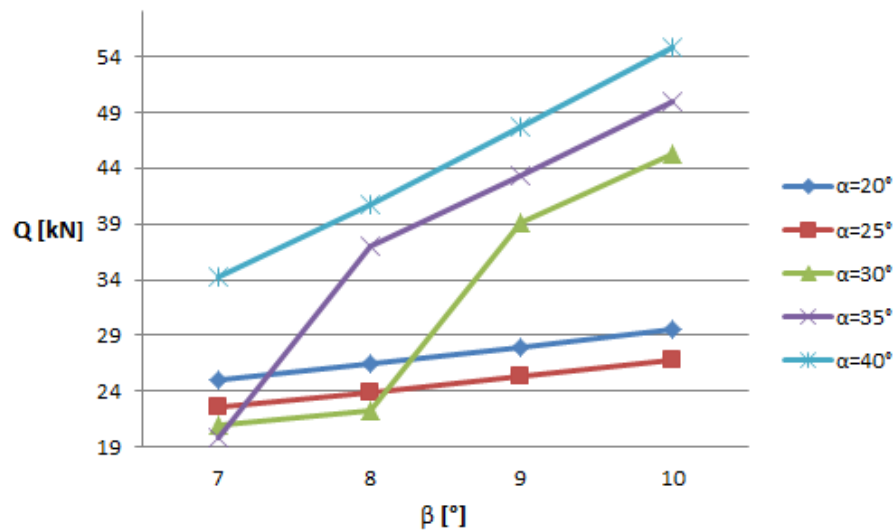
$$\Delta z_2 = 34,67 \text{ mm}$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot (100 \text{ mm})^2}{2} \cdot 12,305 \text{ MPa} \cdot \ln \frac{100}{79,4} (55 \text{ mm} - 34,67 \text{ mm}) = \quad (13)$$

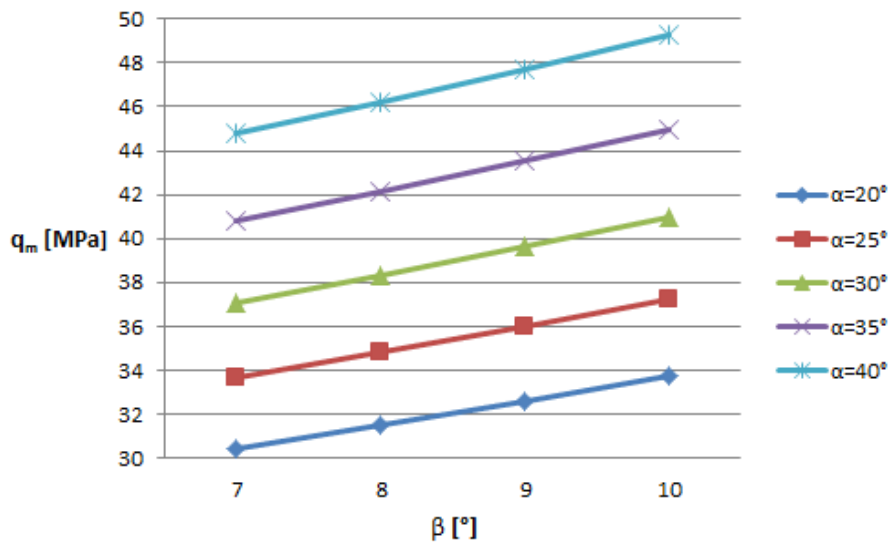
$$= 906,3 \text{ J}$$

2.2 Kézi számítás eredményei

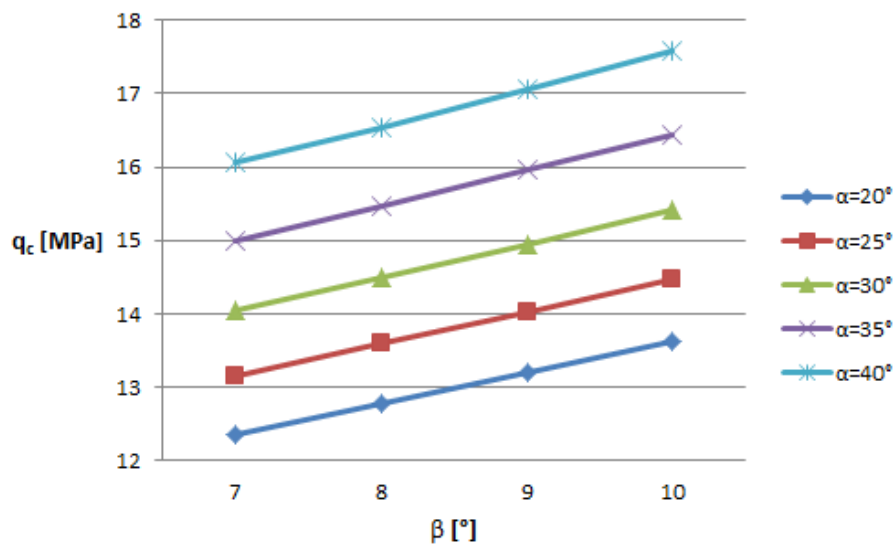
A számításokat elvégeztem különböző, az iparban is jellemzően használt szögértékekre is, melyek eredményei a 10. ábrán láthatók.



a.)



b.)



c.)

10. ábra. Erő (a.) és feszültségek (b,c) szögfüggése

Az ábrákon jól látható, hogy ugyanazon alakítási szög esetén a nyújtási szöget növelve egyre nagyobb erő és feszültség keletkezik az alakítás során. Az $\alpha=30^\circ$ és $\alpha=35^\circ$ alakítási szög esetén az alakító erő rohamosan megnő $\beta=9^\circ$ -tól, ami annak köszönhető, hogy a relatív hengerlési emelkedés (c) nagyobb, mint egy, ezért az alakítandó felületet az ennek megfelelő feltétel szerint kell számolni.

2.3 A Szerszám tervezése

A feladat kidolgozása során a Creo 2.0 verziójú CAD tervezőprogram Parametric modulját használtam.

2.3.1 PTC Creo 2.0 bemutatása

A Creo a PTC új generációs CAD/CAM/CAE szoftvercsaládja. A Creo a Pro/ENGINEER, a CoCreate és ProductView szoftverek legfejlettebb technológiáinak esszenciája kiegészítve új innovációkkal, fejlesztésekkel. A Creo önálló, feladatorientált, megfelelően méretezett, együttműködő alkalmazások együttese.

A programcsalád részei:

- Parametric
- Direct
- Simulate
- Sketch
- Options Modeler
- Layout
- Schematics
- View MCAD
- View ECAD

A Creo Parametric főbb újításai:

Szabadformájú felületek

A továbbfejlesztett freestyle funkciókkal (minden csomagban benne vannak) a tervezők egyszerűen és gyorsan készíthetnek komplex felületeket, miközben teljes mértékben kontrollálhatják a kis részleteket és modell egészét egyaránt. Az így létrehozott modellek a piac sok más formatervező eszközével ellentétben pontos, azonnal megmunkálható felületekből állnak.

Keresztmetszetek

A tervezők teljes betekintést nyerhetnek a termékekbe az új, gyorsan létrehozható és dinamikusan pozicionálható, a modellfából is elérhető keresztmetszetekkel. A keresztmetszeten belül történő valós idejű ütközés vizsgálattal kiszűrhetők a rejtett problémák.

Mérés

Az új, drasztikusan leegyszerűsített mérés eszköz a teljesítményt és a használhatóságot egyaránt pozitívan befolyásoló fejlesztéseket tartalmaz. A tervezők részletes információkat nyerhetnek le bármilyen felületről, modellről. A mérési eredmények helye és megjelenési formája szabályozható. hol és hogyan jelenjenek meg a képernyőn. Az eredmények egyszerűen átadhatók olyan más alkalmazásokba, mint a Word, vagy Excel.

Változások követése

A Változások követése funkcióval lehetővé válik a Creo Parametric felhasználóknak, hogy megtekintsék, elfogadják vagy visszautasítsák a Creo Directben mások által készített módosításokat. Ezzel az eszközzel jobban kontrollálható a különböző tervezői csoportok együttműködése a tervezői szándék teljes megtartása mellett.

Formaüreg képzés, gyártás

Az új „Zárófelület” parancssal villámgyorsan képezhetők a formaüregek komplex, tagolt modellek esetén is. Az NC technológia területén tovább folytatódott a technológia transzfer a Pro/TOOLMAKER-ből. A rendszerben sokat gyorsult a maradékanyag eltávolítás és a nagyolás.

A Creo Parametric-en túl a többi alkalmazás is számos ponton fejlődött. A Creo Direct-tel hatékonyabbá vált a készüléktervezési és árajánlat adási folyamat alkalmi felhasználók számára is. A Creo 2.0-ban a megújult telepítő csak azokat a szoftver komponenseket tölti le és telepíti, amire az adott felhasználó a licensze alapján jogosult. Ez felgyorsítja a telepítési folyamatot és csökkenti a hálózati terhelést. [7][8]

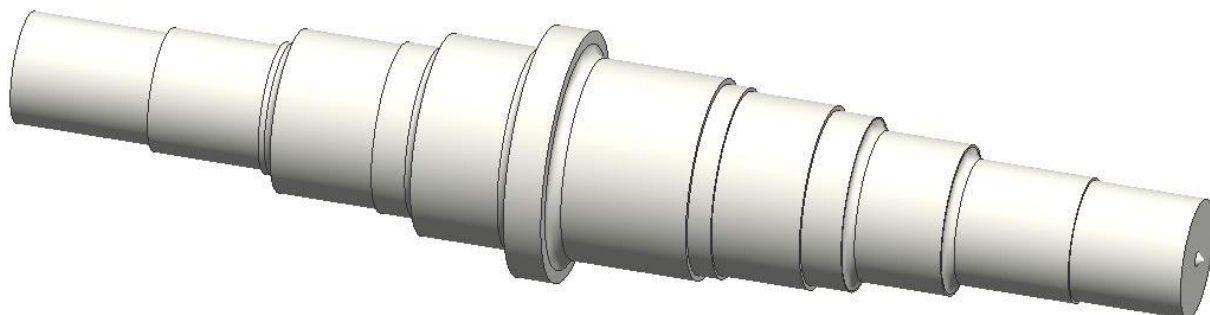
2.3.2 A szerszám geometriai modelljének előállítás

Ahogy a 11. ábrán látható, a tengelyen számos lépcső található, amely nagyban bonyolítja a szerszámgeometriát. Található még néhány lekerekítés, valamint oldalferdeség is a kiinduló átmérő jobb-és baloldali tengelyvállánál.

Fontos szempont még, hogy a nyersdarab hosszát kellően nagyra kell választani, hogy a véghulladék ne legyen túl kicsi, mert a nagymértékű átmérő csökkenés következtében beszívódások keletkeznek, amely kis véghulladék esetén a tengelybe is belenyúlik, így a termék selejtes lesz. Túl nagy véghulladék keletkezése sem előnyös a nagyarányú

hulladékkeletkezés miatt. Ezen megfontolások alapján a cégnél alkalmazott, tapasztalati aránnyal nagyobbra tervezem a tengelyt, melynek hossza így 250 mm lesz.

Ezeket a korlátozó tényezőket figyelembe véve végzem el a szerszám tervezését.



11. ábra. Hengerelt tengely 3D-s modellje

A szerszám tervezéséhez választott kiindulási adatok:

- α : alakítási szög = 20°
- β : nyújtási szög = 8°
- Δr [mm]: az egymást követő lépcsők átmérő különbségeinek a fele. Értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

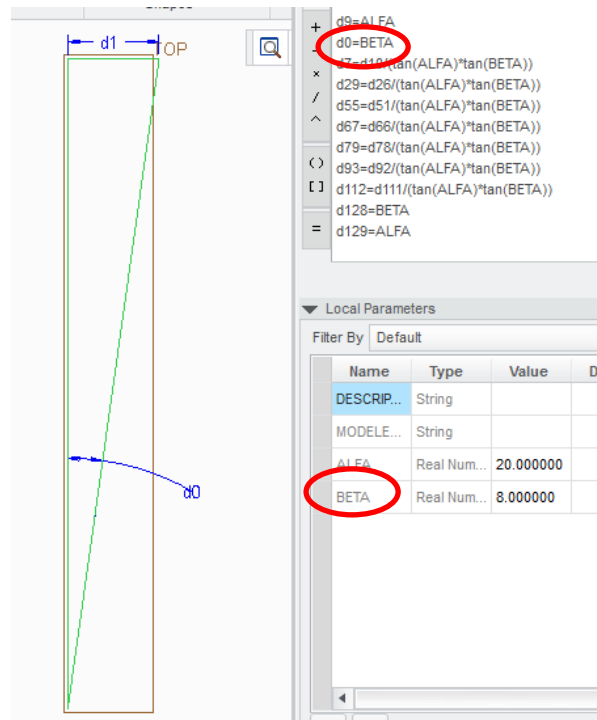
2. táblázat

$\Delta r1$	$\Delta r2$	$\Delta r3$	$\Delta r4$	$\Delta r5$	$\Delta r6$
10,3	2,2	1,35	1,85	6,2	1,3
$\Delta r7$	$\Delta r8$	$\Delta r9$	$\Delta r10$	$\Delta r11$	$\Delta r12$
4,6	6,2	5	1,6	1,1	2,4

A modellalkotáshoz két elméleti részre osztottam a szerszámot. Először az egyik felét, majd a másik felét kezdtem el sorba felépíteni. A valósághoz képest elhanyagolásokat tettem, így az általam alkotott szerszám egy összefüggő test, míg a valóságban három szegmensből tevődik össze. Elhanyagoltam továbbá a rögzítéshez szükséges furatokat, az alsó szerszámon lévő munkadarab megfogó szerkezetet.

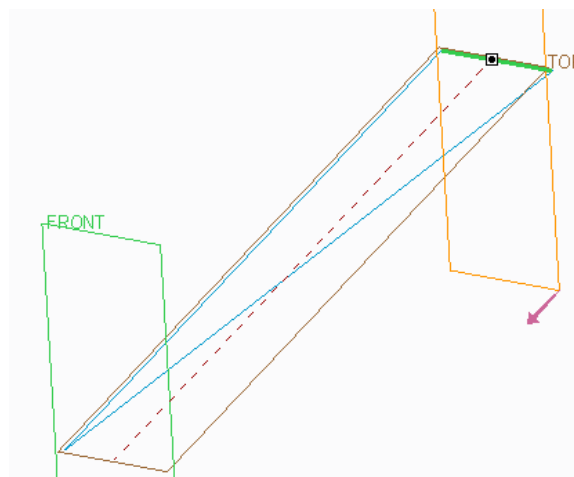
A modellt egy háromszög alakú vázlattal kezdtem a „Top” nevű síkon. Ez a háromszög lesz az alapja a szerszám egyik felének. A nyújtás szögét egyelőre tetszőlegesen választottam, a szerszám végének hosszát pedig geometriai

összefüggésekből úgy határoztam meg, hogy az 10 mm-el szélesebb legyen, mint a kész alkatrész, hiszen az osztókésnek a fölőselet el kell távolítania a darabról. Ezt követően paraméterként felvettem az α és β szögeket és az alap vázlaton hozzárendeltem a β szöget a háromszög d0-val jelzett paraméteréhez (12. ábra).



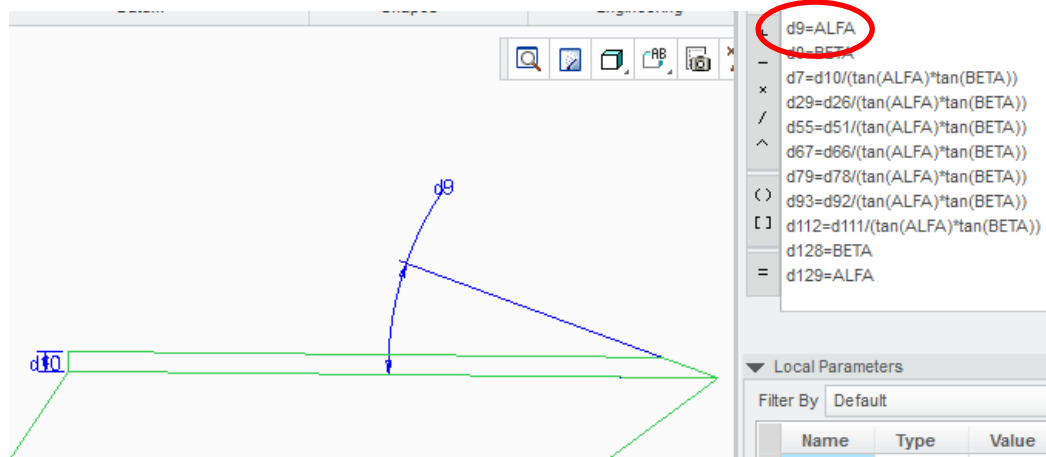
12.ábra. Alap vázlat és a paraméter hozzárendelése

A vázlatban a β szöggel szemben lévő élre felvettem egy segéd síkot (Tool End) a „Front” síkkal párhuzamosan kényszerítve, amelyre vázolni fogom minden egyes lépcső végének geometriáit.



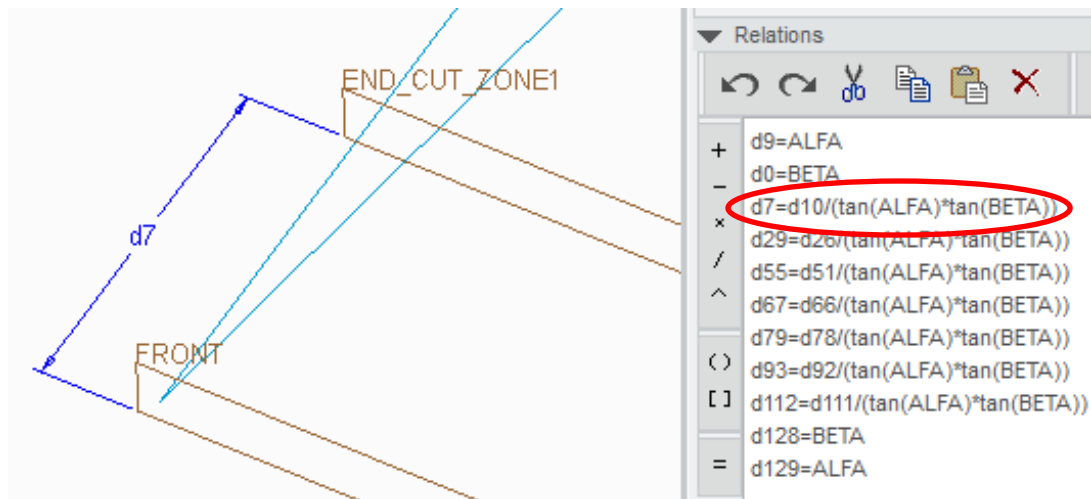
13.ábra. Segédsík felvétele

A „Tool End” síkon vázoltam az első lépcső végének geometriáját. Referenciaként az alap háromszög „Tool End” síkon lévő élét, valamint annak külső csúcspontját választottam. Erre azért van szükség, hogy ha β szög változik, akkor vele a geometria is meg fog változni. Ezekre a referenciákra elkészítettem a vázlatot, melynek magassága Δr_1 , szöge pedig egyelőre tetszőleges. Ezt a szöget a korábban definiált α paraméterhez rendelem. Frissítés után a kívánt szögértéket veszi fel a geometria (14. ábra).



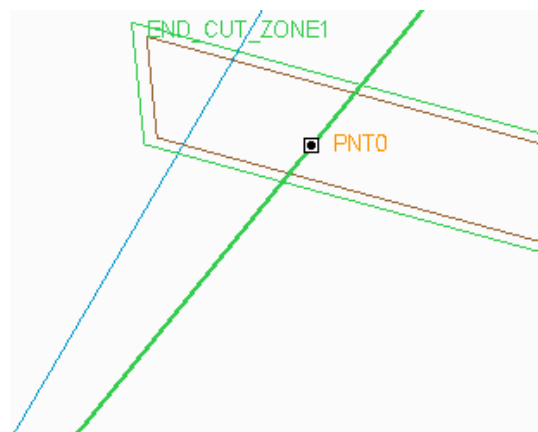
14. ábra. Véggeometria és paraméter hozzárendelés

A következő lépésben a vágási zóna végének geometriáját kell vázolni, amely egy háromszög lesz. Ehhez szükség van egy újabb segédsíkra. Ezt a síkot a Front síktól mérve, azzal párhuzamosan veszem fel tetszőleges távolságra. A vágási zóna vége ugyan olyan magas, mint maga a lépcső, hiszen onnantól már nincs átmérő változás. Ezzel egy időben teljesülnie kell az α szög állandóságának is, ezért a zóna végét jelző sík távolságát nehéz kezelni, főként, ha utólag a szögek módosulnak. Ennek érdekében geometriai egyenletet alkalmazok a sík távolságának automatikus meghatározására, melyhez szükség van α -ra, β -ra és Δr_1 -re is. Így a sík, és ezáltal a vágási zóna hossza a szögek változásával automatikusan frissül (15. ábra).



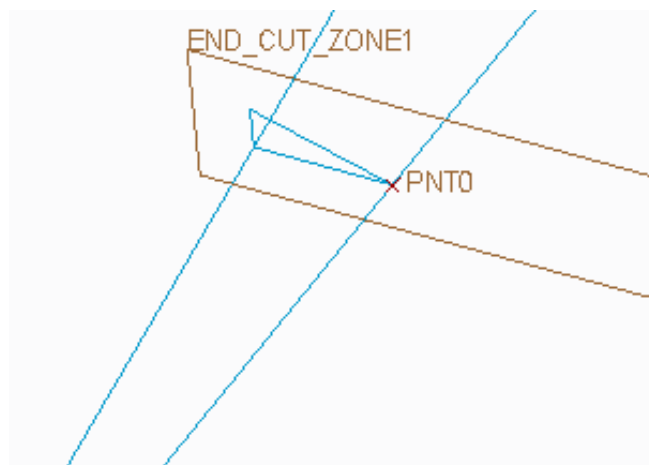
15.ábra. Reláció definiálás

Most már lehet a segédsíkra vázolni a geometriát. A vázlaton belül felveszek egy segédpontot, melynek referenciáit a 16. ábrán zölden láthatjuk. Ez a pont szolgál majd a vázlat egyik referenciájaként.



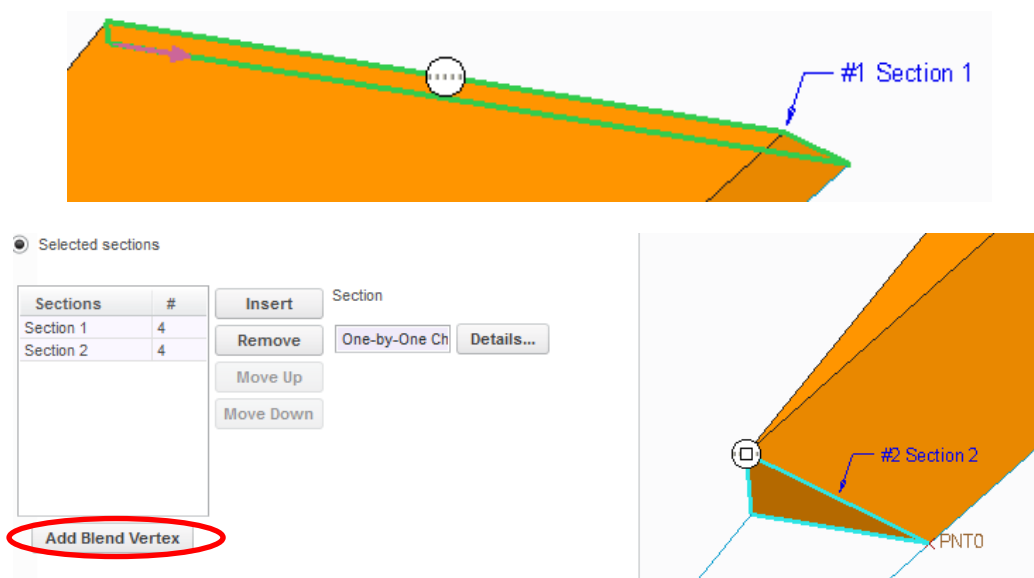
16.ábra. Segédpont definiálás

A vázlat másik referenciája a „Tool End” síkra vázolt geometria függőleges és felső éle. Ezek egyértelműen meghatározzák a geometriát (17. ábra).



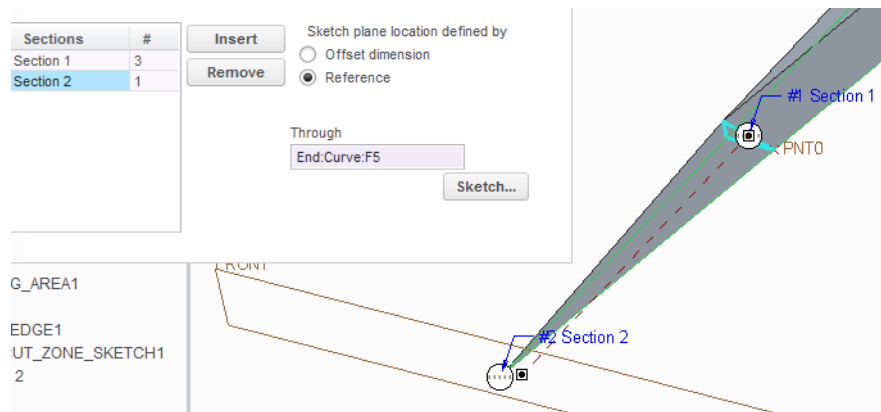
17.ábra. Vágási zóna vége

A „Blend” nevű paranccsal összekötöm a geometriákat. Az első keresztmetszet a lépcső vége, a másik pedig a vágási zóna vége. Ez utóbbi azonban 3 csúcsponttal rendelkezik, míg az első keresztmetszet 4-el, így nem tudja ezeket összekötni a program. Ennek kiküszöbölése érdekében egy új csúcspontot kell felvenni az „add blend vertex” nevű paranccsal, és be kell húzni a megfelelő csúcspontba, ahová a 4. él be fog futni. Ügyelni kell rá, hogy a körüljárás irányának kezdőpontja ne olyan helyen legyen, ahol a két él fut majd be.

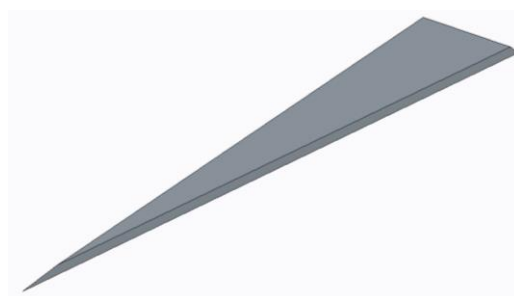


18.ábra. Kihúzás keresztmetszeten keresztül

Végül a vágási zóna végét kell összekötni a szerszám csúcsával. Hasonlóan kell eljárni, mint előzőleg, annyi eltéréssel, hogy vázlatot is kell készíteni. Miután kijelöltem a keresztmetszetet, felugrik egy sík, amelyet egészen a front síkig húzok, ugyanis a szerszám csúcspontja ott helyezkedik el (19. ábra), majd a vázlatban egyetlen pontot helyezek le. Ezt elfogadva a 3 élt behúzza a csúcspontba, és kész az első lépcső geometriája (20. ábra).



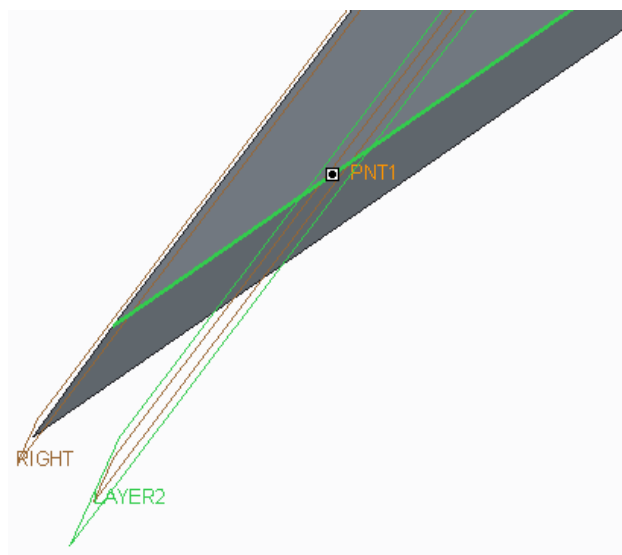
19. ábra. Vágó él kihúzás.



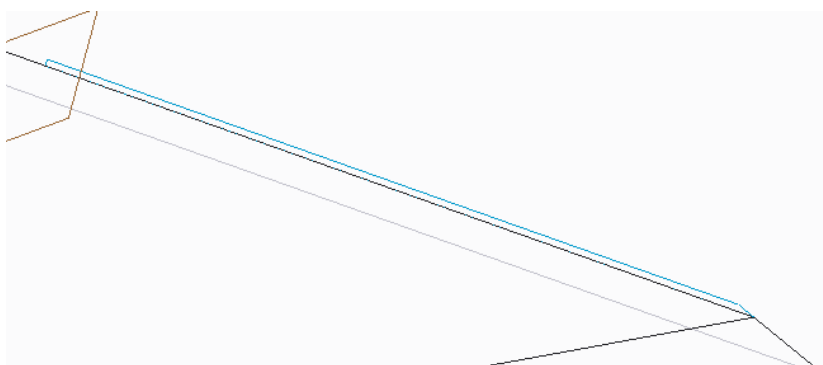
20. ábra. Első lépcső

A második lépcső kialakítása ugyan ezen az elven működik. Fel kell venni egy segéd síkot a „Right” síktól olyan távol, amekkora az első lépcső szélessége. A sík és a szerszám ferde élének találkozásához felveszek egy segéd pontot (21. ábra). A „Tool End” síkra elkészítem a második lépcső végének vázlatát (22. ábra). A felvett segédpontba a „Front” síkkal párhuzamosan felveszem a vágási zóna kezdetét jelölő síkot, majd ettől a síktól tetszőleges távolságra felveszem a vágási zóna végét jelző síkot. Amint ezt elvégeztem, a két sík távolságát a fentebb említett módon relációval vezérlem. Vázlatot készítek a vágási zóna végéről, majd a „Blend” paranccsal kihúzom a második lépcsőt is.

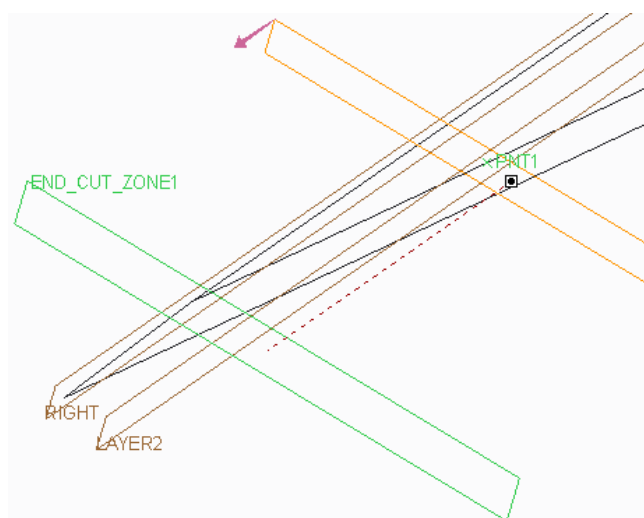
Ezeket a lépéseket minden lépcsőre elvégzem, relációval és paraméterekkel vezérlem a szerszámot.



21.ábra. Segédsík és segédpont felvétele

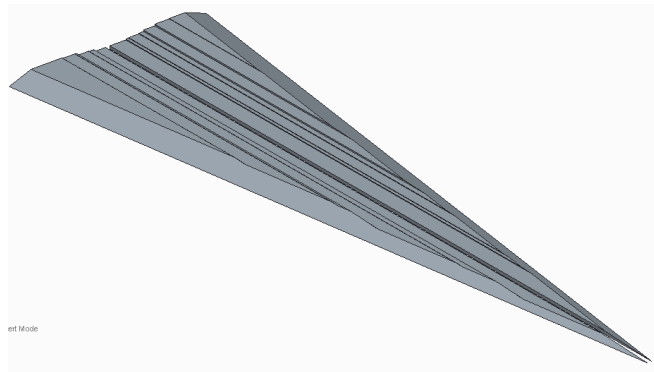


22.ábra. Véggeometria 2. lépcső



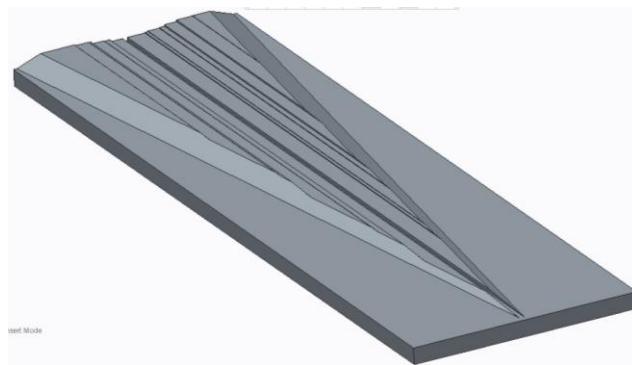
23.ábra. Vágási zóna kezdetét jelző sík felvétele

Ha elvégeztem a lépéseket minden lépcsőre, akkor a 24. ábrán látható szerszámfelületet kapom.



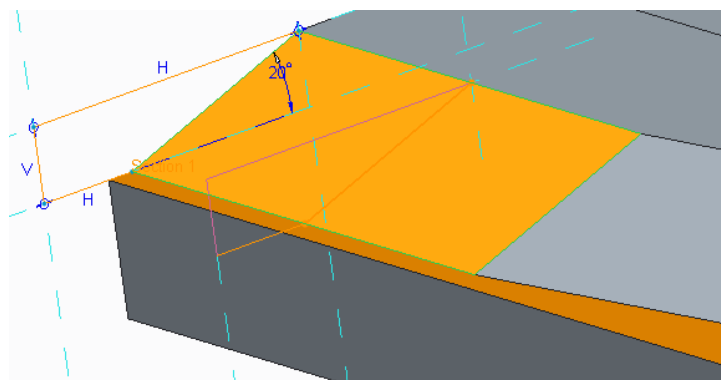
24.ábra. Kész szerszámfelület

Ezután ráteszem a szerszám alját, amelyen keresztül felfekszik majd a szerszám a hengerre.

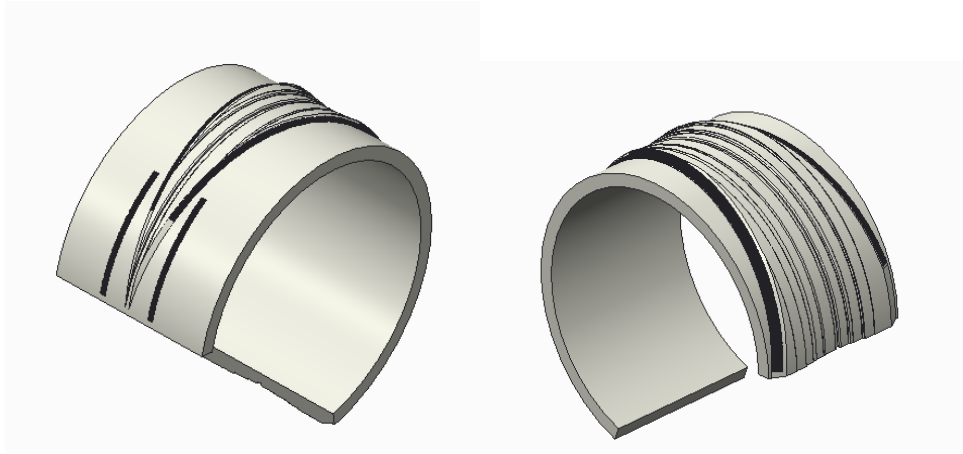


25.ábra. Szerszám alj

A gyártandó alkatrészen találhatók oldalferdeségek, lekerekítések, ezeket ráhelyezem a szerszám megfelelő felületeire, éleire. A szerszám bal oldala jóval szélesebb lett, mint amennyire szükség lenne, ezért a fölösleges részét az α szöggel megegyező szögben levágom (26. ábra).

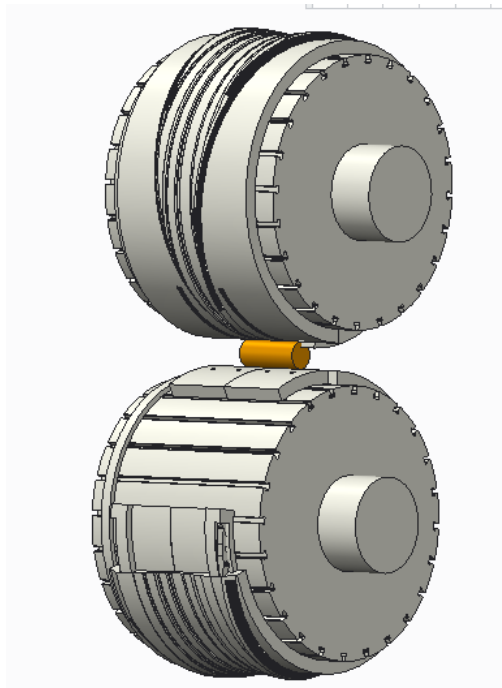


26.ábra. Vágás



29.ábra. Felületbordázás

A 30. ábrán láthatjuk az összeszerelt egységet. A felső hengeren található a munkadarab ütköző. Ennek ütközik a darab, amikor oldalról a munkatérbe érkezik. A szerszám végeinél találhatók az osztókések, ezek távolítják el a vég hulladékot. A munkadarab helyén tartásához két darab, görgős keresztvas szolgál, melyek a munkadarabot oldalról tartják.



30.ábra. Az összeszerelt egység

3. A hengerlési folyamat végeselemes modellezése

A végeselem-módszerrel virtuális környezetben végezhetünk el vizsgálatokat a legkülönbözőbb mérnöki feladatokra. Ezek a szimulációk jelentős idő- és költségcsökkenést, valamint minőség növekedést eredményeznek a tervezés szakaszában, továbbá növeli a megvizsgálható technológiai változatok számát. Ez az oka, hogy az utóbbi időben minden mérnöki területen jelentős térhódításra tett szert.

A következőkben bemutatok néhány VEM programot, amelyek alkalmasak a hengerlési folyamat végeselemes vizsgálatára.

3.1 A végeselem módszer kialakulása

Az utóbbi évtizedek egyik leglátványosabban terjedő, nagy hatékonyságú számítástechnikai módszere az ún. végeselem-módszer. A mérnöki tervező munkában hatékonyságára való tekintettel kitüntetett szerepet vívott ki. Természetes tehát, hogy a mérnöki pályára való felkészítésében is kellő súllyal kell, hogy szerepeljen. A számítástechnikában beálló gyors fejlődés, a számítógépek kapacitásának, sebességének nagymértékű növekedése, a grafikai műveletek megszervezhetősége, az ember-gép kapcsolatának humanizálódása, a fizikai jelenségek korábbi években még nem látott bonyolultságú modellezésére, gyors kiszámításokra, az eredmények sokoldalú analizálására adnak módot. Ismeretes, hogy egy és ugyanazon valóságos szerkezethez – elhanyagolva annak lényegtelen jegyeit – különféle számítási modelleket rendelhetünk hozzá annak függvényében, hogy a valóságos szerkezetben lejátszódó folyamatok melyik oldala érdekes számunkra, azt milyen pontossággal szeretnénk elérni. Talán nem érdektelen hangsúlyozni, hogy ha egy adott valóságos szerkezethez többféle számítási modell is rendelhető, akkor megfordítva, egyazon számítási modellhez nemcsak egy valóságos szerkezet tartozhat. Vagyis bizonyos modelleket vizsgálva, a valóságos szerkezetek egész nagy osztályának megoldását kaphatjuk meg. A vizsgálandó problémához a modellezés során mechanikai modellt rendelünk, ami matematikai formában kezdeti peremérték feladatként jelenik meg. Az eredeti probléma bonyolultságától függően előfordulhat, hogy a matematikai megformálás egyszerűsítésére kerül sor. Ekkor a valóság helyett egy idealizált - már hibákat hordozó modellt állítunk elő. A matematikai kezdeti-peremértékfeladat számítógépes megoldása, további, ún. számítási hibát okoz, amit röviden diszkretizálási hibának szokás nevezni. A számítógéppel segített

mérnöki tevékenység (Computer Aided Engineering: CAE) fejlődését figyelve a következő szakaszok különböztethetők meg.

Amíg

- 1965-75 között a számítógépes géprajzi szerkesztés és a végelem-módszerre alapozott számítások különállóan folytak, illetve

- 1975-85 között a lineáris szerkezetanalízisre alkalmas végelem-programmal integrált tervező rendszerek jöttek létre, addig a legutóbbi évekre a nemlineáris végelemmel integrált rendszerek létrehozása, a gyártási folyamatok szimulálása, prototípusok szimulációs tesztelése, különféle szakértői rendszerek létrehozása a jellemző. A vektor és a több processzoros számítógépek megjelenése pedig új fejezetet nyit a nemlineáris feladatok számítógépes vizsgálatában. A tervezés folyamatában a mechanika szerepe nem hanyagolható el. Általában a tervezendő objektummal szemben szilárdsági, élettartami, illetve üzemeltetési követelmények fogalmazódnak meg. A gépészeti modellt két fő oldalról vizsgálják. Egyik oldal a funkcionális vizsgálathoz kapcsolódó kinematikai és dinamikai analízis, a másik erőtani oldalról elemzi a testben kialakuló feszültségállapotot.

A digitális számítógépek megjelenése (1946 Los Alamos, Neumann János; 1949 JONIC; 1951 IBM; 1960-as évek időosztásos gépei), majd az 1964-ben megszülető BASIC programozási nyelv, stb. gyökeresen megváltoztatták és kiszélesítették a feladatok megoldhatóságának körét. A 60-as évekre a rugalmasságtani feladatainak megoldását szolgáló elemcsaládok kifejlesztése, sokoldalú modellezési lehetőséget nyújtó végelem-programok (ASKA, NASTRAN) megjelenése a jellemző. A 70-es években elkezdődik a számítási hibák analízisének kutatása, számítógépi programok alkalmazásba vétele (ABAQUS, ADINA, ANSYS, COSMOS/M, stb.). A CAD rendszerekkel összekapcsolt végelelemes rendszerek alakulnak ki az 1980-as években, amelyeknek a fejlődése mind a mai napig tart (CATIA, I-DEAS, MSC/NASTRAN, Patran, Pro/Engineer, stb.). A kapcsolt feladatok (szilárdságtani, hőtani, áramlástan, villamosságtani stb.) megoldására szolgáló programok nyernek kidolgozást 1990-es évek óta (FLUENT, ProCast, SysWeld, DEFORM stb.). Számos könyv jelenik meg a végelem-módszer elméleti és gyakorlati kérdéseinek vizsgálatával kapcsolatban. A széleskörű kutatások eredményeképpen a végelem-módszer már ma is hatékony eszközként áll a mérnökök rendelkezésére, amennyiben mechanikai ismereteire alapozva képesek az eredményeket helyesen értékelni. A közeljövőben pedig az adaptációs rendszerek kifejlesztésével olyan sokrétű rendszerek jönnek majd létre, amelyekkel a mechanikai modell megalkotása után, a számítógépi

program felügyelete mellett, megbízhatónak tekinthető eredményeket lehet nyerni. Ilyen rendszerekkel már találkozhatunk a gyakorlati életben [9].

3.2 Programbemutató

3.2.1 ANSYS Workbench

Az ANSYS egy általános mérnöki szimulációs szoftver, melyet különféle vizsgálatokra használnak, hogy megfigyeljék például egy termék hogyan viselkedik különböző terhelések hatására, vagy egy megmunkálási folyamat hogyan fog zajlani valós környezetben. A cég 1970-ben alakult, központja az USA-ban található Pennsylvania államban. A program egyesített és testre szabható platformmal rendelkezik, amely lehetőséget nyújt a mérnökök számára komplex szimulációk elvégzésére. Rendszeralkalmazásával megkönnyíti a szimulációs folyamatok és adatok kezelését, ezáltal több idő jut a tervezésre, fejlesztésre és kevesebb időt igényel a program használata, az adatok keresése.

A programcsomaggal az összes fizikai, szerkezeti, rezgéstani, folyadékdinamikai, hővezetési és elektromágneses kölcsönhatások szimulálhatók. Elvégezhetők élettartam számítások, valamint virtuális környezetben 3D-ben vizsgálva meghatározhatók a lehetséges problémák várható előfordulási helyei.

A program képes más mérnöki programokkal együtt dolgozni, melyek az integrált CAD és FEA moduloknak köszönhetők. CAD fájlok beimportálhatók, amely a preprocesszorba kerül, mint geometria. Ugyan ebben a preprocesszorban kerül sor a test elemekre bontására, más néven a végelem hálózásra. A terhelések és peremfeltételek definiálása után az analízis közvetlenül elvégezhető, az eredmények pedig numerikusan és grafikusán is megjeleníthetők. A program erőssége a megoldó algoritmusokból ered, mely több éves tapasztalat eredménye [10].

3.2.2 Deform

A Deform egy specifikus mérnöki szimulációs szoftver, amely lehetővé teszi a tervező számára a fémalakítási, megmunkálási, hőkezelési és kötési folyamatok számítógépes analízisét. A programot széles körben használják kutatásra és ipari alkalmazásokra egyaránt.

A program grafikus felületéről elmondható, hogy felhasználóbarát, így könnyű az analízis előkészítése valamint futtatása. Ennek köszönhetően a mérnököknek csupán az alakításra kell fókuszálni ahelyett, hogy elvesznének a program részleteiben.

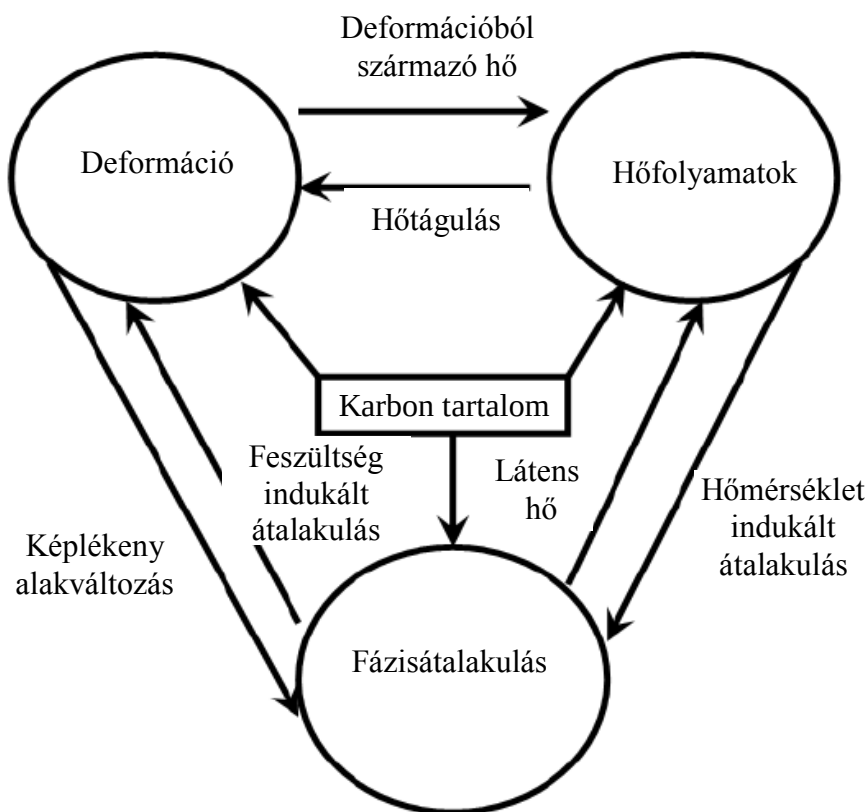
Deform modulok:

- 2D: 2 dimenziós szimuláció anyagfolyás és komplex fémalakító folyamatok, melyek nem tengelyszimmetrikusak, valamint sík alakváltozás vizsgálatára.
Tipikus alkalmazásai: zárt- és nyitott szerszámú kovácsolás, hengerlés, fejezés, mélyhúzás
- 3D: 3 dimenziós szimuláció anyagfolyás és komplex fémalakító folyamatok vizsgálatára. Alkalmazási köre megegyezik a 2D moduléval.
- F2: 2D-s folyamatok szimulációjára alkalmas. Széles körben alkalmazzák kovácsolási-, hidegalakítási- valamint mélyhúzási folyamatok vizsgálatára. Az F2-es modul a 2D modul VEM motorját, háló generátorát és egyéb rendszer funkcióit alkalmazza.
- F3: 3 dimenziós szimuláció anyagfolyás és komplex fémalakító folyamatok vizsgálatára. Kis és közepes méretű alkatrészek hideg- és melegalakítási folyamatainak vizsgálatára használják.
- HT: Hőkezelési folyamatok vizsgálatára alkalmas szimulációs modul. Vizsgálhatók a hőmérsékleti, mechanikai és anyagszerkezeti változások a hőkezelés során, valamint megjósolhatók az edzési repedések, maradó feszültségek helyei.

A szoftverben vizsgálható lehetőségek:

- Lehetőséget nyújt a hideg- és meleg kovácsolás során fellépő hőjelenségek vizsgálatára
- Széleskörű alapanyag adatbázissal rendelkezik, mely tartalmaz számtalan ötvözetet, acélt, szuperötvözeteket stb.
- Merev, képlékeny és termo-viszkózus anyagmodellek nagy alakváltozásainak vizsgálata
- Maradó feszültségek és visszarugózási problémák vizsgálata
- Porózus anyagmodell a porkohászat számára
- Folyási háló a szálfutás és anyagfolyás vizsgálatára
- Szerszám feszültségeinek vizsgálata
- Az újrarahálózással lehetővé teszi a szimuláció továbbfutását, még akkor is, ha átlapolódás vagy gyűrődés keletkezik

A program képes komplex kölcsönhatásokat modellezni a deformáció, hőmérséklet, hőkezelés, fázisátalakulás és diffúzió között. Ezek kapcsolatrendszerét a 31. ábra szemlélteti.



31. ábra. A Deform modulok kapcsolatrendszere

Lehetőség van 2D-s, valamint 3D-s modellek vizsgálatára egyaránt. Általában a 2D-s modellek kisebbek, könnyebb a szimulációt előkészíteni és gyorsabban megkapjuk az analízis eredményeit, mint a 3D-s modelleknél. A 2D-s modellek vizsgálatára két lehetőségünk van. Az egyik a tengelyszimmetrikus, a másik a sík alakváltozások vizsgálata. A tengelyszimmetria feltételezi, hogy a geometria minden irányban azonos a szimmetriatengelytől kiindulva. A sík alakváltozás szükséges feltétele, hogy a metszősíkra merőleges irányban ne legyen alakváltozás, csak a metszősíkkal párhuzamosan.

A Deform rendszere három fő részből áll:

- Pre-Processzor: Itt lehet készíteni egyszerűbb geometriájú alkatrészeket, összeállításokat, vagy módosításokat végezhetünk. Továbbá minden szükséges paramétert itt kell beállítani az analízishez, amelyekből generálhatjuk az adatbázis fájlt. Ezek az objektumok, hálózás, hőmérsékleti viszonyok, anyagtörvény, geometriák stb.

- Solver: Itt történik a numerikus számítások elvégzése, a folyamat analízise. A számításokhoz szüksége a pre-processzorban előállított adatbázis fájl, ugyanis innen olvassa ki az általunk beállított feltételeket, értékeket, valamint az eredmények is ugyan ebbe a fájlba íródnak. Ez a megoldó modul ugyancsak használja az automatikus újrarahálózást, ha szükségessé válik. Amíg a szimuláció fut, folyamatos információkat közöl a párbeszéd ablakban, beleértve a hibaüzeneteket is. Lehetőségünk van a folyamat vizuális nyomon követésére is programfutás közben, ahol az aktuális és a már kiszámított eredmények láthatók.
- Post-Processor: Itt van lehetőség az adatbázis fájl olvasására. Ez nem más, mint az eredmények grafikus ábrázolása, kiértékelése. [11]

3.2.3 QForm

A QForm egy új generációs fémalakítási szimulációkra alkalmas szoftver. Új interfész, szerkezet és algoritmusok teszik rugalmasabbá és erőteljesebbé a programot az előző verzióihoz képest. A program jelentősen gyorsabb, köszönhetően az új algoritmusoknak és a párhuzamos számításoknak.

A program mind 2D-s, mind 3D-s problémák szimulációjára, valamint átlapolódások, ki nem töltési hibák, teljes szerszám vizsgálatára alkalmas, tartalmazva a szerszám feszültségeket is. A 2D-s és 3D-s szimuláció integrálása ugyanabba a szoftverbe egyedig lehetőséget nyújt számos alakítás hatékony analízisére. Többek között a tengelyszimmetrikus esetek 2D-s beállításokkal gyorsan megoldhatók. Az objektum-orientált szoftverszerkezet kényelmes és teljesen integrált környezetet alakít ki. Az adatelőkészítés vizuálisan jelenik meg, valamint a szimuláció közben grafikusán láthatók az eredmények. Ez a szoftver is tökéletesen alkalmas a folyamatok virtuális vizsgálatára, így a tervezés sokkal gyorsabb és gazdaságosabb. Támogatja a STEP és IGES kiterjesztésű fájlokat, így elkerülhető a geometriai pontosság veszteség, ami jellemzően az STL kiterjesztésű fájloknál jelentkezik. A QForm3D volt az első olyan kereskedelmi szoftver, amely kvadratikus elemeket használt a 3D-s problémák megoldására. Ez a módszer jelentősen megnövelte a számítások pontosságát, lecsökkentette a térfogatvesztés mértékét. A felületek meghatározása nem-lineáris végelem modellel valósul meg. Ilyenkor lehetővé teszi a szoftver az újrarahálózást olyan gyakran, amilyen gyakran szükséges, elkerülve ezáltal a nem-lineáris elemek esetén jelentkező problémákat, melyek nehezítik a számításokat.

QForm modulok:

- Meleg kovácsolás: A QForm lehetővé teszi az anyagfolyás szimulációjának vizsgálatát és megjósolható a lehetséges hibák keletkezése is. Szimulálni lehet továbbá a munkadarab és szerszám hőmérséklet- és feszültség eloszlást, valamint deformációját. A kovácsolás erő- és energiaszükségletének szimulációja segít kiválasztani a folyamat megvalósítására alkalmas berendezést. Ezzel a kifinomult szoftverrel a mérnökök könnyen optimalizálhatják a folyamatokat, hogy elkerülhetők legyenek a hibák. Csökkenthető az anyagfelhasználás, növelhető a termelékenység költségnövekedés nélkül.
- Hideg kovácsolás: Ezzel az eljárással nagy pontosságú alkatrészeket gyártanak jó felület minőséggel, amely nem kíván egyéb extra megmunkálást. Ez azonban azzal jár, hogy nagyobb alakító erőre és tartósabb szerszámokra van szükség. A QForm lehetővé teszi az anyagfolyás optimalizálását, valamint lecsökkenthető az alakító erő.
- Hőkezelés: Ez a modul használható termo-mechanikus kezelésekre, mint például hőkezelés deformációval kombinálva. Használható azonban szimplán hőkezelésre is. Ebben az esetben elég egy CAD modell STEP vagy IGES kiterjesztéssel, amely automatikusan át lesz konvertálva végeelem modellé a beépített QShape modullal. Mindkét esetben a számítás az ausztenitesítési hőmérsékletre való hevítéssel kezdődik és egészen addig tart, amíg a darab le nem hűl szobahőmérsékletre. A hőkezelés számos hőntartási lépcsőn keresztül mehet adott hőmérsékleteken.
- Hengerlés: A Qform 3D ad lehetőséget a hengerlési folyamatok szimulálására maximum 20 szerszámgig.
- Redukáló hengerlés: Az ilyen fajta szimuláció lefuttatásához egy kiegészítő modult, a VeraCAD-et használja a szoftver. Ez speciálisan hengerlési folyamatok szimulálására lett kifejlesztve, továbbá abban az esetben is ezt célszerű használni, ha az anyagfolyás nagyon bonyolult, mivel elég jó pontossággal megjósolja az eredményeket.
- Kereszt- és gyűrű hengerlés: A QForm szerszámmenedzser rendszerének köszönhetően lehetőség van bonyolult technológiai folyamatok analízisére is úgy, mint a keresztengerlés, vagy a gyűrű hengerlés.

- Extrusion: A QForm egy másik önálló programja, amely a húzási folyamatok szimulációjára alkalmas. A húzott alkatrészek lehetnek tömörek, üregesek, félig üregesek, a program megbízható eredményeket állít elő.
- Mikroszerkezet: A hőkezelés folyamán a fémek és ötvözetek mikroszerkezetének és tulajdonságainak vizsgálata a technológiai fejlesztés szakaszában bír nagy jelentőséggel, hogy biztosítva legyen a kívánt minősége a kovácsolt vagy hengerelt daraboknak. Köztudott, hogy a képlékeny alakítás és a hőkezelés megváltoztatja a fémek és ötvözetek jellemzőit [12].

3.2.4 Simufact forming

A Simufact forming egy specifikus végelelemes szoftver a gyakorlati alakító technológiák vizsgálatára. Más szimulációs programok használata szakértői számítógépes tudást igényel, azonban a Simufact eltér ezektől. A felhasználónak nem kell foglalkoznia az alakítás matematikai hátterével, továbbá a szimuláció különleges részleteivel sem, így teljes egészében az alakítási folyamatra tud koncentrálni. A szoftver praktikus és könnyű elsajátítani. A felhasználói felületen könnyű összeállítani a folyamatot, az összes standard alakító eljárás kiválasztható, kiértékelhető. Számos hozzáadott funkció elérhető, hogy lehetővé tegye a tapasztalt felhasználók számára a komplex feladatok megoldását is.

A Simufact tehát megbirkózik az összes alakító technológiával, továbbá reális eredményeket reprezentál. Az minőségi eredmények azóta garantáltak igazán, amióta a szoftver az MSC szoftvercsalád megoldó motorját használja. Az MSC Marc szolgál a nem-lineáris feladatok megoldására, míg az MSC Dytran végelelemes térfogat megoldó. Mindkét termék folyamatos fejlesztés alatt áll, aminek köszönhetően az egyre komplexebb nem-lineáris feladatok egyre pontosabb megoldását teszi lehetővé.

A fő jellegzetességei a gyakorlat-orientált felhasználói felületnek:

- könnyen kezelhető és intuitív ablak
- az összes lehetőség elérhető egy egyszerű környezetben (2D, 3D, Pre-, Run-, Post)
- gyorsan és könnyen megtanulható a kezelése
- az alakító ipar szaknyelvét használja
- könnyen elkülöníthető objektum terület, folyamat terület, grafikus modell és eredmény terület
- sablon technológia

A Simufact forming moduljai:

- Basic: Lefedi az összes standard kovácsolást, valamint a hidegalakítást. Meghatározható vele a szerszám feszültségek és az anyagfolyás. A rendszer lehetőséget nyújt a többfokozatú alakítások vizsgálatára 2D-s valamint 3D-s környezetben egyaránt. Az erőteljes hálózó eszköz és az automatizált post-processzor teszi teljessé a szimulációs környezetet.
- Hengerlés: Lehetővé teszi az összes olyan folyamat modellezését, ahol forgó szerszámok végzik az alakítást. A felhasználó meghatározhatja és megjelenítheti a hengerlés tengelyének irányultságát. A hengerlő görgők száma nincs korlátozva és bármelyik hengerlési folyamat kinematikája kialakítható. A modul alapját a Basic modul képezi.
- Szerszám analízis: A szerszámon belüli teljes látás eszköze. Alkalmas a szerszám hibáinak analizálására, továbbá kiértékelhetőek a különböző szerszámkonfigurációk.
- Kinematika: Lehetővé teszi egy komplex gép mozgásának automatizálását, például egy teljes redukciós folyamatot számos újrahevítési lépéssel, amely tipikusan a nyitott szerszámú kovácsolásnál jellemző. Általában ez a modul a felhasználók igényei alapján kerül testre szabásra.
- Anyag: Moduláris eszköz, amely tartalmazza a Basic-, mikroszerkezet- és átalakulás modulokat. Széleskörű anyagkönyvtárral rendelkezik. A mikroszerkezet és átalakulás modullal lehetőség van a fázisátalakulások, újrakristályosodás, valamint a törések vizsgálatára egy termo-mechanikus folyamatok során [13].

3.3 A szerszámpróba Deform 3D segítségével

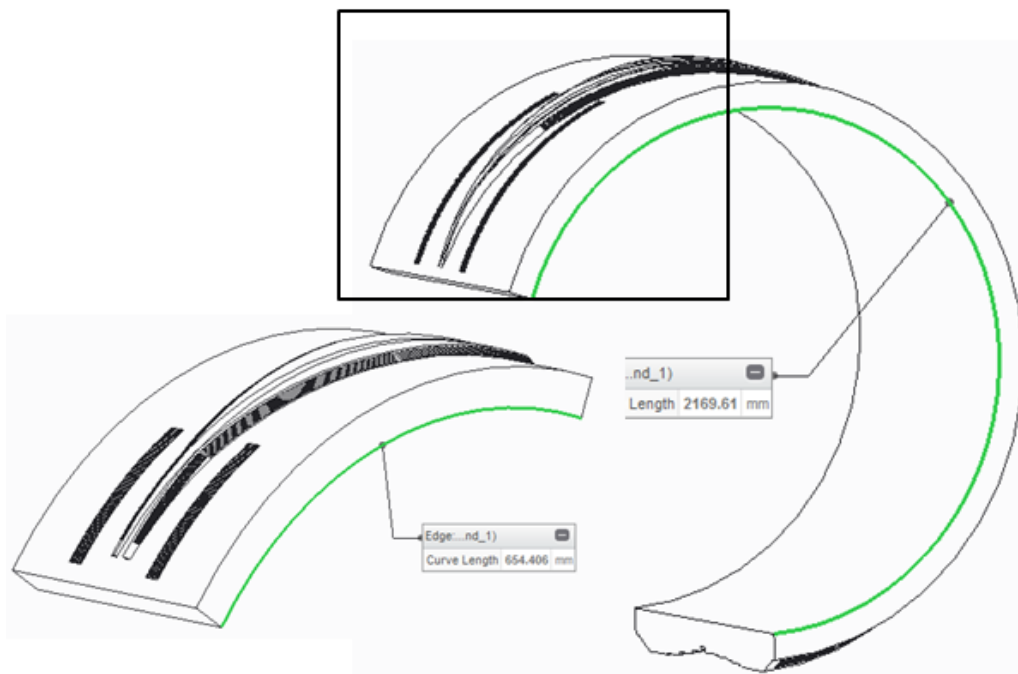
Az előzőleg lemodellezett szerszámon látszik, hogy igen bonyolult geometriájú, ezért a vizsgálathoz csak a munkadarab első lépcsőjének kialakításához szükséges szerszámréteget használok fel (32. ábra), amely természetesen nem a teljes gyártandó darabot készíti el. Ez részben idő és erőforrás csökkentő megoldás, ugyanis a végeselemes számítás ezen folyamat vizsgálatára napokat vesz igényben, továbbá a kézi számításokat is csak erre a műveletre végeztem el, így könnyebben össze tudom hasonítani a kapott eredményeket.



32. ábra. Szerszám

A másik indok, amiért ezt az egyszerűsítést végeztem az, hogy a tengelyen az első lépcső kialakítása a legelső művelet, illetve ennek során történik a legnagyobb átmérő különbség létrehozása. Ha ebben a fázisban valamilyen hiba jelentkezik, akkor az az összes további alakítási műveletet befolyásolja, így már a folyamat elején kiszűrhetők a jelentkező problémák.

A 33. ábrán jól látható, hogy az egyszerűsített szerszámként az eredeti szerszám első negyedét használok csak a vizsgálatra.



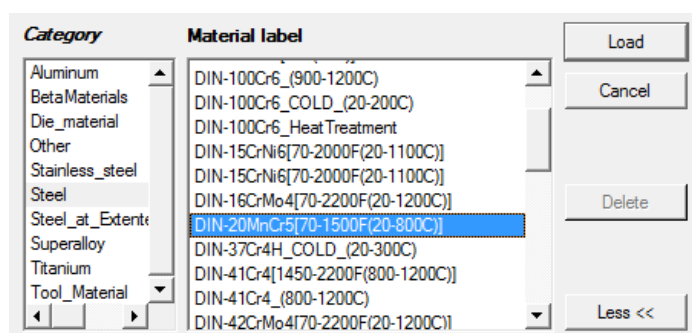
33.ábra. Az eredeti és az egyszerűsített szerszám

A 35. ábrán látható az összeállított szerszám a keresztvasakkal. A korábbiakban megvizsgált szögértékek közül az $\alpha=30^\circ$ és $\beta=8^\circ$ -ot választottam a szerszámhoz, mert ezen értékeknél az alakító erő és a feszültség értékek kielégítőek, nyakképződés és csúszás sem várható.

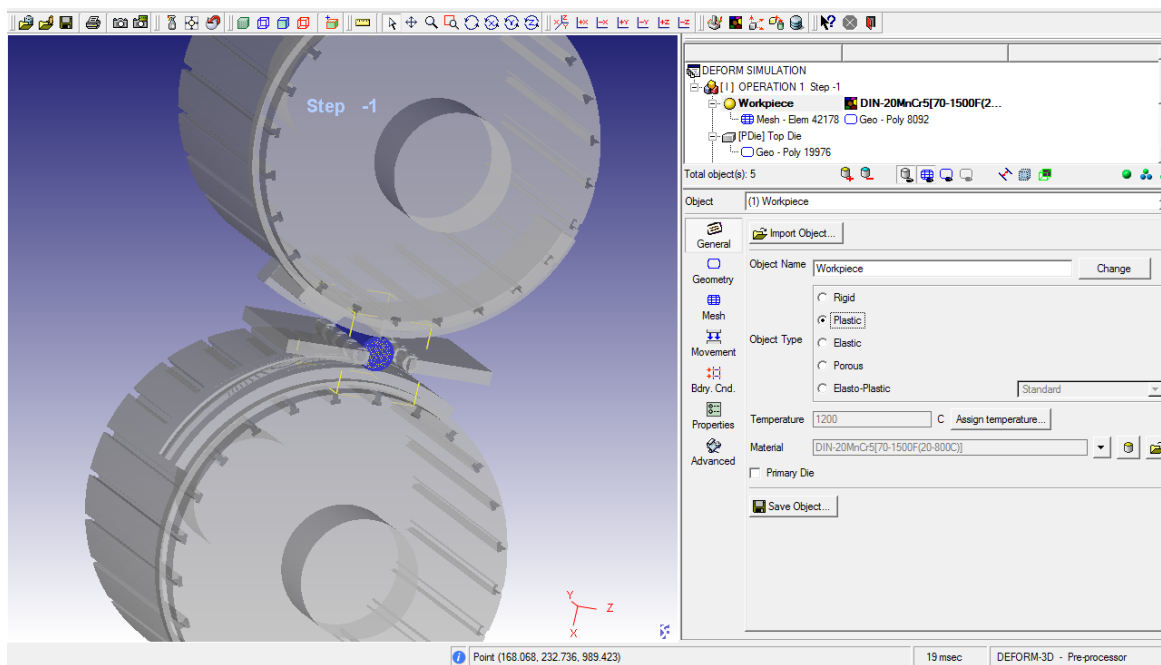
A hengerek forgási sebességét 0,1 rad/sec szögsebességre állítottam be, amely megfelel a valóságban is alkalmazott 6 1/min fordulatszámnak.

A Deform anyagkönyvtárban rengeteg szabványos anyag található, ennek köszönhetően a munkadarabom anyag is kiválasztható itt, amely a német szabvány szerinti 20MnCr5 néven szerepel. Ennek érdekében a kategóriában az acélt (steel), míg az anyag standard legördülő menüben a német (DIN) szabványt választottam, melynek köszönhetően könnyen kiválasztható az anyag (34. ábra).

A darab hőmérsékletét a 1200°C-ra állítottam.

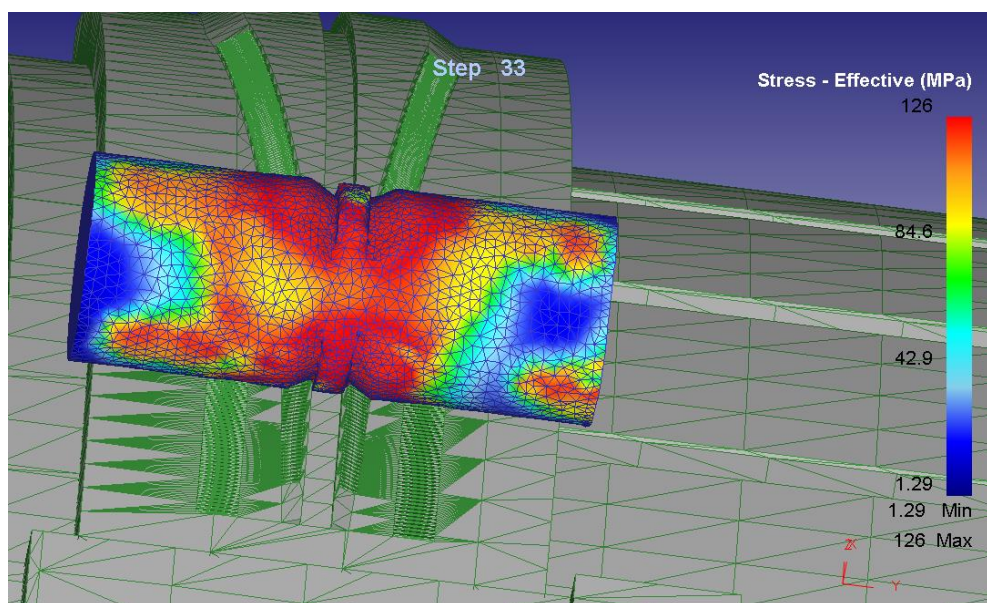


34.ábra. Anyagkönyvtár

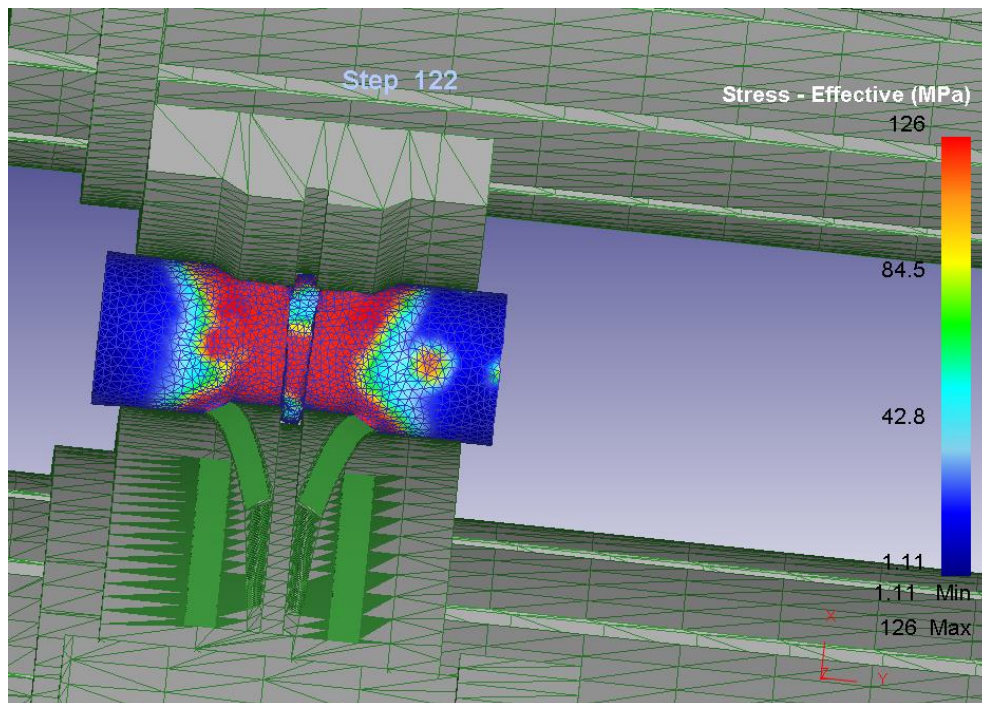


35.ábra. Összeállítás szimulációs környezetben

A következő képeken a munkadarabot láthatjuk alakítás közben, pontosabban a vágási- és nyújtási zónában. Számunkra ez a két zóna a fontos, hiszen ha itt valami hiba merül fel, az hatással van a szimuláció további részére is. Azért, hogy láthassuk mi is zajlik éppen, a keresztvasak láthatóságát kikapcsoltam. A 36. ábrán hasonlóan jártam el a felső szerszám féllal is.

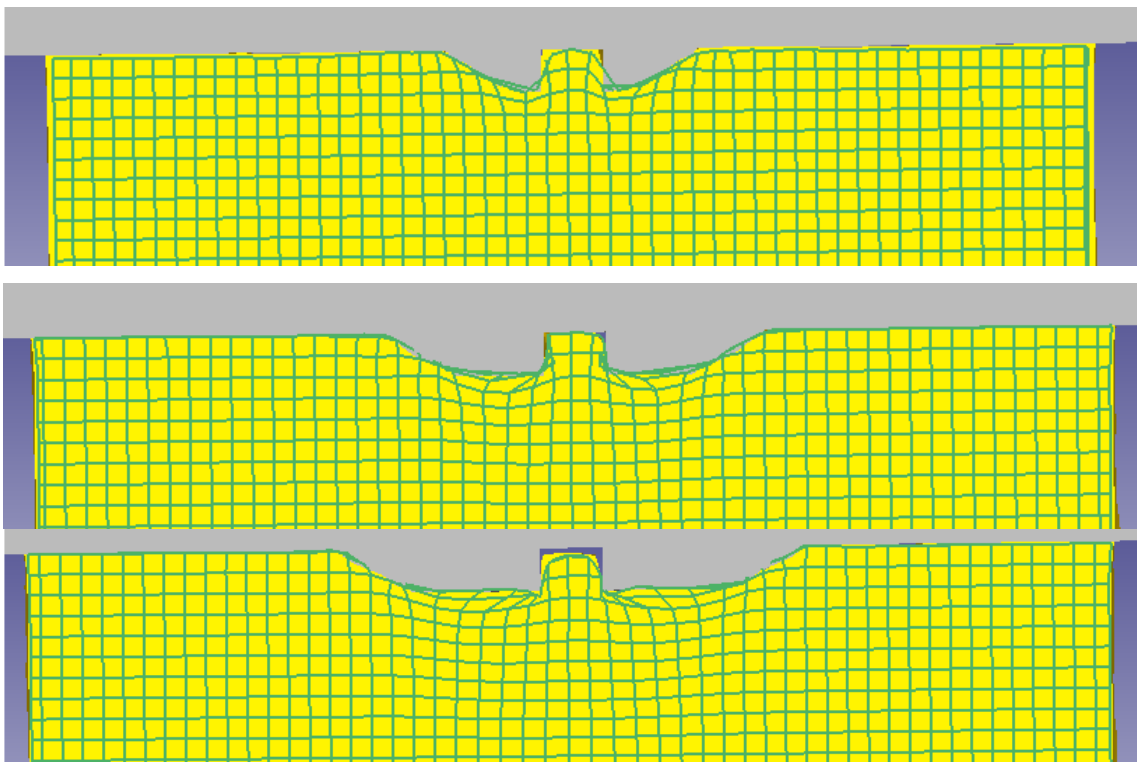


36.ábra. Feszültség mező



37.ábra. Munkadarab az nyújtási zónában

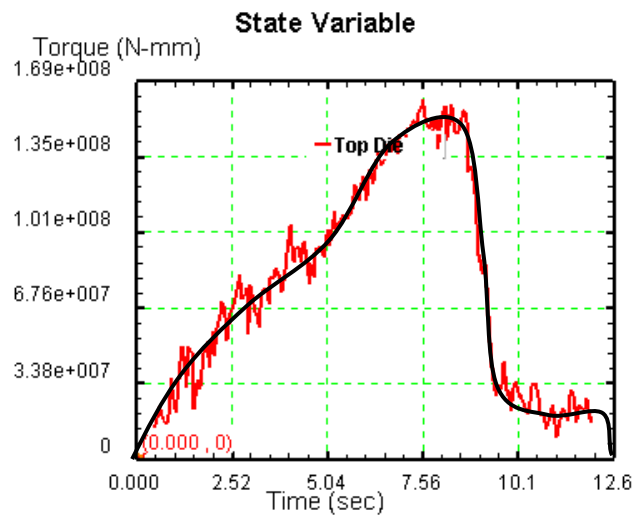
A folyamatból három időpillanatot ragadtam ki, annak érdekében, hogy a munkadarab tengely irányú keresztmetszetében az anyag szálfutása látható legyen (38. ábra). Ezek közül az elsőt a vágási zónából, míg a másik kettőt a nyújtási zónából választottam.



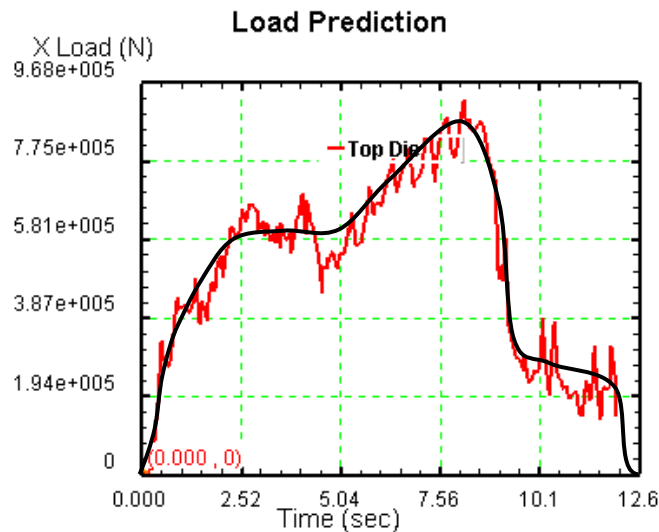
38.ábra. Szálfutás

A képeken jól látható, hogy a feltételezések, miszerint a szálfutás folytonos marad, valóban beigazolódott. A vágási zónában, a neve ellenére nem vágás történik, hanem intenzív benyomódás, amely nem szakítja meg az anyag szálfutását.

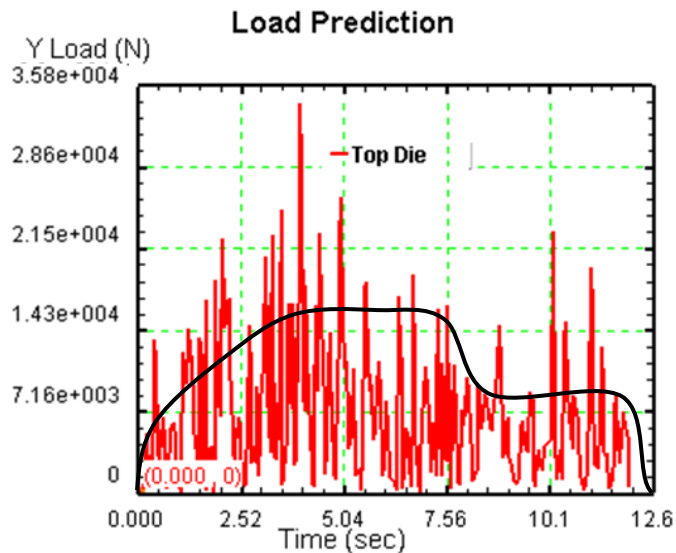
A szimuláció további eredményei a következő képeken láthatóak. A diagramokon szereplő irányok közül az y irányú terhelés felel meg az általam is számított Q_z értékkel. Az időléptékek tekintetében a vágási zóna 3,5 másodpercig, míg a nyújtási zóna 8 másodpercig tart, az alakítás teljes időtartama pedig 12 másodperc.



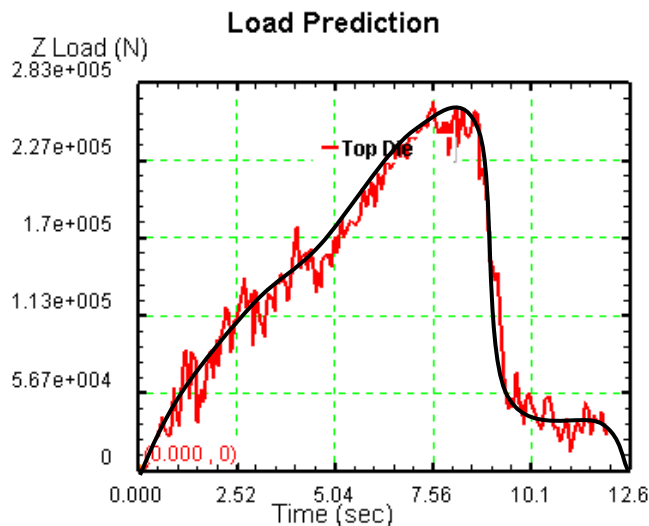
39.ábra. A folyamat nyomaték igénye



40.ábra. x irányú (tangenciális) alakító erő



41. ábra. y irányú (axiális) alakító erő



42. ábra. z irányú (radiális) alakító erő

A diagramokon pirossal látható vonalak a program által számított értékek. A kisebb-nagyobb ingadozások annak köszönhetők, hogy a program iterációval számolja ki az értékeket egy magadott hibahatárral. A könnyebb áttekinthetőség érdekében fekete vonallal jelöltem az egyes közelítő görbéket, így könnyebb azok elemzése is.

Ahogy a 41. ábrán is látható, alakítás közben az y irányú erő folyamatosan növekszik a vágási zónában, hiszen itt zajlik az átmérő csökkentés és még nem alakult ki a teljes nagyságú alakítandó felület. A nyújtási zónában közel állandó az erő értéke, mivel itt már állandó az alakítandó felület nagysága is. A maximális érték kb. 17 kN. Az $\alpha=30^\circ$ és $\beta=8^\circ$ esetén kiszámított érték a 10. ábra (a) részletéről szintén leolvasható, azaz 22,3 kN. A két érték közötti eltérést az okozza, hogy a számításnál az felső-határ módszert választottam,

amely felülbecsli a folyamatot, így a számított érték mindig nagyobb lesz, mint a szimulációban kapott érték.

Az „x” jelen esetben a kerületi vagy tangenciális irányú erő, a „z” pedig a radiális irányú erő, melyek a szerszámra hatnak. Ezek folyamatosan, szinte egyenletesen nőnek, ahogy az alakító folyamat halad előre. A méretezési zónában értékük jelentősen lecsökken, hiszen itt már csak az egyenetlenségek simítása zajlik.

A nyomaték is folyamatosan növekszik, és ugyancsak lecsökken az értéke a méretezési zónában, aminek az oka ugyan az, mint az előző esetben. Ennek a terhelésnek a meghatározása azért fontos, hogy megfontolásokat tehessünk aziránt, hogy a meglévő gép teljesítménye alapján alkalmas-e a folyamat megvalósítására.

A számított és a szimulációs eredmények alapján elmondható, hogy a szerszám tervezése mind konstrukciós, mind pedig funkcionális szempontból helyesnek bizonyult, valamint az alkalmazni kívánt alakító gép is alkalmas a folyamat elvégzésére.

Ezt mi sem bizonyítja jobban, mint a valós körülmények között legyártott munkadarab, amely a 43. ábrán látható.



43. ábra. Hengerelt tengely a véghulladékokkal

4. Összefoglalás

Diplomatervem célja tehát egy keresztékes kovácshengerlő szerszám megtervezése volt. Az elkészített alkatrész egy sebességváltó főtengelyének előgyártmánya, amely további megmunkálási- és szerelési folyamatokat követően épül be a váltóműbe. A tervezés folyamán láthattuk, hogy pusztán analitikus számítások felhasználásával nem egy egyszerűen végrehajtandó feladatról van szó. A munkám megkönnyítése érdekében a számítások helyességét végeselemes modellezéssel elemeztem.

A dolgozat első részében a fémalakító eljárásokat ismertettem, majd a terület folyamatos szűkítésével elhelyeztem a keresztékes hengerlési technológiát az alakító eljárások között. Következő lépésben magát a keresztékes hengerlés technológiáját, szerszámgeometriát és azok jellemzőit, valamint a folyamat hibalehetőségeit mutattam be.

A második részben ismertettem a szerszám technológiai tervezését, a geometriájának meghatározásához szükséges képleteket, tapasztalati összefüggéseket, majd a tengely első lépcsőjének kialakításához szükséges számításokat végeztem el. Ezt követően néhány, az iparban is jellemző szögpaírok eseteire is megvizsgáltam az eredményeket.

Végül képekkel illusztrálva és szöveges magyarázat segítségével elkészítettem a teljes szerszámot. A szimulációhoz azonban az elkészült szerszámnak csak az első felületalakító részét használtam fel, amely az alkatrész első lépcsőjét alakítja ki. Ezt a lépést idő és erőforrás csökkentése érdekében hajtottam végre. A szerszám paramétereit az általam elkészített számítási eredmények összehasonlító értékelése alapján választottam.

A kapott eredmények kiértékelése során első körben elmondható, hogy az alapanyag szálfutása folytonos marad, még a vágási zónában is, melynek neve kicsit megtévesztő lehet, azonban itt csak intenzív benyomódásról van szó. Az erőviszonyokat diagramokon szemléltettem, majd az ingadozásokat közelítő görbékkel pontosítottam, amelyek a program iterációs módszeréből származnak. A pontosított eredményeken jól láthatók a folyamat erőszükségletei. Ezeket összehasonlítva a számított értékekkel elmondható, hogy a felső-határ módszerrel kapott eredmények valamivel a szimulációban kapott értékek fölött vannak, amelyre számítani is lehetett a módszer jellegéből fakadóan. A nyomaték szükséglet meghatározásával pedig láthatjuk, hogy az alkalmazni kívánt géppel megvalósítható a folyamat.

Összességében pedig elmondható, hogy az eredmények alapján a szerszám tervezése mind funkcionális, mind pedig konstrukciós szempontból helyesnek bizonyult, amelyet bizonyít a valós szerszámmal legyártott alkatrész is.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett diplomamunka a **TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001** projekt eredményeire alapozva a **TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029** jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Ezúton köszönöm meg a diplomamunkámhoz nyújtott támogatást.

Summary

The aim of my thesis was to design a cross wedge rolling tool. The component, which is produced with this technology, is a mainshaft, which is assembled after manufacturing into a gearbox. During the designing we saw, that it was not an easy to solve the problem only with analytical calculations. To make my work easier, I analysed the process with FEM modelling.

In the first part, I introduced the metal forming techniques and with continuous narrowing I defined where the cross wedge rolling (CWR) is among them. Subsequently, I introduced the CWR process itself, its tool geometry and properties, and the failures of the process.

In the next part, I described the technological design and the formulas to define the tool geometry. Then, I made calculations only for the first shoulder of the shaft. After these, I did it again for some cases, which is common in industries.

Finally, I show with pictures and comments how to create the whole tool. For the analysis, I used only the first quarter of the tool, which forms only the first shoulder of the shaft, because of time and resource savings and of course I made calculations only for this part of the shaft. So, it was easier to compare the results. Anyway, I chose the appropriate tool parameters by my comparing calculation results.

As the results shows, it can be seen, that the flow net of the shaft stay continuous, as it was expected even in the knifing zone. In spite of its name, this zone made an intensive deformation instead of cutting. I represented the forces in graphs and because of its fluctuation, which comes from the iteration method, I accurated the results with approximate lines. Thus, I could compare the calculated results with the analysis results and I can declare, that the calculated results, which is employed the upper-bound method, are slightly above the analysis results, because of the point of the method. Furthermore, the process is feasible on the given machine, according to the torque prediction of the analysis.

All in all, the tool was designed properly, which satisfy the constructional and functional requirements. The proof is the real component, which is made by the real tool.

Irodalomjegyzék

- [1]: <http://www.kovacskft.hu/>
- [2]: Dévényi György, Mecseki István – Képlékenyalakítás, Budapest, 1971.
- [3]: Z. Pater, „A study of cross wedge rolling process” Journal of Materials Processing Technology, 1998.
- [4]: Li. Q., M. R. Lovell and Z. Deng – Analysis of interfacial slip in two-roll cross wedge rolling process, 2001.
- [5]: SMERAL-ULS 160 RA – Szervizkönyv
- [6]: Metal Ravne Steel Selector (<http://www.metalravne.com/selector/steels/zf7b.html>)
- [7]: <http://www.snt.hu/cadcamcae/76838.hu.php>
- [8]: <http://www.snt.hu/news/pressroom/81902.hu.php>
- [9]: Páczelt István, Szabó Tamás, Baksa Attila – A végeelem-módszer alapjai, 2007.
- [10]: ANSYS Workbench – User’s Guide, 2012
- [11]: STFC - Deform v10.2 User’s Manual, 2011
- [12]: Quantor Form (<http://www.qform3d.co.uk/?go=20>)
- [13]: Simufact.forming 11. – User’s Manual