



OTDK Dolgozat

Kompozit modell repülőgéptörzs tervezése és gyártása

Rabata Gergő hallgató

Konzulens: Dr. Bartha Tibor nyá. okl. mk. ezredes, egyetemi adjunktus

BUDAPEST
2012

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	3.
1. KOMPOZIT TECHNOLÓGIA	5.
1.1. Kompozit morfológiák	6.
1.1.1. Szemcsés kompozitok	6.
1.1.2. Szálas kompozitok	6.
1.1.3. Lemezes kompozitok	10.
1.2. Kompozit gyártástechnológiák	12.
1.2.1. Laminálás	13.
1.2.2. Szórás	15.
1.2.3. Prepreg eljárás	16.
1.2.4. Vákuum alkalmazása	17.
1.2.5. Pultrúzió	18.
1.2.6. Tekercselés	19.
1.3. Kompozit alkatrészek minőségvizsgálata	19.
1.4. A kompozit gyártósablon kialakítása	20.
2. A CAD MODELL	21.
2.1. A tervezőprogram bemutatása	21.
2.2. A tervezés lépései	24.
3. GYÁRTÁS	30.
3.1. Próbagyártás	30.
3.2. CAM program	35.
3.3. Sablongyártás	39.
3.4. A törzs gyártása	43.
3.5. A kész törzs vizsgálata	45.
BEFEJEZÉS	46.
Felhasznált irodalom	47.

BEVEZETÉS

Dolgozatomban a gépészmérnöki alapszak CNC, CAD / CAM szakirány által megtanult ismereteimet szeretném összefoglalni egy összetett mérnöki feladat keretein belül.

A téma választása nem véletlen, korábban foglalkoztam repülőmodellezéssel, a repülés mellett az építésben is kivettem a részem, bevált repülőgép modellek kompozit törzseinek gyártásában segítkeztem egy modellezőtársaságban. Ekkor még nem tanulmányoztam a legkorszerűbb kompozit technológiákat, a legegyszerűbb és legköltséghatékonyabb megoldásokat használtuk. Csupán a repülőgéptörzs héjszerkezete készült műanyagból, a tűzfal, kabinrész és belső részek balsafából és rétegelt lemezből készültek. A szárny profilja és a vízszintes vezérsík hungarocellból lett kivágva, ezek később fenyő belépő éleket és balsafa torziós borítást kaptak. A szárnyak rögzítése a szárny elrendezésétől függően más és más megoldás alapján készült. Miután teljesen összeállt a konstrukció, a repülő dekorációt és festést kapott.

Jelen dolgozatomban szeretném a korábban használt megoldásokat továbbgondolni és egy repülőgéptörzs készítését egy másik irányból megközelíteni.

Bemutatom egy repülőgéptörzs tervezését egy 2D/3D-s modellező CAD¹ szoftverben, a modellből CAM² programot generálok, a tervezett forma legyártásához. A törzs modelljét a gyártás érdekében a hossz tengelye mentén kettévágom, így a két féltörzs formáját fogom kimarni egy előre választott faanyagból. A marásra egy viszonylag kisebb munkaterű modell marógép áll rendelkezésemre, így a repülőgéptörzs méretei korlátozottak, a törzsnek a 395 x 300 x 95 mm-es munkatérben kell elférnie.

A tervezés mellett ismertetem napjaink korszerű kompozit technológiáit és részletesen bemutatom az általam választott technológia tulajdonságait, jellemzőit.

A negatív forma marását és a törzs gyártását képekkel dokumentálom, majd a tervezés és a gyártás szempontjából következtetéseket vonok le. Ha a gyártás eleget tesz az elvárásaimnak, akkor később a repülőgép orrburkolat, kabintető, szárnyak is el fognak készülni, így teljessé téve a projektet.

A dolgozat célja bemutatni, hogy egy viszonylag egyszerűbb kompozit gyártási technológiával, nem ipari környezetben is létrehozható olyan alkatrész, test, amelyet korábban más anyagokból, sokkal időigényesebb gyártás folyamán állíthattunk elő.

¹ CAD: Computer Aided Design – Számítógéppel segített tervezés

² CAM: Computer Aided Manufacturing – Számítógéppel segített gyártás

A téma aktualitását mi sem bizonyítja jobban, minthogy a bemutatásra kerülő kompozitok, kiemelten a műanyag kompozitok, mint „korszerű anyagok”, használata az iparban egyre jobban elterjed.

Dolgozatomban kitérek a gyártásra, valamint a kivitelezhetőségére és a sorozatgyártás lehetőségére is, amely kis és nagyvállalkozások esetében is kiemelt szempont.

1. KOMPOZIT TECHNOLÓGIA

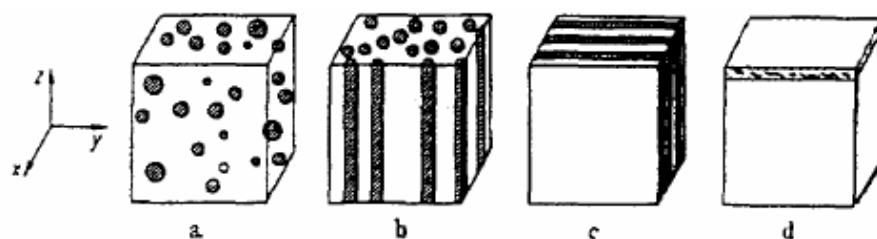
A fejezet megírásához az alábbi, az irodalomjegyzékben közölt dokumentumokat használtam fel: [1,2,3,4,5,6,7].

A kompozit anyagok, röviden kompozitok vagy társított anyagok olyan összetett anyagok, amelyek két vagy több különböző szerkezetű és makro-, mikro- és nanoméreteken elkülönülő anyagkombinációkból épülnek fel, kiemelve az anyagok hasznos tulajdonságait.

A kompozit anyagok heterogén³ rendszerek, amelyeknél az alapanyagok kémiai összetétele általában más és más. A kompozitok tulajdonságait a megfelelő anyagok társításával és kombinálásával hozzák létre, mechanikai jellemzők javítására. Ezen fő tulajdonságok az egyes alapanyagokból más eljárással általában nem hozhatók létre. A kapcsolat létrejöhet fém, fa, kerámia, polimer, üveg között. A mátrix anyag polimer, fém vagy kerámia lehet.

Az egyik alkotó a befoglaló mátrix, amely körülveszi a diszperz fázist és a közöttük elhelyezkedő határfelületnek is fontos szerepe van. A két fő alkotó előállításuk külön történik, majd utólag társítják őket. Egy másik technológia szerint a kompozitokat végső alakjukban készítik el (near-net-shape).

A kompozitok a morfológiájuk szerint lehetnek: szemcsés, szálas, lemezes vagy réteges morfológiájúak. (1.1. ábra)



A kompozitok fajtái:
a / szemcsés b/ szálás c/ lemezes d/ felületi réteges

1.1.ábra : Kompozitok fajtái a morfológia szerint⁴

³ Heterogén: Többféle és egymástól különböző elemekből álló

⁴ Forrás: <http://www.szfi.hu/~konczos/tanfolyam/9.pdf> (letöltve: 2012.09.06.)

1.1. KOMPOZIT MORFOLÓGIÁK

1.1.1. Szemcsés kompozitok

A szemcsés kompozitok felhasználása általában keménységnövelés céljából történik, csiszolóanyagok (Al_2O_3), megmunkáló szerszámok és erősáramú kapcsolók készülnek belőle.

A szemcsés kompozitok közé tartoznak a fémhabok is, ilyen az alumínium alapú fémhab, ami az autóiparban ütközőelemként használatos.

1.1.2. Szálas kompozitok

Szálas kompozitok esetében a mátrix anyagba nagy szilárdságú merev szálak kerülnek beépítésre. Szilárdság, szilárdság/tömeg arány növelés és tribológiai jellemzők javítására használhatóak. Acél és wolfram szálak előfordulása jelentős, a wolfram szálak a kerámia anyagnál a legelterjedtebbek, hiszen azok szívósságát nagymértékben javítják.

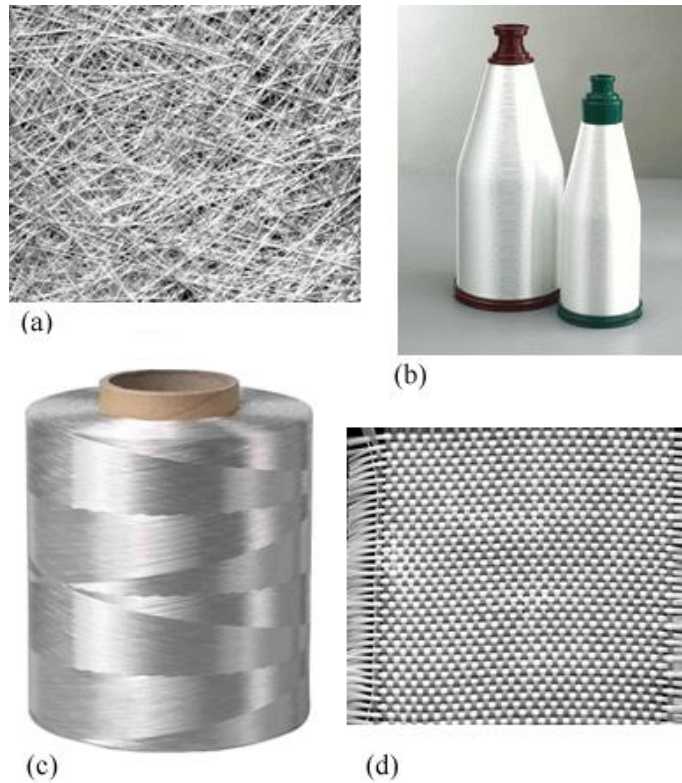
Az üvegszálas kompozitok elterjedésének oka a kedvező árak. Szálhúzáshoz kétfajta üveget használhatunk, az egyik kis alkálitartalmú bór-szilikát, ebből készül az „E” üvegszál. Üvegszál gyártására és az elektronikában is használják, hiszen különösen jó villamos tulajdonságokkal rendelkezik, emellett nagy szilárdsága van. Az „A” típusú üvegszövet gyengébb minőségű. Az üvegszál belsejében semmiféle anyag nem hatolhat be, a víz sem. Az alkálitartalom növekedése függvényében az üvegszál felülete folyamatosan víz érzékennyé válik és vizet köthet meg. Ez a réteg az üvegszál és a gyanta közötti tapadást gyengítheti. Ezen tulajdonságot tapadásnövelő anyagokkal javítani lehet.

Előállításuk olvadékból történik, az olvadékot egy több száz lyukkal rendelkező platina lemezen vezetik át, majd megszilárdulás után felcsévélik. Olcsó és elterjedt anyagok.

Az előállított üvegszálak a következő formákban jelenhetnek meg (1.2. ábra alapján):

- a) vágott üvegszál paplan: paplan, amely vágott üvegszál csíkokból épül fel
- b) üvegfonal: feltekercselt üvegszál

- c) üvegszál köteg (roving): dobra feltekert zsinórszerű üvegszál köteg, általában vágott üvegszál előgyártmány
- d) üvegszövet: többfajta szövési módban készülhet, általában 1-1,5 méter szélességű, tekercsben kapható szőtt üvegszál.



1.2. ábra: Üvegszál fajták⁵

A polimer szálak előállítása is hasonló, de itt az olvadék átjuttatása a fűvókán extruder⁶ segítségével történik.

Kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek és igen elterjedtek még az Aramid⁷ szálak, melyekben a szénlánc aromás és nitrogén tartalmú csoportokból épül fel. Különleges nyújtási technológiával készülnek, így szilárdságuk különösen magas. Ilyen elterjedt aramid szál a Kevlar®. A kevlarhoz hasonló aromás poliamid szálak (Twaron , Technora) általában 3000 MPa-nál is nagyobb szakító szilárdsággal

⁵ Forrás: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch14s02.html> (letöltve: 2012.09.06.)

⁶ Extruder: sajtoló, kiszorító

⁷ Aramid: Aromás poliamid

rendelkezik. Emellett ütésre és nyírásra is jól reagálnak, ezért sem véletlen széleskörű alkalmazásuk (pl. ballisztikai védőmellény).

A Kevlar alkalmazása általában a gumikompozitokban elterjedt, például radiál gumiabroncsok anyaga.

Nomex szálból különösen vékony kompozitlemez készíthető, melyből kompozit belső ún. méhselyt készül.

A polietilén szál nyújtással készül, így különösen szilárd szálanyag alakítható ki. Kevésbé elterjedt, hiszen 140 °C felett olvadni kezd, illetve gyenge szálkötődéssel rendelkezik.

A karbonszálak szilárdságát a szén-szén kötések és kapcsolódási módok változatossága adja. A szénből készült erősítőszál esetén a szén grafitos szerkezete kerül hasznosításra.

A szálak előállítása szénatomokat tartalmazó vegyületből indul, melyből szálakat készítenek. Ezután a szálak stabilizálása oxidációval, végkialakításuk oxigénmentes környezetben történik. A végső kialakítás szálkötegben történik, ezek akár több tízezer szálát tartalmaznak. Darabolt formában használják, ez esetben a hosszú szálkötegeket vágással rövid hosszakra darabolják, így kapják a vágott szálakat.

Kiemelt fontossággal bír a szénszálak rezgéscsillapító hatása, korrózióval, kifáradással, az UV-sugárzással szembeni ellenálló képessége. Minimális hőtágulási együtthatója, jó nyírószilárdsága és elektromos vezetőképessége is kiemelt szempont.

A szénszál ipari alkalmazása kulcsfontosságú, ipari felhasználása egyre nagyobb szerepet tölt be. Legelső alkalmazási területe az űr-, hadi-, és repülőgépipar volt, de manapság már a mindennapokban is jelen van. A sportban a horgászboto, sportautók, teniszütők elengedhetetlen építőeleme. Orvosi segédeszközök, művégtagok is készülnek szénszálal erősítéssel. A mikroelektronika a félvezetők gyártásában használja, így kijelenthetjük, hogy napjainkban egyre jobban elterjedt és folyamatosan szélesedik a felhasználási területe.

A fullerének családjába tartoznak a szén nanocsövek, amelyek nanométeres átmérőjű henger alakú, belül üreges anyagszerkezetek. A nanométeres átmérőhöz képest a hengerek hosszirányú kiterjedése több százszoros, akár centiméteres nagyságrendű. A szén nanocsöveken kívül léteznek réz, cink, titán és szilícium nanocsövek is.

A csövek vékony falát a szénatomok alkotják, de léteznek többfalú nanocsövek is. Szakítószilárdságuk magas, 63 GPa, az alumíniumnál 2-szer könnyebbek. Fonál is készül belőlük, így erős szálak és anyagok hozhatók létre, különleges szívóssággal.

Nanokompozitok szélesebb körű felhasználására és alkalmazhatóságára komoly nemzetközi kutatások folynak. A kompozit erősítőszálak tulajdonságait az 1.táblázat mutatja be.

1. táblázat: Kompozit erősítőszálak szilárdsága⁸

Száltípus	Sűrűség (ρ) g/cm ³	Szakítószilárdság GPa	Rug. Modulus (E) GPa	Szakadási nyúlás (ϵ) %	Fajl.szakadási hossz km
Üvegszál (E típusú)	2,6	2,5	72	4,8	96
Grafitszál (HS típusú)	1,78	3,4	240	1,4	190
Aramid (Kevlar 49)	1,44	3,3	75	3,6	340
Polietilén (SK66)(HOPE)	0,97	3,3	99	3,7	340
Acélhuzal	7,86	4,0	210	1,1	50

Mátrix

A szálerősítéssel kompozitok mátrixanyaga többféle lehet: fém, kerámia, polimer stb. A mátrixanyagnak jól kell tapadnia a szálakhoz és megfelelő szilárdságot kell biztosítani a kompozitnak.

Fém mátrix

A fémes mátrixú anyagok esetében a szemcse anyaga fém vagy kerámia. Porkohászati úton állíthatók elő, megmunkáló szerszámok vágóélét készítik ilyen eljárással. Ezek a keményfém lapkák éltartama megfelelő használat mellett magas, így használatuk elterjedt.

⁸ forrás: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch14s02.html> (Letöltve: 2012.09.06.)

Kerámia mátrix

A kerámia mátrixú kompozitok felhasználása leginkább erősen korrozív környezetben indokolt. Az erősítő szál valamilyen kerámia, így a létrehozott kompozit magas hőmérsékleten is szilárd marad, magas határokig nyúlásra képes.

Szén – szén kompozitok

Ezen kompozit anyagoknál mindkét összetevő, a mátrix és a szál is szén. Magas hőmérsékleten, akár 1000 C° felett is szilárdak maradnak, sőt, szilárdságuk növekszik. Kopásállóak, hővezetőképességük jó. A versenytechnikában, a repülőgépiparban és űrhajózásban is alkalmazzák a magas üzemi hőmérséklet miatt.

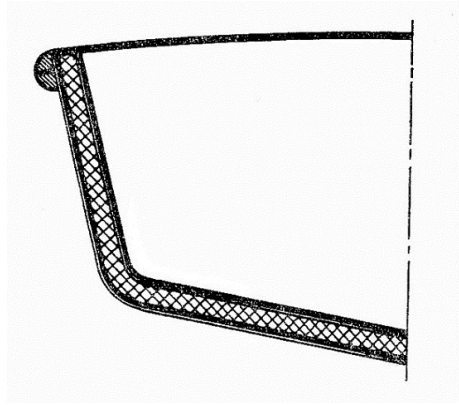
Polimer mátrixú kompozitok

A polimer kompozitok a legelterjedtebb kompozit anyagok. A legtöbb gépben, gépszerkezetben a felhasznált alkatrészek igénybevételei előzetes tervezések során meghatározhatók. A fő terhelési erővonalak irányában az alkatrésznek nagyságrendekkel szilárdabbnak kell lennie, így ezen irányokba az alkatrész megerősítésére van szükség. A polimer kompozitok szilárdsága, a mátrix és az erősítőanyag ismeretében előre tervezhető. Ezen tulajdonság indokolja leginkább a polimer kompozitok elterjedését. Erősítőszálként üveg- és a szénszálak a legelterjedtebbek. Hibrid kompozitok esetén többfajta erősítőszálat alkalmaznak ugyanazon mátrixban.

1.1.3. Lemezes kompozitok

A lemezes kompozitok réteges felépítésű szendvicsszerkezetek. Ilyen lehet pl. a furnérlemez, amelyet vékony hántolt falemezek összeragasztásával készítenek. A szendvicselemek többféle rétegből összeállított műanyag szerkezetek, amely egy magrétegből és a két oldalán takaró borítórétegből épül fel.

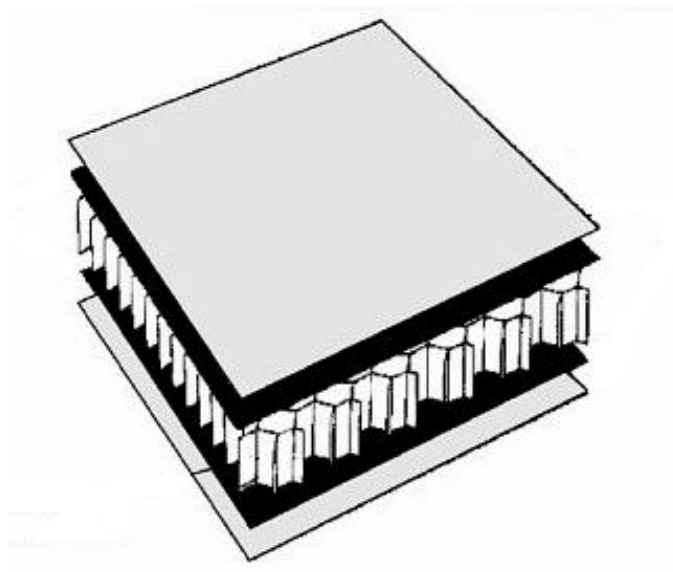
A 1.3. ábrán látható egy csónak keresztmetszeti képe, amely szendvicsszerkezetű, pozitív magra laminált külháj.



1.3. ábra: Hajó szendvicsszerkezet⁹

Az ilyen felépítésű hajóknál a két üvegszálas réteg közé műanyaghabot helyeznek el, így merev és könnyű szerkezetet hoznak létre, amely sérülés esetén is nehezebben lyukad ki. A mag anyagát szabadon megválaszthatjuk, amely könnyebb fa vagy hab is lehet.

Polimer kompozitok közül igen elterjedt lemezes kompozit a méhsejt (1.4. ábra), amelynél a mag könnyű anyag, a külső lemez síkjára merőlegesen lyukacsos szerkezetű. A mag általában hajtogatott lemez, melyek hatszögletűek, egymásra illeszkednek, erre a rétegre kerül rá a külső borítás, amely többek között a védelmet biztosítja. Ilyen lemezeket széleskörűen alkalmaznak néhány millimétertől egészen méteres nagyságrendig, ahogyan a felhasználás megkívánja. Különösen erős, de könnyű anyagok.



1.4. ábra: A méhsejt felépítése¹⁰

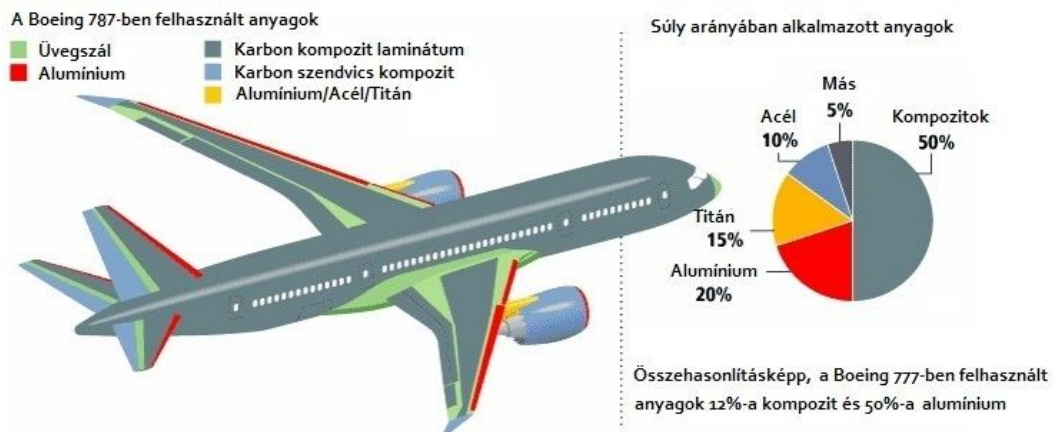
⁹ Becske Ödön: Kishajók szerkesztése és építése, 183.ábra

1.2. KOMPOZIT GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK

A műanyag kompozitok a műszaki élet számos területén egyre nagyobb teret hódítanak és próbálják kiszorítani a hagyományos anyagokat. Ennek oka, hogy számos esetben a műanyagok gyártása - főleg tömeggyártás esetén - gazdaságosabb.

Manapság már tudjuk, hogy egyes műanyagból, kompozit anyagokból sokkal jobb fizikai és mechanikai tulajdonságú alkatrészeket gyárthatunk, mint más anyagokból. Egyes esetekben a műanyag kompozitok kiszoríthatják az acél anyagokat is, de tudatában kell lennünk annak, hogy míg az acélok fáradása vizsgálható, a kompozitok esetében ez sokkal nehezebb feladat. Ehhez szükséges ismernünk a kompozitok „építő elemeit” és felépítésüket.

Többfajta műanyag közül a legelterjedtebbek az üvegszállal erősített poliészter, vinilészter, poliuretán és epoxy gyanták. Ezek szilárdságát az üvegbetét adja. Az 1.5. ábra a Boeing 787-es repülőgép szerkezetében felhasznált kompozit anyagokat mutatja.



1.5. ábra: Boeing 787 repülőgép szerkezetében alkalmazott kompozitok¹¹

Az 1.5. ábrán látható, hogy a Boeing 787-es repülőgépben is széleskörűen alkalmaznak kompozit alkatrészeket, szinte a teljes törzshossz karbon kompozitból, a függőleges és vízszintes vezérsíkok karbon-szendvics kompozitból készülnek. Ezzel szemben a Boeing 777-ben, amely 15 évvel idősebb konstrukció, még csak 12% kompozitot használtak fel, viszont az alumínium alkalmazása magasabb volt.

¹⁰ Forrás: http://www.ahrt.com/RSS-JSfeeds/AF_447_composites_tail_hypercomplexity-6E.html (letöltve: 2012.09.04.)

¹¹ Forrás: <http://siag.project.ifi.uio.no/problems/grandine/> (Letöltve: 2012.09.04. Szerkesztette: Rabata Gergő)

Kompozitok alkalmazása a repülésben

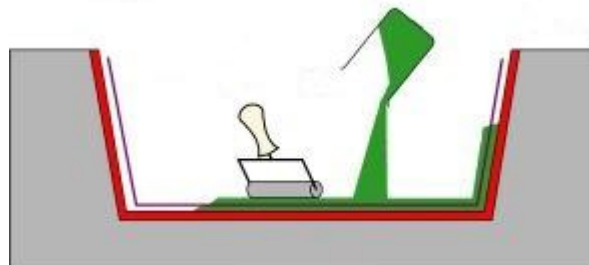
A repülőgép iparban a kompozitok legfontosabb elődei a rétegelt lemezek, később az alumíniumok voltak. Elsőként a második világháborúban alkalmaztak rétegelt lemezeket balsafa támasztóanyaggal, majd az 1940-es évek közepétől kezdték alkalmazni az üvegszálas szendvics szerkezetű anyagokat repülőgép szárnyak építésénél. A szálanyagok és gyanták fejlesztése ekkor indult be, de a szén- és bórszálak kifejlesztése még az 1960-as év végéig váratott magára, ezzel új lendületet adva az alkalmazásoknak. A mai napig világszerte egyre kiterjedtebb kutatások folynak a kompozitok alkalmazására, nem csak a repülőgép ipar számára. A repülőgép szerkezetekben a következő okok miatt alkalmaznak kompozit anyagok:

- a) kedvező mechanikai tulajdonság mellett kis sűrűség
- b) jó dielektromos hatás
- c) ellenállóság a légköri hatásokkal szemben
- d) összetett, bonyolult alakok kialakíthatósága

A következőkben a különböző kompozit gyártási technológiákat mutatom be.

1.2.1. Laminálás

A laminálás során a műgyantát és erősítő, illetve vázanyagot kell egymásra rétegesen elhelyezni. Szükség van egy sablonra, ami a kész darab alakját meghatározza, ebbe a sablonba kerül a vázanyag (pl: üvegszövet) és a gyanta. A vázanyag átítása kézi módszerrel a legegyszerűbb, a megfelelő mennyiségű gyantával kell átítani a már korábban méretre vágott vázanyagot. A sablon vagy szerszám készülhet fémből, fából illetve gipszből, erre kerül rá a korábban már tárgyalt szálerősítő anyag. (1.6. ábra)



1.6. ábra: Kézi laminálás¹²

¹² Forrás: <http://www.netcomposites.com/guide/wethand-lay-up/52> (Letöltve: 2012.09.06.)

Fontos megemlíteni, hogy az erősítőanyagokat előre meghatározott négyzetmétersúly jellemzi, az üvegszöveteké átlagosan $50-500 \text{ g/m}^2$, üvegszál paplanoké $100-500 \text{ g/m}^2$, a roving szöveteké $300-900 \text{ g/m}^2$.

A kész alkatrész tulajdonságai (tömege, szilárdsága) előre tervezhető, így a veszélyes pontokon, különleges igénybevételi helyeken erősítést alkalmazhatunk. Ez történhet többrétegű laminálással, illetve egyéb szálerősítők alkalmazásával.

Fontos megemlíteni, hogy a mátrix alapanyag térhálósodási, úgynevezett fazékidővel rendelkezik, ami az az idő, amíg az edző/katalizátor/térhálósító-val kevert gyanta felhasználható. A fazékidőt jelentősen befolyásolja a felhasználási környezet hőmérséklete. A pontos térhálósodási időt a felhasznált anyagok és hőmérséklet tekintetében beállíthatjuk, így a térhálósodás közben tartható, hiszen ha az nem tökéletesen megy végbe, akkor az előre tervezett fizikai és mechanikai tulajdonságok nem fognak teljesülni. Tudni kell, hogy vastagabb rétegű laminátum esetén a gyantában lassabban vezetődik el a hő. Üvegszál-as poliészterek felhasználása esetén mérhető a telítetlen poliészter és sztirol monomer^{13,14} exoterm láncreakciójának hő effektusa.

Poliészter gyanták esetében különösen ügyelni kell a katalizátor¹⁵ és a gyorsító¹⁶ homogén eloszlására, illetve tudnunk kell, hogy a kikeményedés után a laminátum akár 3-10%-ot is zsugorodhat.

Az epoxygyantákról általánosan elmondható, hogy drágábbak, mint a poliészter gyanták, de jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, vízállóak és jó a hőállóságuk. Az epoxygyanta átítatása nehezebb, mivel nagyobb a viszkozitása, kikeményedése lassabb. A szobahőmérsékleten végzett térhálósítást érdemes magasabb hőmérsékleten utólagos hőkezeléssel kezelni, így a gyanta szilárdsági értékei is javulnak.

Ahhoz, hogy a laminátum és a szerszám száradás után elváljon egymástól formaleválasztó anyagot kell alkalmazni. A formaleválasztó anyag kiválasztása függ a szerszám anyagától, anyagminőségétől, a forma bonyolultságától és a gyanta anyagától. Általában jó minőségű (polírozott) felületre érdemes felhordani, hiszen a szerszám felületének minősége kihatással lesz a kész alkatrész felületére. Léteznek folyékony és viasztartalmú, viaszos formaleválasztók is. Amennyiben a laminált réteg két alkatrész

¹³ Monomer: kapcsolódásra képes egyszerű molekula

¹⁴ sztirol monomer: több összekapcsolódott sztirol molekula

¹⁵ Katalizátor: Folyamatgyorsító anyag

¹⁶ Gyorsító: Fazékidőt csökkentő anyag

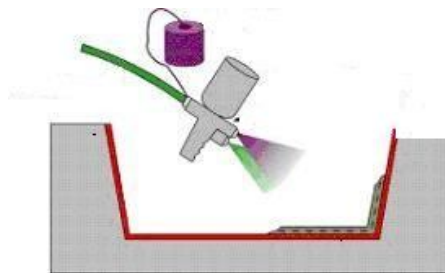
egymáshoz rögzítésére, ragasztására szolgál akkor természetesen nem szükséges a formaleválasztók alkalmazása. A szerszámra felhordhatunk úgynevezett gél réteget, amely megvédi az erősített laminált részt a külső hatásoktól, illetve megfelelő, egyenletes minőségű felületet biztosít.

Fontos megemlíteni, hogy ezen anyagokat körültekintően, megfelelő hőmérséklet mellett, fénytől védeni kell, tűzveszélyességi osztályukra vonatkozó szabályokat be kell tartani. Az alkalmazási területnek jól szellőztetettnek kell lennie, a gyanták szembe és egyéb bőrfelületre nem kerülhetnek.

1.2.2. Szórás

Szórási eljárás során elsősorban poliészter gyantát hordhatunk fel szálszóró gépek segítségével.

A gyanta és az üvegszál egyidejűleg kerül a sablonba, ez a legnagyobb teljesítményű eljárás. Gépesített, a szórópisztoly vágja az üvegszálat apró szálakká, a katalizátorral és a gyorsítóval vegyíti, így kerül a kevert gyanta a felületre (1.7. ábra). Megfelelő anyagok megválasztásával (tixotrop gyanta) függőleges felületre is szórható az anyag.



1.7. ábra: Kompozit szórási technológia¹⁷

A szórásnál és a kézi laminálásnál is egyaránt fontos az erősítőszál és a gyanta közé szorult levegő eltávolítása.

A szórási eljárás régóta alkalmazott, bevált eljárás különösen nagy és bonyolultabb felületek készítésére. A kialakított terméket általában kisebb igénybevételeknek lehet kitenni, hiszen a száltartalom és a gyanta minősége gyengébb.

¹⁷ Forrás: <http://www.novia.hu/?a=feldolgozas-technologiak&id=4&technologia=> (Letöltve: 2012.09.06.)

A munkahely levegőjét a sztirol miatt folyamatosan szellőztetni szükséges, emellett ezek a gyanták a környezetre és az egészségre fokozottan ártalmasak.

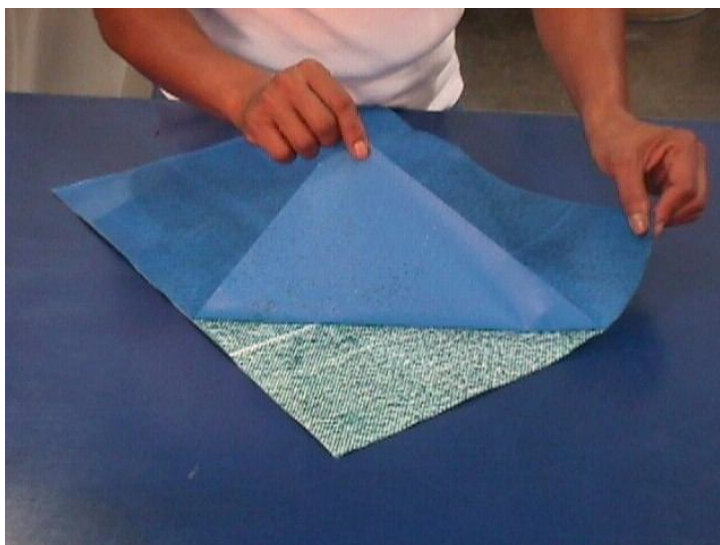
1.2.3. Prepreg eljárás¹⁸

A prepreg feldolgozás egy olyan kompozit eljárás, melynél egy előre gyártott lemez alakú szövetet használnak fel. A prepreg tulajdonképpen egy előre impregnált erősítő, amely még nem térhálósodott, lehűtve, tekercs formájában kerül eladásra. Felhasználása egyrészes, vagy kétrészes sablonban is alkalmazott, ahol a prepreg kiterítése és formába helyezése után a hőmérséklet növelésével indítható be a gyanta megömlése, majd kikeményedése. A gyártó által megadott hőmérsékletek tartásával először melegítik, hőn tartják, majd hűtik a terméket.

A gyanta anyaga bármilyen olyan anyag lehet, amelyek a térhálósodáshoz magas hőmérsékletet igényelnek. A szálerősítő anyag alkalmazása is szabadon választható.

A rendszer automatizálható, egyenletes termékminőséget érhetünk el, amely szilárd, szívós, viszont egyrészes sablonba csak az egyik felület lesz jó minőségű, sima. Általánosan hajók és tehergépjármű alkatrészek gyártására használják. A repülőgép iparban széleskörűen alkalmazott eljárás, hiszen nagyobb felületek egyszerűen és gyorsan elkészíthetők, a megfelelő tulajdonságok betartása mellett.

A prepreg eljárás késztermékére példa az 1.8. ábrán látható.



1.8. ábra: Prepreg eljárás készterméke¹⁹

¹⁸ Angolul: SMC – Sheet Moulding Compound – Lemez kompozit előgyártmány

1.2.4. Vákuum alkalmazása

Mint ahogy korábban is szó esett róla, a kompozit műanyagokban a műgyanta és az erősítőanyag megfelelő kapcsolata biztosítja a kész termék jó tulajdonságait. A megfelelő anyagvastagság/gyanta arány beállítása nehéz feladat, illetve a levegő kiszorítása is bonyolult. Ezen gondok megoldására kezdték alkalmazni a vákuumot.

Kézi laminálás esetén térhálósodás előtt az anyagból a felesleges gyanta eltüntethető, így a légzárványok eltűnnek. A laminátum felépítése hasonló, mint a kézi laminálásnál, csupán az anyag hengerelését nem szükséges olyan gondosan elkészíteni, hiszen a vákuum alatt a felesleges gyanta kiáramlik. Szükséges viszont a laminátum köré egy jól záró vákuum fólia, egy tépőszövet, amely a felső rétegek összeragadását gátolja, és egy gyantát felszívó kelme. Ezen kívül szükség van a vákuum kivezető nyílására és egy gyanta elszívó csatornára, amennyiben a kelmével nem elegendő a gyanta elszívása. A vákuumszivattyú egészen a polimerizációs meleg megszűnéséig működik, ezután kapcsolható le.

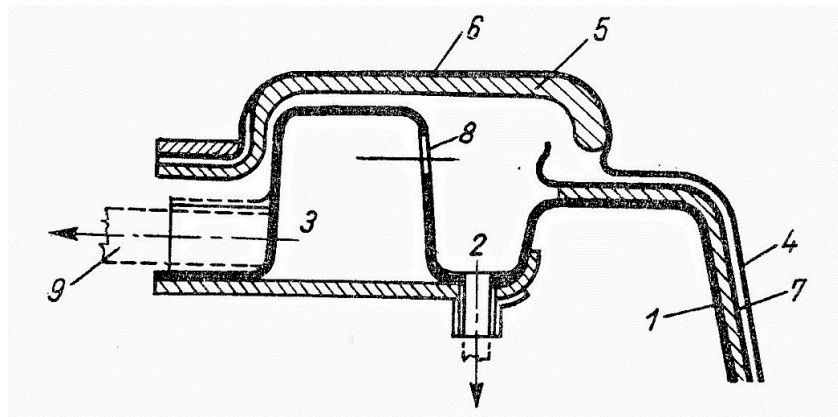
Két oldalas sablonba²⁰ az erősítőrétegeket szerszámzáras előtt el kell helyezni majd a szerszám egyik felén a gyantát engedjük be, másik felén pedig a vákuumszivattyút csatlakoztatunk. Így a vákuum hatására a gyanta felszívódik, átitatódik a teljes felületen.

Mindkét megoldásnál szinte bármilyen gyanta és szálerősítő alkalmazható, csupán a méhsejt maganyag alkalmazása nem ajánlott. Vákuumos eljárásoknál a termék akár mindkét fele sima felületű lehet, egyenletes falvastagság alakítható ki, viszont magas szerszám és eszköz költséggel kell számolni.

Az 1.9. ábra egy vákuumformázó szerszám felépítését mutatja.

¹⁹Forrás:<http://www.airtechonline.com/german/compositetools/toolmaster/New%20images/Fiberglass%20Prepreg.jpg> (Letöltve: 2012.09.06.)

²⁰ Angolul RTM : Resin Transfer Molding – „Gyanta átviteli formázás”



1.9. ábra: Vákuumformázó szerszám²¹

A szerszám részei: 1-negatív forma; 2-gyanta vezető csatorna; 3-elszívó csatorna; 4-belső, rugalmas ellenforma; 5-védőkeret; 6-gumikendő; 7-belső héj. Az elszívás a furatokon (8) megy végbe, a vákuumszivattyútól központi elszívás a (9) elszívó csatornán történik. A felesleges gyanta így elszívható a laminátumból, ami a vákuumzáró tartályba kerül.

1.2.5. Pultrúzió

A pultrúzió egy olyan automatizált gyártási technológia, amely során egy olyan folyamatosan húzott termék készül, amely hosszú, állandó keresztmetszetű. A térhálósítás végéig a termék húzásnak van kitéve, így különös szilárdsági és rugalmassági tulajdonságokkal rendelkezik. A szálkötegeket gyantával átitatják, majd egy előmelegített szerszámon keresztül, hosszirányú húzásnak kitéve térhálósítják. A kész termék száltartalma pontosan beállítható, amely különösen erős hosszirányban, de érzékeny a keresztirányú igénybevételekre.

A teljes gyártás automatizált, a kompozit termék hosszát a gyártó gép megfelelő hossza vágja. Leginkább gerendák és más állandó profilú elemek gyártására alkalmazzák.

²¹ Becske Ödön: Kishajók szerkesztése és építése, 185.ábra

1.2.6. Tekercselés²²

A tekercselési eljárás alkalmazható olyan kör vagy ovális keresztmetszetű darabok esetén, melyek igénybevételei inkább keresztirányban, mint hosszirányban jelentősek. Általában ilyenek a nyomásálló gáz és vegyi anyag szállító csövek, tartályok.

A tekercselési eljárásnál alkalmazható, a korábban említett prepreg eljárás, miszerint az előre gyártott prepreg itt felhasználható, majd autóklávban²³ magasabb hőmérséklet és nyomás alatt történhet a térhálósítás.

Másik eljárás, amikor automatizált rendszer a szálerősítőt egy gyantafürdőn keresztül vezeti, majd egy tekercselési tuskére adott hosszra feltekeri. A gyantafürdőn keresztül a gyanta tartalmát jól lehet szabályozni. Ezen rendszereknél a tekercselési szöveget a szálat vezető és alternáló mozgást végző kocsi és a tuske forgási sebessége határozza meg.

Az eljárás gyors és gazdaságos, de a kész termék kinézete miatt utólagos megmunkálást igényelhet.

1.3. KOMPOZIT ALKATRÉSZEK MINŐSÉGVIZSGÁLATA

A kompozit szerkezetek gyártása során a felhasználni kívánt alkatrészek, előgyártmányok és nyersanyagok minőségellenőrzésére van szükség. Repülőgép alkatrészek, építőelemek vizsgálatára külön-külön szükség van, így az esetleges sérülések a további élettartam és a repülésbiztonság tekintetében is fontosak.

A gyártás során próbadarabok készíthetők, amelyek azonos körülmények és technológia mellett egy olyan darab gyártását tűzik ki célul, melyek a vizsgálat során a késztermékkel teljesen azonos tulajdonságokkal bírnak. Így a használni kívánt alkatrészt nem kell megbontani, roncsolni a vizsgálatok elvégzéséhez. Sorozatgyártás esetén előfordul, hogy a minőség-ellenőrzés véletlenszerűen, a gyártásból kiragadott alkatrésszel történik, így nem szükséges próbadarab gyártása.

A kompozit szerkezetek roncsolásmentes vizsgálatokkal ellenőrizhetők. Ilyen a röntgensugárzással és ultrahanggal történő vizsgálat, kísérletek folynak infravörös

²² Angolul: Filament winding - Tekercselés

²³ Autókláv: Zárt készülék, amely magas hőmérsékleten és nyomáson tartja a benne elhelyezett terméket.

vizsgálati módszerekre is. Digitalizált eljárás a letapogató rendszerű eljárás, amely 3D-s modellt készít a vizsgálni kívánt alkatrészről, így az könnyebben elemezhető.

Ismeretes még húzó- és nyomóbélyegek alkalmazása az alkatrészeken, így akár használat közben is mérhető az ilyen irányú deformáció. Száloptikai elemek is beépíthetők a vázanyagba, így törés után ezek könnyen felismerhetők.

1.4. A KOMPOZIT GYÁRTÓSABLON KIALAKÍTÁSA

Amennyiben egy használatban lévő, bevált alkatrészről, termékről további „másolatokat” szeretnénk készíteni, akkor arról először egy negatív sablont, szerszámot kell készítenünk, aminek a felhasználásával készülhetnek az új, pozitív termékek. Figyelnünk kell arra is, hogy bonyolult felületeket több részből álló szerszámból készítsük, hogy a kész darab mindig tökéletesen, sérülésmentesen kivethető legyen a formából. Amennyiben a termékről negatív sablont gyártunk, majd abba laminálunk, érdemes különböző gyantákat alkalmazni, így kisebb az esély a termék és a sablon összeragadására.

Jelen esetben, a tervezett CAD modell repülőgéptörzs formáját marom ki, tehát egy negatív gyártószerszámot készítek. A sablon felületét, ha arra szükség van, megtisztítom, esetleg polírozom, és a formaleválasztót felhordom. Figyelemmel kell lenni arra, hogy minden felületet, egyenlő mértékben formaleválasztózzam, hiszen ez fogja biztosítani a szerszámból az alkatrész hibátlan kivételét. A szálerősítőket előzetesen a sablonba illő formára vágom, hogy azt csak a formába kelljen helyezni. Ügyelni kell a megfelelő mennyiségű gyanta bekeverésére, hiszen térhálósodás után azt már nem lehet felhasználni. Amennyiben több rétegben laminálunk, akkor tapasztalati úton meghatározható a gyanta mennyisége, hiszen ha az első átitatott rétegre újabb szálerősítő réteget terítünk, akkor az még képes lesz az előző réteg gyantáját felszívni, így a rétegenkénti gyantafogyás nem egyenletes.

2. A CAD MODELL

2.1. A TERVEZŐPROGRAM BEMUTATÁSA

A repülőgéptörzs tervezéséhez a Siemens PLM által fejlesztett Solid Edge ST4 2D/3D-s CAD szoftvert használtam. A program kiváló modellezési lehetőségeket nyújt olyan tervező/gyártó cégeknek, amelyek lépést szeretnének tartani az innovációs fejlődéssel és költségcsökkentéssel is versenyképesebbé és jövedelmezőbbé kívánják tenni vállalkozásukat. Emellett az oktatásban is fontos szerepet vállal, egyetemi tanulmányaim során 3 féléven keresztül, külön tantárgy keretében tanultam a program kezelését.

A tervezők az egyszerűbb alapformákból kiindulva, más gyakran használt alaksajátosságokat is felhasználva (furatok, lekerekítések, letörések stb.) építhetik fel az alkatrészmodellt, amely széleskörűen felhasználható programon belül műhelyrajz készítésre, vagy szerelés összeállítására. A különböző geometriájú felületek létrehozása, a formatervezés és felületmodellezés funkciója is kiemelt fontosságú egyes műszaki területeken.

A programban tervezett modell CAM programok számára is kezelhető, így más környezetben megmunkálás szimulációjára is alkalmazható. A modellezési felület kinézete fejlett, a parancsok elhelyezése strukturált, ésszerű, így egyszerű elérhetőségével, átláthatóságával is gyorsítja a tervkészítést, modellezést.

A program összetett rendszerek tervezése mellett a beágyazott tervadatkezelési rendszere segítségével olyan adathalmazokat is képes kezelni, melyekkel az adott munkafolyamat egyes részei, de teljes egésze is kézben tartható, irányítható, így nagyobb terméktervezési projektek kezelése is átláthatóbbá válik.

A programban beépített részként helyet kapott még a lemezalkatrész tervezés, hegesztés tervezés, csőtervezés és kábelkorbács tervezés funkció is, melyek egyszerű modellezéssel is létrehozhatóak, de ezen funkciókkal a tervezés még egyszerűbbé tételére törekedtek a fejlesztők.

A program saját szabványos alkatrész tárral rendelkezik, melyből könnyen megnyithatóak olyan gyakran használt szabványos alkatrészek, mint a kötőelemek, csapágys, szerkezeti acélelemek, így a tervezők az adatbázisból kiválasztva

könnyebben felépíthetik szereléseiket, időt megtakarítva szabványos és egyszerűnek mondható elemek tervezésével.

A mérnöki kézikönyv csapágyak, rugók, fogaskerekek, tengelyek egyszerűbb tervezését teszi lehetővé.

A program sűgőja számos esetben segítségünkre lehet, beépített oktatóanyagai, melyek lépésről-lépésre vezetnek végig az egyes modulok tervezésén, a kezdők és a haladók számára is tartalmaznak anyagokat.

Hagyományos modellezés

A programban két különböző modellezési technológia különíthető el.

A hagyományos modellezés a Solid Edge legrégebbi, modelltörténeten alapuló, parametrikus, alaksajátosságokkal rendelkező modellezési technológiája. A kiinduló pont a vázlat, melyből az alaksajátosságok (kihúzás, kivágás, stb..) létrehozhatóak. Az így készített modell tovább szerkeszthető és alakja széleskörű lehetőségek mellett pontosan kialakítható. A vázlat utólagos módosítása visszahat a testre, ami az alaksajátosságok hierarchikus kapcsolatát jelenti, amit a modelltörténet határoz meg. A modelltörténetben szereplő alaksajátosságok módosítása az őt követő elemek újraszámítását követeli, ami gyakran hosszú időbe telhet és az alkatrész szétesését okozhatja, így az alaksajátosságok felépítésénél körültekintően kell eljárni.

Bonyolultabb alkatrészek esetén a modelltörténetben szereplő módosítások vizsgálata időigényes, folyamatát értelmezni szükségyszerű. Szükséges a körültekintő tervezési látásmód, hogy a módosítások során a modell egyszerűen változtatható legyen és ne kelljen újraépíteni.

Ezen hátrányok kiküszöbölésére vált szükségessé egy más technológia létrehozása.

Szinkronmodellezés

A szinkronmodellezés egy hibrid technológia, mely magával hordozza a hagyományos modellezés előnyeit, de egy új látásmódot, módszert is meghatároz. Alakelem alapú, de modelltörténet független, parametrikus technológia az explicit²⁴ modellezés gyorsaságával. Ismeretlen, mások által tervezett modellek esetében megspórolható a modelltörtént vizsgálata, átalakítások és módosítások azonnal létrehozhatók, anélkül hogy a modellt pontosan ismernénk.

²⁴ Explicit modellezés: Modelltörténet nélküli modellező technológia

A szinkronmodellezés fontos kelléke a kormánykerék, amely egy grafikus fogó, ezzel mozgathatunk és forgathatunk felületeket, valamint 2D-s régiókból a kormánykerék segítségével hozhatunk létre 3D-s modelleket. Használata a modellezést felgyorsítja és egyben leegyszerűsíti.

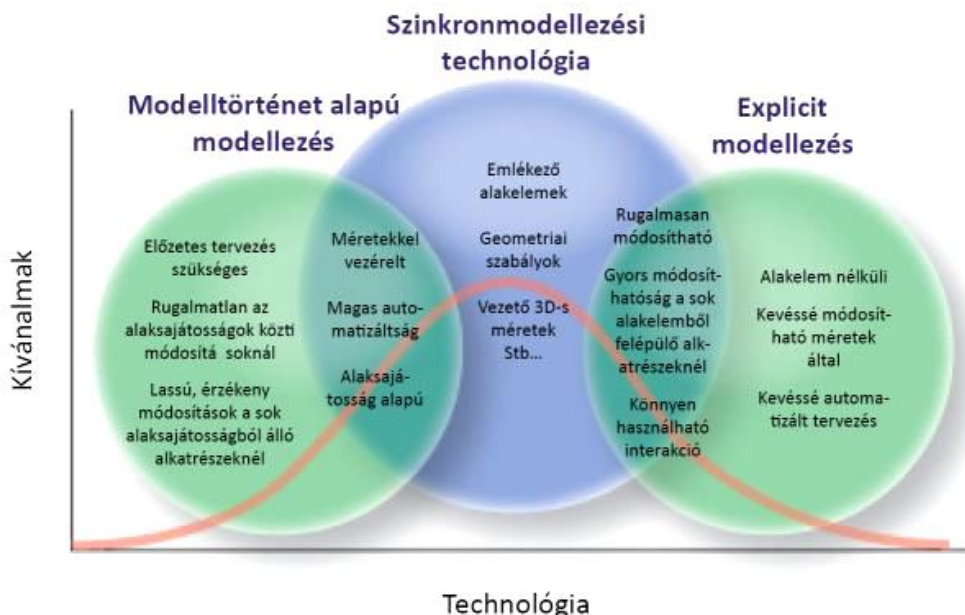
A „Geometriai szabályok” funkciók automatikusan felismerik a geometriai kényszereket a mozgatás és változtatások során. Az elején összetettnek tűnt funkció idővel megkönnyíti, hatékonyabbá teszi a modellezést.

A 3D-s vezető méretek szerkesztésén kívül is elhelyezhetők a kész geometriára, így felülírva a korábban meghatározott méreteket.

A program két technológiája közötti áttérés egyszerű, a hagyományos módszerrel készült modell szinkronmodellezési környezetben is felismert és módosítható, viszont a szinkronmodellezett alkatrész hagyományos módszerrel már nem modifikálható. A program tervezői ezzel is szeretnék ösztönözni a mérnökök áttérését a szinkronmodellező módszerre.

A szinkronmodellezési technológia tehát a hagyományos és az explicit modellezés előnyeit foglalja magába, mely létrehoz egy alakelem alapú, parametrikus, modelltörténet nélküli modellezést, amely tervezői szabadságot biztosít és a hagyományos, parametrikus rendszerek korlátait lépi túl.

A modellezési technológiák tulajdonságait az 2.1. ábra mutatja.



2.1. ábra: Modellezési technológiák a Solid Edge-ben²⁵

²⁵ Forrás: <http://www.graphit.hu/velocity/solidedge/cikkek/szinkrontech.aspx> (letöltve: 2012.09.06.)

2.2. A TERVEZÉS LÉPÉSEI

Dolgozatomban nem célokom egy teljes repülőgép sárkányszerkezet tervezésének bemutatása repüléstani, aerodinamikai, mechanikai, áramlástanai szempontból, hiszen ez egy komplex feladat, melynek a dolgozat terjedelme határt szab. A repülőgép tervezésről az alábbi irodalmak adnak bővebb tájékoztatást [8,9,10,11,12,13], amelyek egyes részeit a modell építésénél figyelembe vettem.

A repülőgéptörzs tervezéshez csupán egy, a műrepülésben és a modellezésben is egyaránt bevált, repülőgéptörzs keresztmetszeti bordáit használok fel, azokat kicsinyítem le a számomra szükséges méretre. Tisztában vagyok vele, hogy az ilyen jellegű átméretezés és módosítás a repülési tulajdonságokat nem hordozza magával, de a gyártani kívánt törzs repülési célokra nem tervezett, a kompozit gyártás lehetőségeit mutatja be. A repülőgéptörzs tervezését a Solid Edge ST4 programban valósítom meg. Figyelembe kell vennem azt a tényt, hogy a negatív sablon gyártására a használni kívánt maró munkatere 395 x 300 x 95 mm, így a repülőgéptörzs méreteit ezen méretek korlátozzák. A méretek figyelembe vételénél a törzs hossza a tűzfaltól a végéig, tehát orrburkolat és vízszintes vezérsík nélkül értendő.

Mivel a törzs szerkezete keresztmetszeti bordákból épül fel és erre van „ráterítve” a külső felület (héj), így ezt a felépítési módszert fogom a tervezés során is alkalmazni.

A műrepülésben és a modellezésben is széleskörűen ismert Extra 300 repülőgépre esett a választásom. A gyártó honlapján²⁶ megtalálhatóak a 300L és 300LP típus főbb műszaki adatai és műhelyrajza is. A gyártó által nyilvánosságra hozott^{27,28} és népszerűségének köszönhetően számos egyéb honlapokon^{29,30} is fellelhető háromnézeti rajzok tanulmányozásával kezdtem a modell tervezését. A modell tervezéséhez egyéb irodalmak anyagát is felhasználtam. [14.1,14.2,15,16,17]

A modell felépítésének első lépése a törzsbordák megrajzolása volt. A modellező program hagyományos modellezési technológiáját alkalmaztam. Az első törzsbordát, amely tulajdonképpen a repülőgép tűzfala³¹, az YZ síkra megrajzoltam. A

²⁶ Forrás: <http://www.extraaircraft.com/aerobatic/index.php> (letöltve: 2012.09.14.)

²⁷ Forrás: http://www.extraaircraft.com/aerobatic/docs/brochures/ea300l_brochure.pdf (letöltve: 2012.09.14.)

²⁸ Forrás: <http://www.extraaircraft.com/aerobatic/ex300lp.php> (letöltve: 2012.09.14.)

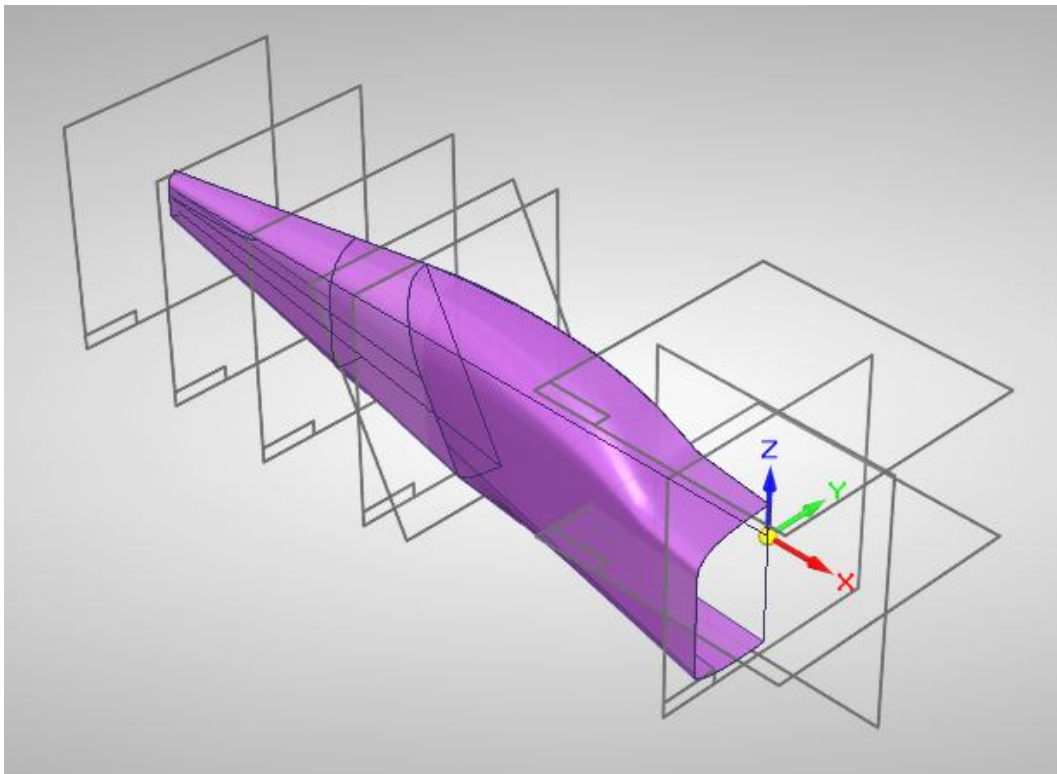
²⁹ Forrás: <http://www.f3m.com/spain/3view/Imagenes/fai%20extra%20300S.jpg> (letöltve: 2012.09.14.)

³⁰ Forrás: <http://www.f3m.com/spain/3view/Imagenes/fai%20extra%20300L.jpg> (letöltve: 2012.09.14.)

³¹ A motorteret és az esetleges tankot elválasztó megerősített fal, melyre a motortartó bakokat rögzítik.

marás tekintetében csak a bordák felét rajzoltam meg, hiszen a gyártószerszám is két fél darabból fog készülni, így a modell felépítése és megrajzolása szempontjából is ezt az elvet követtem. A további törzsbordáknak párhuzamos síkokat készítettem, amelyeken a vázlatok megrajzolhatóak. A repülőgép kabintető mögötti borda az YZ síkhoz képest párhuzamosan eltolva és 28°-ban hátra, a függőleges vezérsík irányába megdöntve helyezkedik el. A törzsbordák megrajzolása után, a bordáknak vezérgörbéket rajzoltam, amelyek a törzs oldalnézeti képéből származtathatóak és a formafelületek kialakításához szükségesek. A kabintető egyes modelleknél külön alkatrészből, esetenként a kabintető alatt elhelyezett szervók és egyéb elektronikai eszközök szerelése szempontjából könnyen nyitható mechanizmussal készül. Az én esetemben ezt egybeépítettem a modellel az egyszerűség szempontjából. Amennyiben később szükség lenne a kabintető nyithatóságára, az kisebb módosításokkal megoldható.

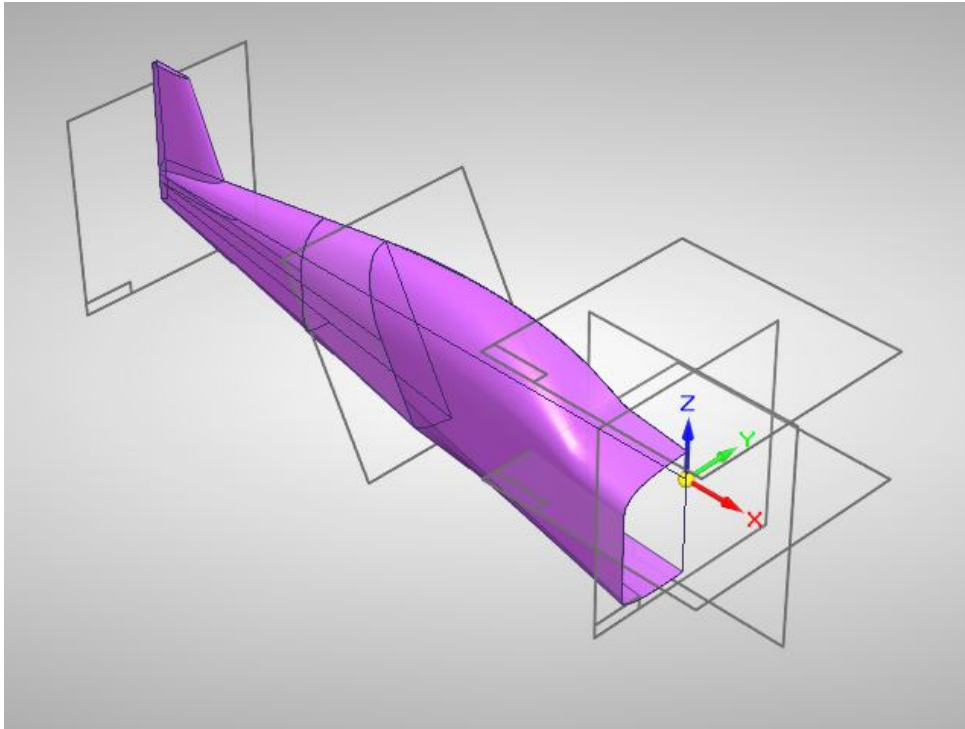
Következő lépésként a bordák és vezérgörbék felhasználásával a formafelületeket hoztam létre (2.2. ábra).



2.2. ábra: A törzs formafelülete³²

³² Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)

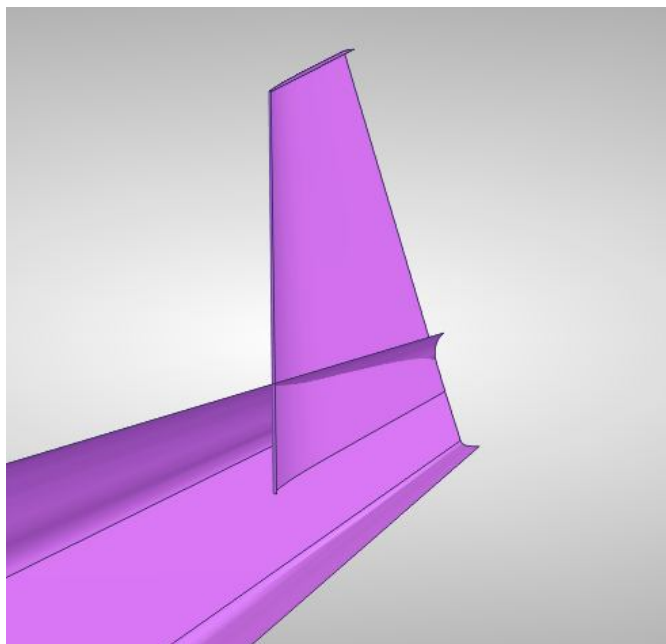
Ezután a függőleges vezérsík modellezésére volt még szükség, hiszen ez is a törzzsel együtt, egy alkatrészként terveztem elkészíteni. Az XY síkra megrajoltam a függőleges vezérsík egyik keresztmetszeti bordáját, majd az XY síkhoz képest párhuzamos, pozitív Z irányban 64,8 mm-re létrehoztam egy síkot. Erre a síkra készült el a vezérsík másik bordája. A vezérgörbék megrajzolása volt a következő lépés, ezután a vázlatokból felületeket tudtam létrehozni (2.3. ábra).



2.3. ábra: A törzs és a függőleges vezérsík felületmodell³³

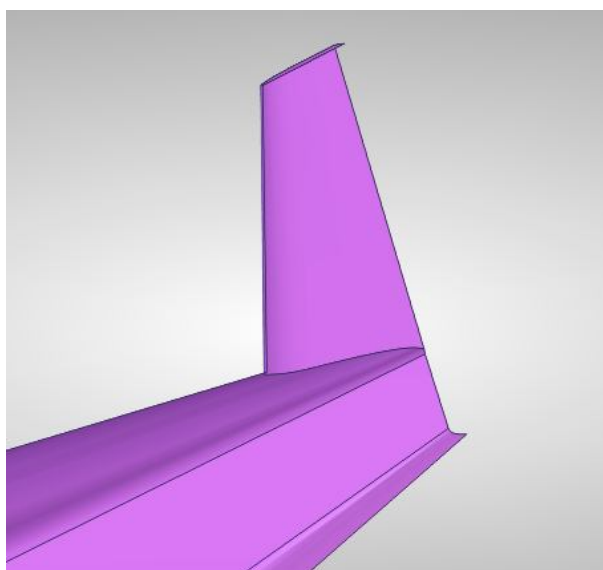
Mivel a függőleges vezérsík vázlatát az XY síkra helyeztem, ezért a formafelület is az XY síktól a következő vázlatig tart, így a két felület metszi egymást és túl is nyúl egymáson (2.4. ábra).

³³ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)



2.4. ábra: A törzs és a függőleges vezérsík felületeinek túlnyúlása³⁴

A negatív modell létrehozásához egybefüggő felületmodellre volt szükségem, így a 2.4. ábrán látható felesleges felületelemeket el kellett távolítani. Erre a felületmodellezés, „levágás” parancsát alkalmaztam, így a felesleges felületeket lemetszettem (2.5. ábra).

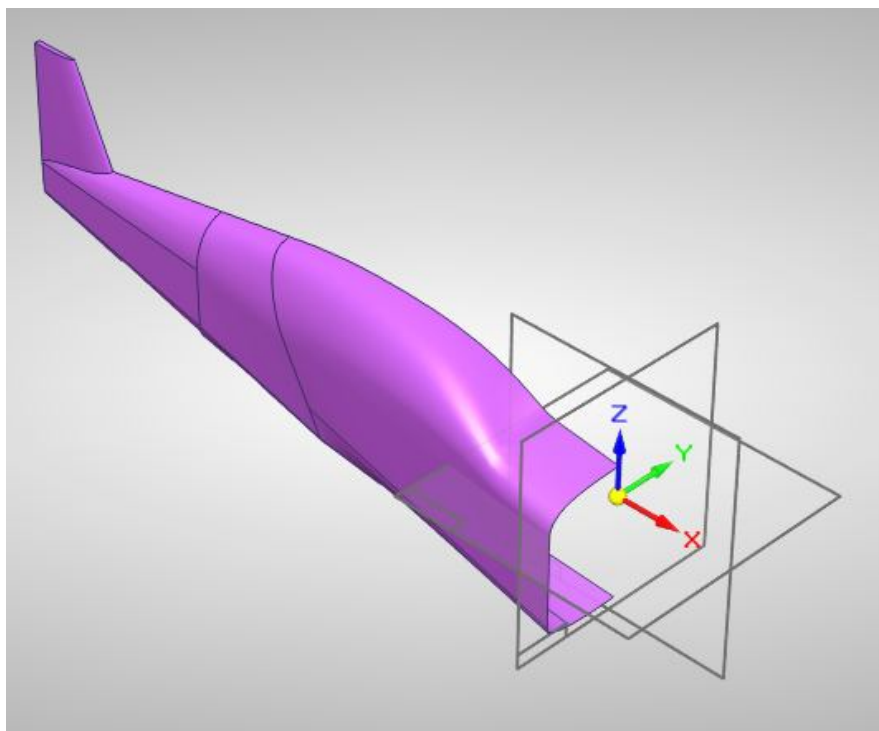


2.5. ábra: A törzs és függőleges vezérsík felesleges részeinek levágása³⁵

A törzs héjszerkezete így elkészült, a tűzfal oldala és azzal párhuzamos függőleges vezérsík záró oldala még nyitott volt (2.6. ábra).

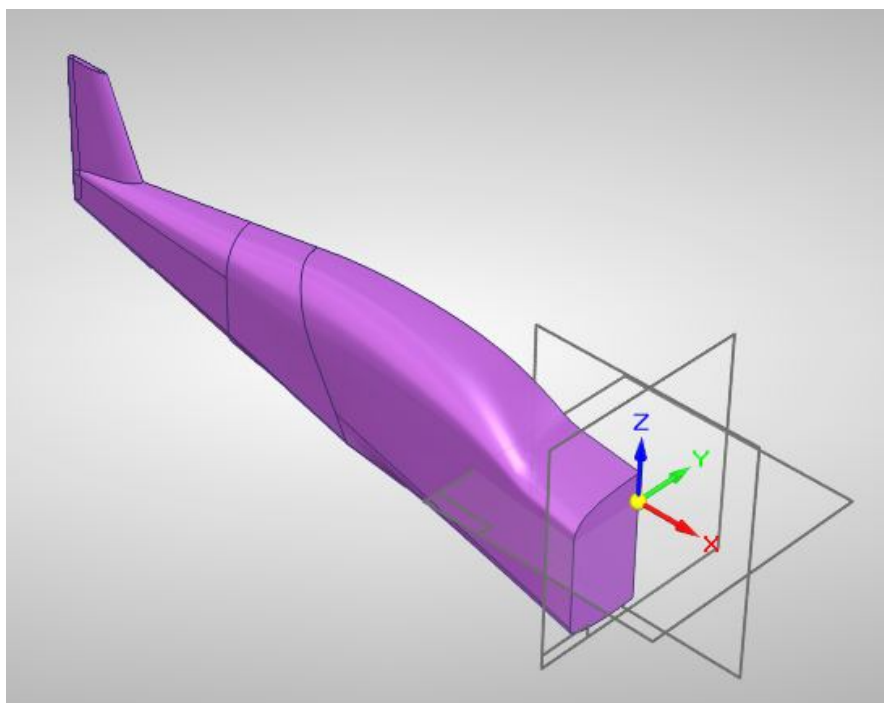
³⁴ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)

³⁵ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)



2.6. ábra: Nyitott tűzfal és vezérsík³⁶

A nyitott részeket felületekkel zártam, ehhez szükség volt újabb vázlatokra, hiszen a „határfelület” parancs csak zárt vázlatokból tud felületeket létrehozni. (2.7. ábra)



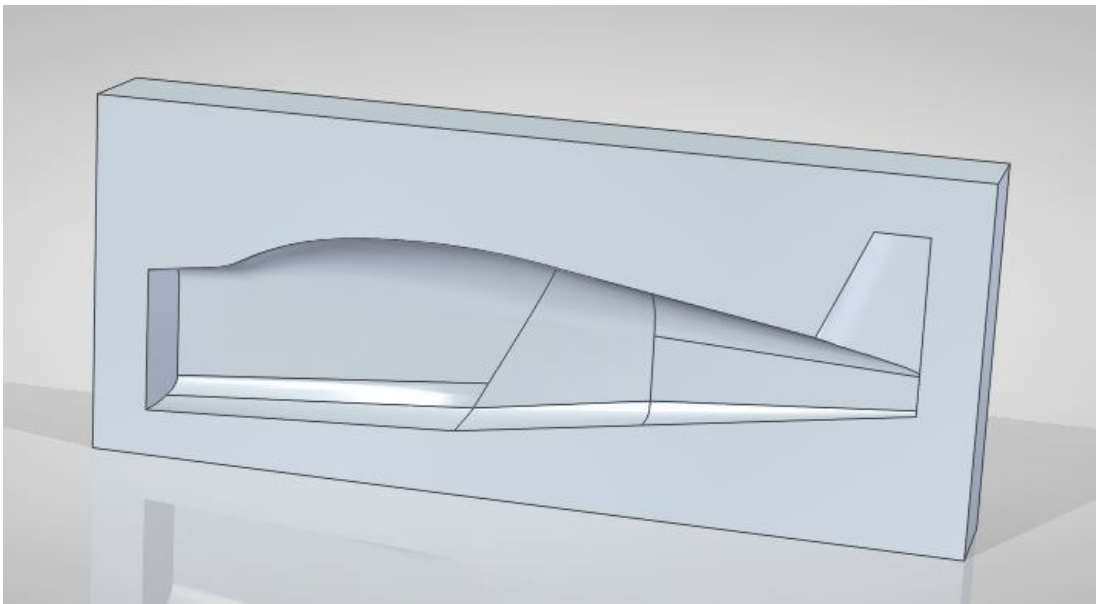
2.7. ábra: A kész felületmodell³⁷

³⁶ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)

³⁷ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)

A kész felületeket a „felületek összevonása” parancs segítségével egyesítettem, hogy az egyes felületelemek egy felületként kezelhetőek legyenek.

Az XZ síkra a műfa nyersdarab méreteivel megegyező kihúzást készítettem, a kész szerszám mérete: 150 x 370 x 42 [mm]. Boole művelet segítségével az összevont felületelemet a hasábból kivágtam, így megkaptam a maráshoz készített szerszám egyik felét (2.8. ábra).



2.8. ábra: A kész szerszám egyik fele³⁸

A teljes alkatrész bármely oldallapra való tükrözésével megkapható a másik féltörzs szerszáma, amely CAM programba importálható.

³⁸ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Solid Edge ST4)

3. GYÁRTÁS

3.1. PRÓBAGYÁRTÁS

A repülőgéptörzs gyártását megelőzően a tervezés, programgenerálás, marás és laminálás tesztelése érdekében először egy korábban szilikon formához alkalmazott szerszámot, majd egy általam tervezett szerszámot használtam lamináláshoz.

Szilikon szerszám

Az első szerszám, amelyet a kézi lamináláshoz alkalmaztam, egy korábban szilikon termék szerszáma volt. (3.1. ábra)



3.1. ábra: Szilikon formához alkalmazott szerszám³⁹

³⁹ Ábrát készítette: Rabata Gergő

A szerszám anyaga műfa⁴⁰, amelyben szilikon terméket készítettek és a hozzávaló formaleválasztót alkalmazták.

A szerszámot csiszolópapírral (P160) felcsiszoltam és megtisztítottam. A formaleválasztó megválasztásakor a Marbocote 625X ECO⁴¹ üvegszál erősítésű epoxy rendszerekhez ajánlott formaleválasztóra esett a választásom. Ez az anyag Magyarországon, ipari körülmények között is alkalmazott, de kis tételben is kapható. A legkisebb kiszerelés 0,5 dl, amely elegendő mennyiség volt számomra.

Formaleválasztózás: A formaleválasztót egy rétegben, tiszta, száraz ronggyal felhordtam, majd egy másik ronggykoronggal felpolíroztam. A film réteg lassan elszürkült és 20 perc alatt megszáradt. A műveletsort 3-szor megismételtem a termék technikai adatlapjának⁴² ajánlása alapján, melyben az adott hőmérsékletű térhálósodási idők is szerepelnek.

Laminálás: Miután az utolsó réteg formaleválasztó is megszáradt, a gyantát (Epoxy lamináló gyanta SR8500) a hozzá adagolható térhálósítóval (SD8603) kikevertem, az első réteg gyantát a szerszám felületére ecsettel vékonyan felhordtam. Ezután a szerszámba az előre méretezett 80gr/m²-es zsákszövésű szövetet fektettem és azt mindenhol átíttam a gyantával. A szövetet gondosan a szerszámra nyomtam, majd a réteg alól a levegőt kihengereltem. A szövetnek a formára illeszkedése nem volt tökéletes, mivel a szövet szálai nem tudtak oly módon deformálódni, hogy a felület minden részére felfekhessenek. A következő 2 réteg könnyebb, 24 grammos zsákszövésű üvegszövet réteg volt, gondos átíttatás és hengerlés után az szerszám és termék 40 °C-on 3 órát állt.

Termék kivétel: A termék kiszedése a darabból nehézkes volt, egyes helyeken a rétegek megrepedeztek, a formaleválás láthatóan nem volt tökéletes. A termék csak nagyon erőltetve, egyes helyeken megtöredezve került ki a szerszámból. A külső felület átvette a szerszám mintázatát (3.2. ábra).

⁴⁰ Műfa: Prolab 65 típusú Poliuretán.

⁴¹ http://www.compositematerialsltd.com/pdfs/release_agents/625X_ECO.pdf (Letöltve: 2012.09.26.)

⁴² <http://www.mcmc-uk.com/prod-data-sheet/sr-8500-860x-uk.pdf> (Letöltve: 2012.09.26.)



3.2. ábra: Termék a szilikon szerszámban⁴³

A próbagyártás tapasztalatai alapján ilyen alakos darab esetén másféle szövésű üvegszövet használata lett volna célszerű, hiszen a felületre illeszkedést a szövés mód befolyásolja és nem feltétlenül a szövet vastagsága miatt nem sikerült az alakot felvenni. Ilyen kis méretű és meredek formájú szerszám esetén jobb választás lett volna egy köpper⁴⁴ szövésű üvegszövet, de egyes termékeknél egy szövettel nem is fedhető le az egész felület, így kisebb darabokból, átlapolással készíthető a mindenhova felfekvő laminátum.

A termék felületének mintázata szinte teljesen átvette a szerszám felületének mintáját, amely már a laminálás előtti vizsgálatoknál is porózus, lyukacsos volt. A formaleválasztó tulajdonképpen a kémiai kapcsolatot megszüntette, de fizikai kapcsolat kialakulhatott, a kis lyukakba a gyanta megragadt és rögzítette a terméket, ezért volt a termékkivétel bonyolult.

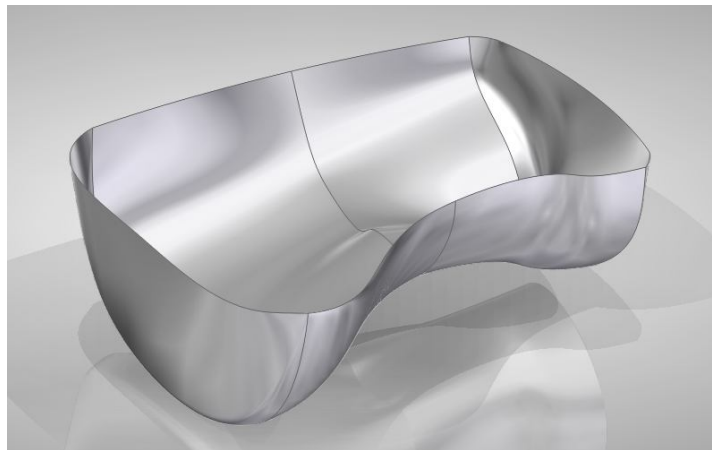
⁴³ Ábrát készítette: Rabata Gergő

⁴⁴ Köpper szövés: sávolyszövés(twill), több láncfonal keresztezése a vetülékfonallal, minden két szálát kétszeresen kereszteznek a rákövetkező lépcsőben eltolt szálal

Szabad felület tervezése és gyártása

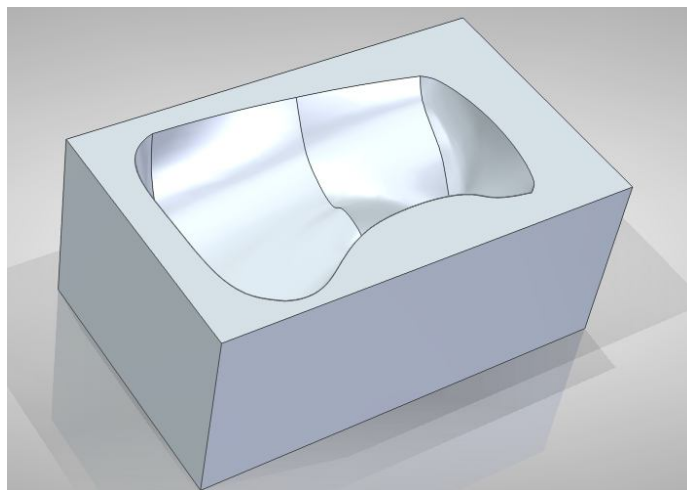
A korábbi tapasztalatok alapján a 165 gr-os köpper szövésű üvegszövetet alkalmaztam egy általam tervezett és gyártott szerszámon. A cél egy bonyolult felületi forma tervezése és gyártása volt, amelyen a kis méret és komplikált felület miatt nehéz az alakhű laminálás.

A korábban bemutatott tervezőprogramban néhány, általam kitalált egyszerű vázlatot készítettem. Az egymással csatlakozó vázlatokból formafelületeket hoztam létre, amelyből készült a késztermék negatív formája (3.3. ábra).



3.3. ábra: A tervezett felület próbagyártáshoz⁴⁵

A formát egy 55 x 90 x 40 mm-es hasázból felület kivágás (boole) művelet segítségével kivontam (3.4. ábra).



3.4. ábra: A tervezett szerszám⁴⁶

⁴⁵ Ábrát készítette: Rabata Gergő

⁴⁶ Ábrát készítette: Rabata Gergő

A tervezett szerszám az előzetes kívánalmaknak megfelelt, bár viszonylag kisméretű, de meredek felületekkel rendelkező alak lett.

A CAM program generálása⁴⁷ a CATIA⁴⁸ rendszer Megmunkálás/Felület megmunkálás programrész segítségével történt. A nagyoláshoz használt első szerszám egy D8 R1-es szármáró volt, a simításhoz egy kisebb, D6 R3 gömbvégű marót alkalmaztam. A legyártott sablon képe a 3.5. ábrán látható.



3.5. ábra: A legyártott sablon⁴⁹

A sablonba laminálás az előzőekben leírt technológia szerint történt, amely során 165 grammos köpper szövésű üvegszálat alkalmaztam kis darabokra vágva, hiszen így a forma könnyebben lefedhető volt. A sablon középső részét 4 rétegben lamináltam, a buborékokat és a felesleges gyantát eltávolítottam. A termék a sablonban 5 órát száradt, leválasztáskor a termék könnyen elvált a szerszámtól (3.6. ábra).

⁴⁷ A program készítés és gyártás lépéseit a repülőgép törzs CAM program generálás részénél részletesen leírom.

⁴⁸ CATIA: Computer Aided Three Dimensional Interactive Application – Gépészeti tervező program, a Dassault Systems terméke.

⁴⁹ Ábrát készítette: Rabata Gergő



3.6. ábra: A termék⁵⁰

A technológiát megfelelőnek találtam a repülőgéptörzs gyártásához, így később annál ugyanilyen szövésű üvegszövetet és átfedéses laminálást alkalmaztam.

3.2. CAM PROGRAM ⁵¹

A két féltörzs CAM programjának generálásához a CATIA szoftvert használtam. A Solid Edge ST4-ből .step formátumba konvertáltam a fájlt, így azt a CATIA-ban is meg tudtam nyitni. A Megmunkálás/Felület megmunkálás programrésszel felületek CAM programozására van lehetőség, ezt használtam fel a szerszám készítéséhez is.

A marógép és a posztprocesszor

A marásra egy ISEL gyártmányú, ICV 4030 típusú, szervomotoros asztali CNC marót használtam (3.7. ábra). A gép golyósorsós hajtással rendelkezik, a meghajtását szervomotorok biztosítják. A mozgástartomány 395 x 300 x 95 mm, így a tervezett

⁵⁰ Ábrát készítette: Rabata Gergő

⁵¹ Lásd:34. lábjegyzet

modellnek ebben a méretben kellett elférnie, ezt a CAD modell tervezésénél figyelembe vettem.



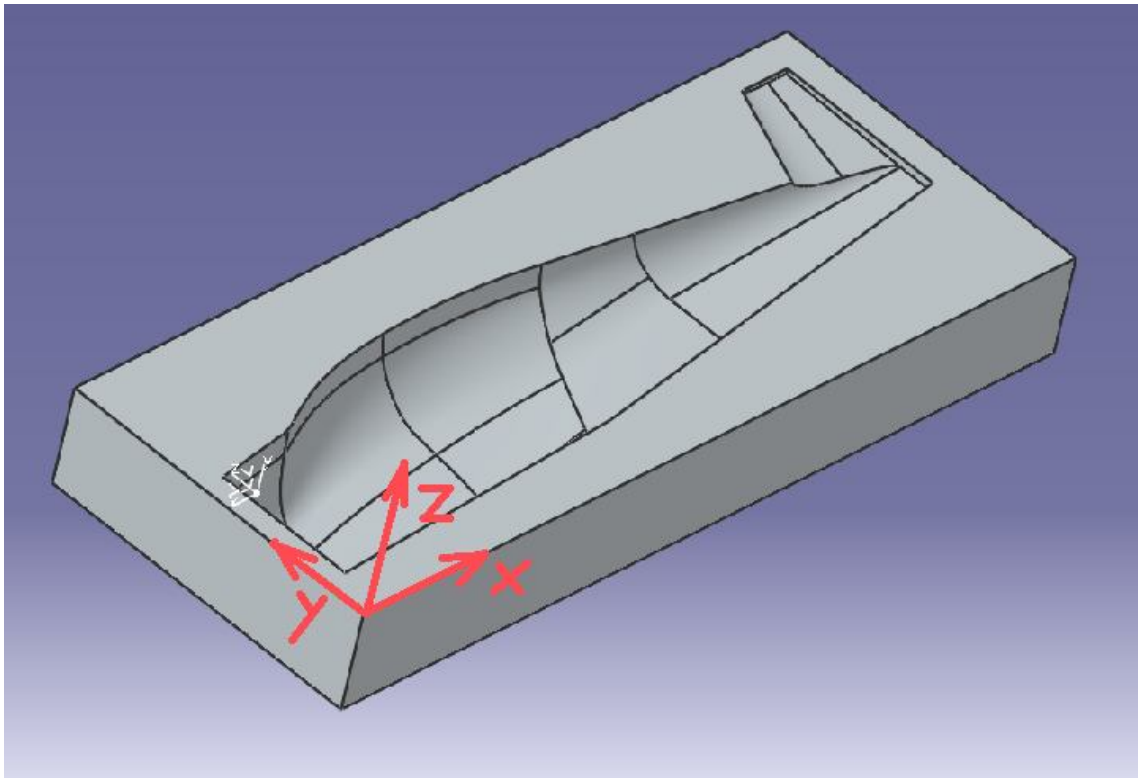
3.7. ábra: ISEL ICV 4030 marógép⁵²

A marógép belső, beépített vezérlő számítógéppel rendelkezik, egy külső megjelenítő csatlakoztatása után a vezérlő programjáról egyszerűen konfigurálható. Megmunkálható vele fa és műanyag, de fém forgácsolására nem alkalmas, ezért leginkább tanulmányi célokra és egyéb egyedi alkatrészek gyártására alkalmas.

A CATIA-ban a posztprocesszáls-hoz az IMSPPCC-V6.pptable-t használtam, a generált programot később a marógép vezérlőjében még egyszer processzálni kellett. Az NC adat típusa ISO, fontos hogy a program ne alkalmazzon 2D-s kör és 3D-s vonal és körinterpolációt, mert ezen mozgásokat nem tudja a vezérlő hibamentesen kezelni. A szerszámozást később, az egyes megmunkálásoknál állítottam be.

A következő lépés a nullpont beállítása volt, amelyet a tűzfalhoz legközelebb eső nyersdarab sarkához illesztettem, mivel a nullpont felvétel a szerszámmal itt volt a legegyszerűbb és a megmunkálás szempontjából is előnyös (3.8. ábra).

⁵² Forrás: <http://www.isel-germany.de/products/product.php?ID=p96&lang=en&oldlang=de> (Letöltve: 2012.09.06.)



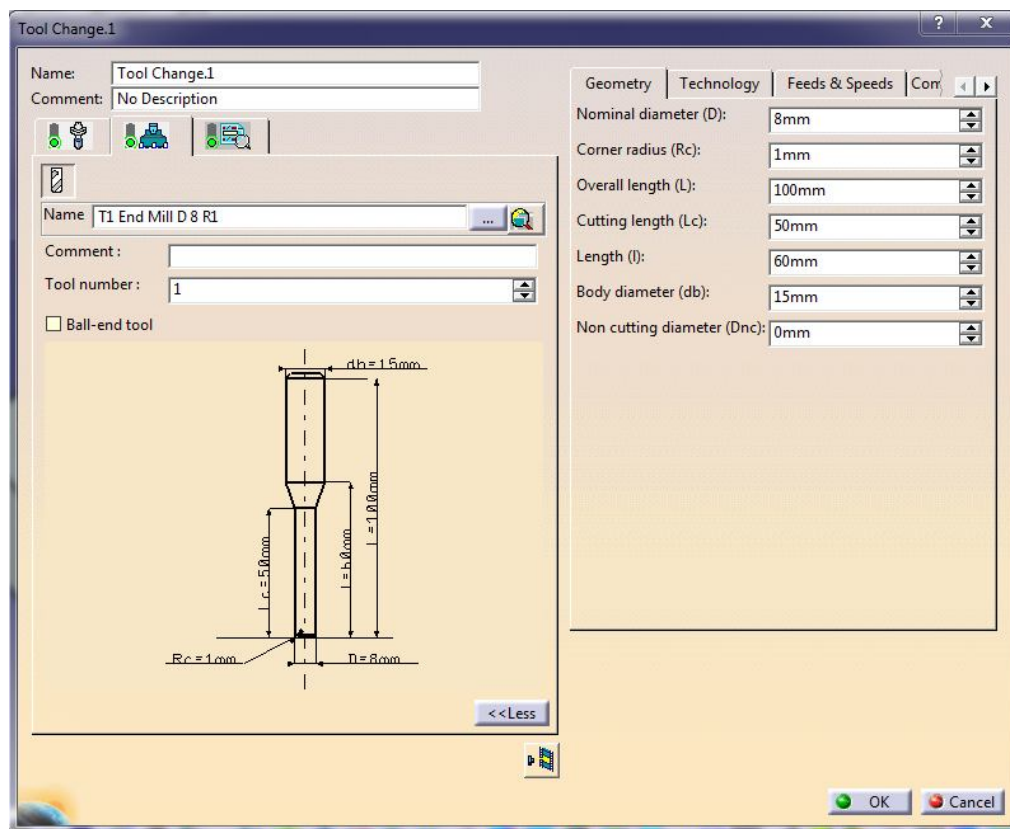
3.8. ábra: A nullpont helye a szerszámon⁵³

Nagyolás programozása

A nagyolás művelet célja hogy nagy fogásvétellel sok forgácsot távolítsunk el és ezzel darabunk megközelítőleg megkapja végleges méreteit, amelyet majd a simítási művelet készít el végleges formájára.

A nagyolás szerszáma T1 End Mill D8 R1 a 3.9. ábrán látható méretekkel. A szerszám befogása patronos, a szerszámhossz bemérés a gépben automatikusan történt.

⁵³ Ábrát készítette: Rabata Gergő (CATIA V5R20)



3.9. ábra: A nagyoló szerszám paramétereit⁵⁴

A nagyolás a formához képest 0,8 mm-es ráhagyással készült, a forgácsolás 0,8 mm-es fogásmélységgel, a szerszámhoz optimalizált és a program által felajánlott technológia szerint történt. A szerszám a fogást 3°-os bemerüléssel a forma közepén kezdte és onnan kifelé haladva forgácsolt.

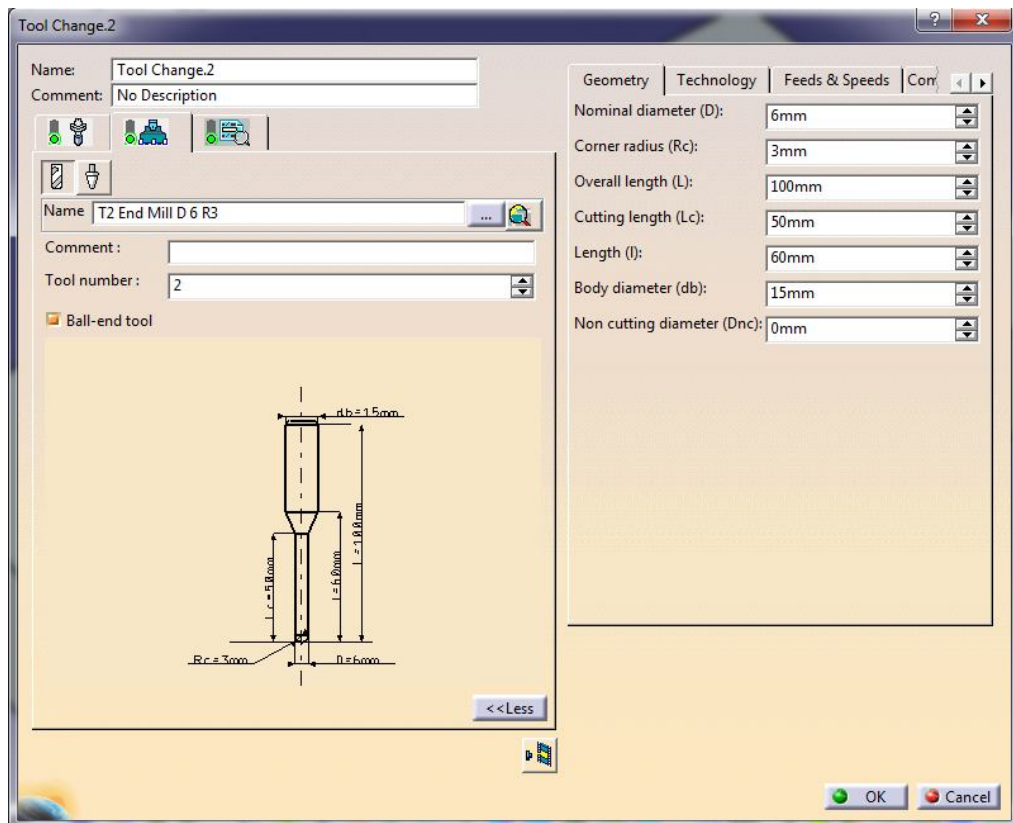
A megmunkálás időtartama a CAM program által számolva 2 óra 3 perc.

Simítás programozása

A simítási művelet a nagyolásból maradt ráhagyás forgácsolására szolgál, magas fordulatszám mellett, kis előtolással. A felületnek a későbbi sablonként való alkalmazás miatt a lehető legkisebb felületi érdességgel kell rendelkeznie.

A simítást T2 End Mill D6 R3 gömbvégű maróval programoztam, amely a 3.10. ábrán látható paraméterekkel rendelkezik.

⁵⁴ Ábrát készítette: Rabata Gergő (CATIA V5R20)



3.10. ábra: A simító szerszám paramétere⁵⁵

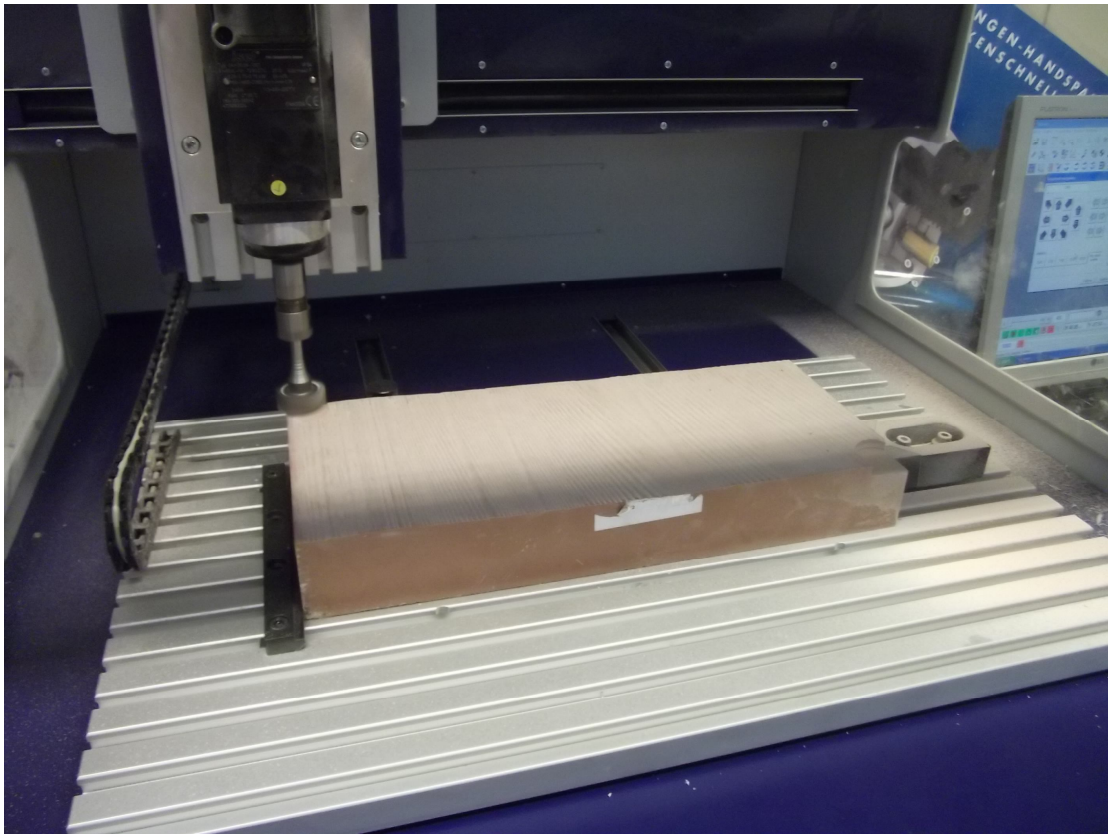
A simítás „zig-zag” pálya szerint történt, miszerint a szerszám egyik irányba is és a vele ellentétes irányba is forgácsol, így csökken az üresjáratidő. A szerszám az oldalsíkhoz képest 45°-ban forgácsolt. A technológiai paraméterek a szerszámhoz és a program által felajánlott értékekhez lettek optimalizálva.

A simítási művelet időtartama a CAM program szerint 1 óra 47 perc.

3.3. SABLONYÁRTÁS

Az előgyártmány felfogását ütközőkkel és támasztókkal is rögzítettem, illetve a két sarkán – amelyik oldalon a kontúr engedte – síkmaróval bemartam és furatokat készítettem. A bemarásra a szerszám mélységénél rövidebb csavar miatt volt szükség. A furatokba helyezett csavarral a darab az asztalhoz rögzíthető volt, így nem kellett tartanom az ütközőkből való kicsúszástól. Az első szerszám bal felső és jobb alsó sarkának marása az 3.11. ábrán látható.

⁵⁵ Ábrát készítette: Rabata Gergő (CATIA V5R20)

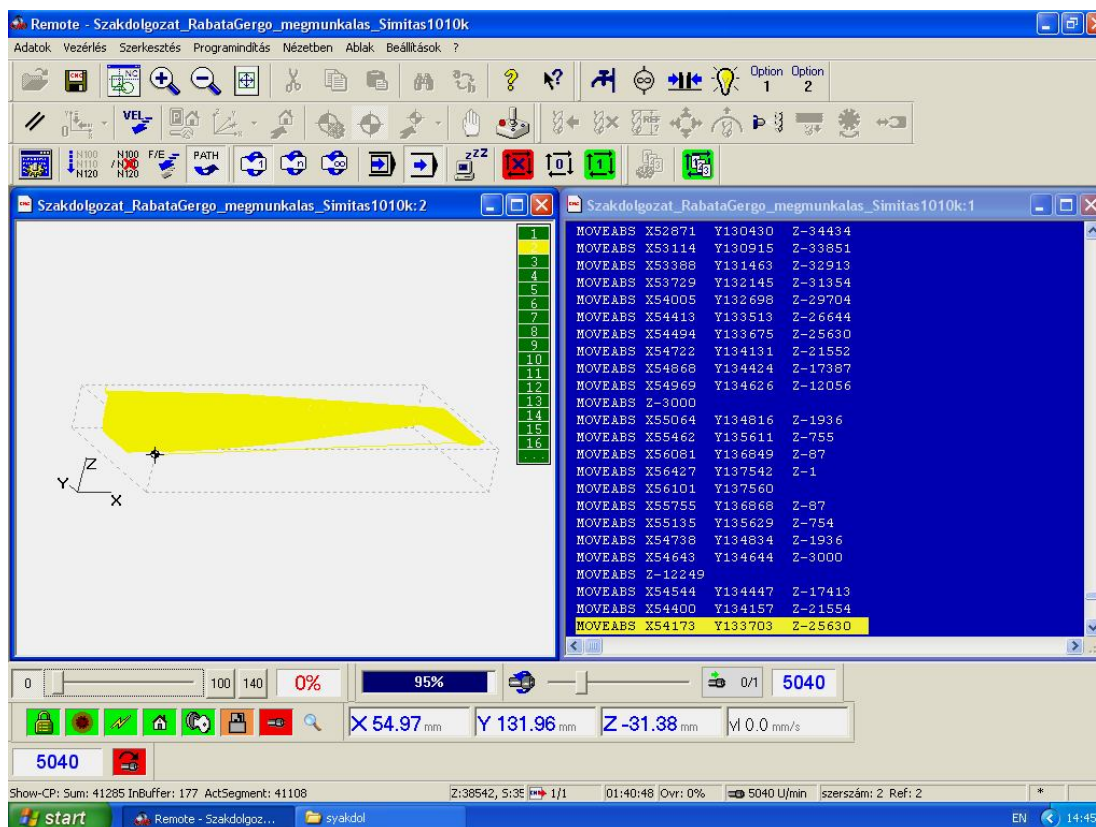


3.11. ábra: A csavarok helyének kimarása az első szerszámból⁵⁶

A marógép szerszámozása a tokmányba patronnal történt, a szerszámokat kézzel kellett cserélni. A szerszámok bemérése a szerszámcsere után, a marógép vezérlőjéről indított paranccsal a gép által automatikus szerszám bemérővel történt. A nullpont felvétel már kézi irányítással, a programból mindhárom irány érintésével történt, ezután a szerszám átmérőjét kellett megadni, így a vezérlő által kiszámítható volt a nullpont.

A CAM programot egy, a marógép vezérlőjéhez tartozó programmal fordíttatni kellett, ezután a vezérlőben látható volt az NC kód és a szerszámpálya. (3.12. ábra)

⁵⁶ Ábrát készítette: Rabata Gergő



3.12. ábra: A marógép vezérlője NC kóddal és a szerszámpályával⁵⁷

A nagyolás és a simítás külön programban lett lementve, így azt külön kellett fordítani és megnyitni a vezérlőben.

A nagyolási program betöltése után a szerszámpályát még egyszer ellenőriztem a grafikáról, majd a programot elindítottam. A nagyolás hiba nélkül lefutott. A nagyolás utáni sablon az 3.13. képen látható.

⁵⁷ Ábrát készítette: Rabata Gergő (Isel marógép vezérlő program)



3.13. ábra: A nagyolt sablon⁵⁸

A simítási programot hasonlóan a vezérlőre töltöttem és lefordítottam, a szerszámpályát ellenőriztem, majd a megmunkálást elindítottam. A simítás sikeres volt, eredménye a 3.14. ábrán látható.



3.14. ábra: A simítás utáni kész sablon⁵⁹

⁵⁸ Ábrát készítette: Rabata Gergő

⁵⁹ Ábrát készítette: Rabata Gergő

Az egyik szerszám elkészülte után ugyanezen lépéseket a másik darabon is elvégeztem, így a lamináláshoz készen állt mindkét szerszám.

3.4. A TÖRZS GYÁRTÁSA

Előkészítés, fomaleválasztózás: A törzs gyártásához a sablonok felületét megtisztítottam, csiszolásra és polírozásra nem volt szükség. Munkahelynek jól szellőztethető helyiséget választottam, ahol 23-24 °C-os hőmérsékletet mértem. A szükséges védőeszközök felvétele utána a szerszámmra 1 rétegben formaleválasztót (Marbocote 625X) hordtam fel egy tiszta, száraz ronggyal. A frekventált helyeket különös odafigyeléssel többször átkentem. 20 perc száradás után még 3 rétegben ezt megismételtem, minden esetben látható volt a filmréteg lassú száradása, láthatóak voltak hol és milyen vastagságban jön létre a formaleválasztó réteg. Az utolsó felhordás után 30 percet vártam, közben a gyantát, térhálósítót és egyéb eszközöket előkészítettem. Mint korábban említettem, a felületet több, kisebb darab szövetekből fedtem be. A geometriát látva, a törzs hátsó része 10x10 mm-es szövet kockákból, a törzs első része akár 50x50 mm-es szövet kockákból is átfedéssel laminálható volt.

Laminálás: A formaleválasztó teljes megszáradása után 50 gramm gyantát (Epoxy lamináló gyanta SR8500) és 17,5 gramm térhálósítót (keverési arány: 100:35) kimértem egy üveg edénybe. Gondos összekeverés után ecsettel egy rétegben felhordtam a laminálni kívánt felületre, igyekeztem mindenhol egyenletes réteget létrehozni. A szövetdarabokból való felületkirakást a törzs hátsó részénél kezdtem majd a törzs eleje felé haladtam egyre nagyobb szövetek alkalmazásával (3.15. ábra).



3.15. ábra: A felület kirakása szövetekből, átfedéssel⁶⁰

⁶⁰ Ábrát készítette: Rabata Gergő

Az első réteg után a levegőt kinyomkodtam ecset, henger és pálcák segítségével. Miután meggyőződtem arról, hogy a felület buborékmentes, a következő réteg szövetet fektettem a felületre. Mivel az előző rétegből fennmaradt gyanta tudott csak átitatódni, így szükség volt gyanta felhordásra, de olyan mennyiséget nem igényelt, mint az első réteg. A teljes felület lefedése után a buborékok és a felesleges gyanta felitatása történt. A művelet hasonlóan ismétlődött a másik szerszámmal, a térhálósodás elindulása előtt sikerült mindkét laminátumot elkészíteni (3.16. ábra).



3.16. ábra: A szerszámba elkészített laminátum⁶¹

Termék kivétel: A termék szobahőmérsékleten 24 órát száradt a szerszámban, a sablontól való elválása könnyedén ment. termékek felesleges részeit levágtam, majd síkba csiszoltam, így a két felet össze tudtam illeszteni. (3.17.1. – 3.17.2. ábra)



3.17.1. ábra: A két féltermék összeillesztve⁶²

⁶¹ Ábrát készítette: Rabata Gergő



3.17.2. ábra: A két féltermék összeillesztve⁶³

3.5. A KÉSZ TÖRZS VIZSGÁLATA

A kész modell repülőgéptörzset funkcionalitás és minőség alapján megvizsgáltam. Az alakhűség a CAD modellhez képest tökéletes, a két fél darab pontosan illeszkedett egymáshoz. A kabintető ívelt formája, a meredeken szűkülő törzs és viszonylag kisméretű függőleges vezérsík a repülőgép típus felismerhetőségét segíti. A szárnyak, vízszintes vezérsík és kormánylapátok megépítésével a gép típusa teljesen beazonosítható lenne.

A repülőgéptörzs külső felületén láthatóak lyukacsos részek, amelyek a laminátum gyártásakor, a szövet és a szerszám között maradt levegő miatt alakult ki. Kézi laminálás után, de még a térhálósodás beindulása előtt vákuum alkalmazásával ezen buborékok eltüntethetőek, illetve a lamináláshoz szükséges gyanta mennyisége is kisebb lett volna, így súlycsökkenés érhető el. A kétrétegű teljes törzs 77 gramm, ezt kevesebb réteg alkalmazásával még csökkenteni lehet, bár szilárdsági szempontból a kétrétegű laminálás jó döntésnek bizonyult.

⁶² Ábrát készítette: Rabata Gergő

⁶³ Ábrát készítette: Rabata Gergő

BEFEJEZÉS

Dolgozatomban hasznosítottam a tanulmányaim alatt megtanult mérnöki ismereteimet egy olyan összetett feladat keretein belül, amelyben a számítógépes tervezés és gyártás területén is az eddig elsajátított ismereteimet felhasználni és bővíteni tudtam.

Összefoglaltam a kompozitokról megszerzett ismereteimet, majd bemutattam a repülőgéptörzs tervezésének lépéseit. Próbagyártások során megállapítottam a megfelelő gyártási technológiát és tapasztalatok alapján a használni kívánt anyagokat meghatároztam. A törzshöz gyártószerszámot terveztem és készítettem, amelyet felhasználva elkészítettem a kompozit modell repülőgéptörzset. A modellrepülőgép repülőképpé tételéhez elkészíthető a hungarocell szárny, a belső felfogató részek és az orrburkolat, majd a kész repülőgép festhető, dekorálható. Ekkora méretben az elektromos hajtás javasolt, ennek pontos kiválasztása a számolt felületi terhelések és repülési igények után lehetséges.

A dolgozatból kiderül, hogy az alkalmazott kompozit anyagok korszerű anyagok, fejlesztésük folyamatos nemzetközi kutatások témája, alkalmazásuk egyre jobban elterjed. Vizsgálatukra, tesztelésükre számos vállalat fordít energiát, a jövőbeni szélesebbkörű használatuk reményében.

A dolgozatban alkalmazott gyártástechnológia egy egyszerű, viszonylag könnyen elvégezhető, kisebb eszköz és anyagköltségű eljárás. Ipari környezetben a technológia fejlesztésével a sorozatgyártás megvalósítható, így a gyártási költségek alacsony szinten tarthatóak. Ezen szempontok alapján kis és nagyvállalkozások számára is érdekelté válhat kompozit termékek gyártása és felhasználása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.szfki.hu/~konczos/tanfolyam/9.pdf> (Letöltve: 2012.09.06.)
- [2] <http://www.novia.hu/?a=feldolgozas-technologiak> (Letöltve: 2012.09.08.)
- [3] CZVIKOVSKY-NAGY-GAÁL: *A polimertechnika alapjai*, Műegyetemi Kiadó Budapest, 2000. 453.p., (ISBN: 978 963 420 6217)
- [4] <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/pr01.html> (Letöltve: 2012.09.06.)
- [5] BECSKE ÖDÖN: *Kishajók szerkesztése és építése*, Műszaki Kiadó, Budapest, 1974, 359.p., (ISBN 963 10 0461 9)
- [6] DR. KOVÁCS LAJOS : *Műanyag zsebkönyv (4. kiadás)* , Műszaki Könyvkiadó, 1979, 1012.p., (ISBN 963 10 2695 7)
- [7] PALCSEK ISTVÁN: *Kompozitok alkalmazása a repülésben*, Tudományos Diákköri pályamunka, Killián György Repülő Műszaki Főiskola, 1987
- [8] SZALAI IMRE: *A repülés mechanikája*, Műszaki Könyvkiadó, 1991, 233.p., (ISBN:963-10-8969-X)
- [9] CSOBOTH TAMÁS: *Repülőgépszerkezettan*, Magyar Repülő Szövetség, 1954, 336.p., (ETO:629.735.02)
- [10] ZSABROV A. A: *A repülés elmélete és technikája*, M. Repülő Szövetség, 1954, (ETO:533.6 , 2 kötet)
- [11] HÁRSFALVI SÁNDOR: *Repülő-modellezés*, Műszaki Kvk , 1978, 141.p., (ISBN:963-10-2364-8)
- [12] A. MOURITZ: *Introduction to aerospace materials*, Royal Melbourne Institute of Technology , Australia , 2012 , 640.p.(ISBN 1 85573 946 1)
- [13] http://rht.bme.hu/letoltesek/Dr.Gati%20Balazs%20anyagai/repserk/Repulogepek%20szerkezete%20v20_draft.pdf (Letöltve: 2012.10.14.)
- [14.1] *Repülési lexikon I. kötet*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991, (ISBN: 963 05 6208 1)
- [14.2] *Repülési lexikon II. kötet*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991, (ISBN: 963 05 6209 X)
- [15] SZEMLÉLTETŐ KÉPES SZÓTÁR – *A repülés*, Lux Primo Kiadó, Budapest , 1993 , (ISBN: 963 7658 11 4 , 63.p.)
- [16] DR. GÁTI BALÁZS – KONCZ IMRE: *Repülőgép Szerkezettan* (cikk, pdf)

[17] <http://www.gyartastrend.hu/cikk/csucstechnologia-magyarorszagon-igy-terveztek-besenyei-peter-uj-repuelgepet-kepek> (Letöltve: 2012.10.14.)

Lábjegyzetben felhasznált hivatkozások:

<http://www.szfki.hu/~konczos/tanfolyam/>

<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch14s02.html>

http://www.ahrtp.com/RSS-JSfeeds/AF_447_composites_tail_hypercomplexity-6E.html#.UIhQm2_ZZKA

<http://siag.project.ifi.uio.no/problems/grandine/>

<http://www.netcomposites.com/guide/wethand-lay-up/52>

<http://www.novia.hu/?a=feldolgozas-technologiak>

<http://www.extraaircraft.com/aerobatic/index.php>

http://www.compositematerialsltd.com/pdfs/release_agents/625X_ECO.pdf

<http://www.mcmc-uk.com/prod-data-sheet/sr-8500-860x-uk.pdf>