

Additív gyártási technológia alkalmazása a hajózásban

A hajózás különböző kérdéseivel viszonylag ritkán foglalkozunk. Ezért is lehet érdekes egy új technológia, egy korszerű eljárás bemutatása a hajóépítés területén.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.5>

Lévai Emese – Ficzer Péter

BME Vasúti járművek és járműrendszeranalízis Tanszék
e-mail: levai.emesesarolta@edu.bme.hu, ficzer.peter@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológiai megoldások előnyös műszaki és gazdasági tulajdonságaik miatt megjelentek a vízi közlekedésben, a hajógyártásban is. Az eljárás fontosságát jól szemlélteti, hogy annak ellenére terjedt el kevesebb mint egy évtized alatt, hogy a kézi vagy kézi-és kisépítő hajógyártásról való technikai váltás drága és időigényes. Az utóbbi évek tapasztalata, hogy az ezekkel járó kockázat vállalása érdemes volt, hiszen időközben a tavi hajózás fellendült, a hajók iránti kereslet a magánszemélyek részéről megnőtt, így a gyorsaság, a termelékenység szempontja előtérbe került. Mára a versenyzésből teljesen kiszorították a fahajókat műanyag társaik. Érdekessége a témának, hogy a gyakorlati visszacsatolás éppen napjainkban zajlik, hiszen az ilyen módszerrel készült első hajók életében most jönnek a „kritikus” évek, azaz most láthatjuk, hogy a 3-5 éves, gépi additív gyártástechnológiával készült hajók hogyan működnek azokkal a hajókkal szemben, amelyek kézi felrakó eljárásokkal készültek. Utóbbiak esetében 3-5 év után a delaminálódás garantáltan jelentkezett, csak a mértéke függött a munka igényességétől és az igénybevételtől. Tapasztalatok szerint a köznyelvben „3D nyomtatott” hajók tönkremenetele anyagtechnológiai okokból később végebe.

2. ŐSMINTÁK ÉS SABLONOK: SZERSZÁMGYÁRTÁS A HAJÓZÁSBAN

A kishajók gyártását alapvetően két nagy csoportra osztjuk [1]: egyedi és sorozatgyártásra. Mindkettőnél nagy jelentősége van a váz felállításának. Az egyedi gyártás esetében nincs sablon, csak egy mintaváz. Ezt jellemzően kézzel alkotják meg, főként fából, esetenként fémből [2]. Belátható, hogy ebben a lépésben a pontosság rendkívül fontos, hiszen a két oldalon bármilyen pontatlanság aszimmetriát okozhat. Az aszimmetria pedig működés közben feszültségeket eredményez, főleg, ha figyelembe vesszük a ráépülő testet, ami már nem is lehet hibátlan, hiszen a mintaváza sem volt az, ami tovább növeli a hibát. Bár indokolt lenne, ősmintát ritkán nyomtatnak egyedi hajókhoz, mivel ez nagy mértékben növeli a költségeket. Egyedi hajóknál így a teljes hajó kinyomtatása terjedt el. Erre jó példa a 3Dirigo nevű hajó, amely még a nevét is arról kapta, hogy a teljes test egy csarnokban készült, aminek majdnem teljes területét egy Ingersoll 3D nyomtató foglalja el.

A nyomtató működését úgy lehet leírni, hogy egyesíti a tintasugaras irodai nyomtató és a felrakó hegesztés tulajdonságait. Előbbire annyiban hasonlít, hogy a vezérlés a számítógépes mintán vezeti végig a nyomtatófejet és a fej az

1. ábra: A világ legnagyobb, csak és kizárólag additív gyártási eljárással alkotott hajó nyomtatójának modellje [3]



adagoló tárból az út teljes hosszán anyagot visz fel a felületre. A különbség nyilván egyrészt az, hogy az adott modell nem két-, hanem háromdimenziós, másrészt, hogy a hozaganyag nem (vagy csak részben) festék, leginkább fém vagy műanyag. Ebben inkább a felrakó hegesztéshez hasonlít, ahol gyakran több anyagréteget is egymásra dolgoznak. Ezzel a technológiával egy 100 láb hosszú, 22 láb széles, 10 láb magas (30,48 m hosszú, 6,7056 m széles, 3,048 m) hajó mindössze 72 óra alatt készül [4].

A másik hajógyártási típus a sorozatgyártás, amelyhez sablonra van szükség. Ennél az opciónál az additív technológiák a sablonkészítésnél játszanak szerepet, mert a költség-hatékonyságból adódóan olcsóbb egy sablont pontosan legyártani és utána, – felhasználva a régebbi műhelyek alkalmazotti tudását – már hagyományos módszerekkel (pl. kézi felrakó eljárás) elkészíteni a készterméket.

2. ábra: A hajó nyomtatot farrésze az eljárás kb. nyolcadik órájában [5]



3. ábra: A nagyobb darabokat sokszor kézzel kell összeszerelni, mert a viszonylag nagy íves elemek gépi gyártás során elbillenhetnek [6]



Ebben a kategóriában a nyomtatott sablonnal szemben sokkal magasabbak az elvárások, mint az ősmintával szemben. A sablonra közvetlenül kerül fel a rétegrend szerinti teherviselő szerkezet, és ez nagyban befolyásolja a ráfektetett készterméknek nemcsak az alakját, hanem a felületi minőségét is. Ez utóbbi azért meghatározó paraméter, mert a sablonról gyengébb felületi minőséget örököelve, a hajókat egyesével ezen a téren javítani, idő- és pénzvesztés, és nagyon kockázatosá teszi azt, hogy megtérül-e a sablongyártásnak ez a drága módja.

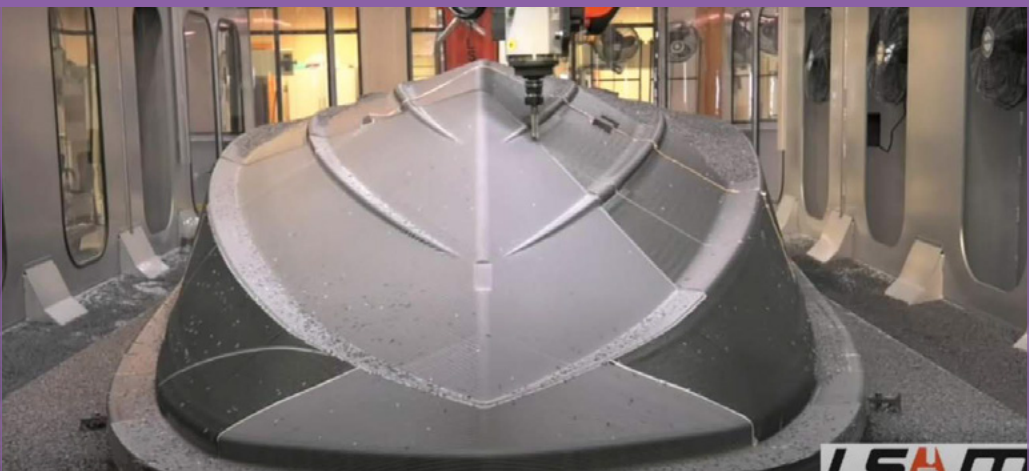
jelenleg ismert hajóépítő anyagok közül – ez a legkörnyezetszennyezőbb hulladék. Másik nagy probléma az, hogy a munkafolyamat nagyban függ a szakemberek tapasztalatától, akik a felhordást (akár kézzel, akár pisztollyal) végzik. A humán tényező a sok szabadságfokú munkaeszköz miatt, két azonos modell nagyon eltérő minőségben készülhet el, ami kívülről nem is látszik [7], csak a gyors tönkremenetelben mutatkozik meg.

Említeni kell ehhez a kérdéskörhöz, hogy mind a kézi-, mind a vákuumos technológia nagyon alacsony termelékenységgű; egy 8 láb

3. ANYAGOK

A gyártásban fontos az anyagválasztás is. A régi technológiák két fő hátrányát figyeltük meg: a laminált, réteges anyag esetén előbb vagy utóbb delaminálódás következik be [2], azaz a rétegek elválnak egymástól és közéjük víz kerül. Ez pedig nem, vagy csak ideiglenesen javítható. Amennyiben az elválás bekövetkezik a hajó nem csak használhatatlan lesz, de kidobva – a

4. ábra: Utólagos felületmegmunkálás a kész hajón. Nagy sebességeknél az ellenállás ilyen módú csökkentése akár a kN nagyságrendbe is eshet [6]



(2,4384 m) hosszú vitorláhajó 1 200 munkórát igényel nyáron és tavasszal, (télen a kötési idő miatt némileg ennél is több), ráadásul az ajánlattételnél is probléma a pontatlan emberi munka miatti kiszámíthatatlanság. Mindkét problémára választ adhat a gépi 3D nyomtatás: a gyártott hajótest a legtöbb esetben homogén anyagból épül fel, így a delamináció veszélye nem áll fenn. Ugyanakkor, amennyiben a szerkezet indokolja (például hosszú testeknél, amikor a belső elrendezés a keresztirányú bordázat sűrítését – merevítés céljából – nem teszi lehetővé) heterogén anyagréteg is felhordható, mert egyes nyomtatók képesek a szálerezített műanyagokhoz hasonló falat létrehozni. Ez utóbbi, bár hasonló a kézzel készített laminálthoz, minőségében jobb annál. A gépesítettség pedig az emberi tényezőt váltja fel, javítja ki. Versenyhajóknál kifejezetten előnyös az eljárás, mert a beágyazott üveg vagy aramid szálak merevebb testet eredményeznek, emiatt a keresztirányú merevítés a hajó belsejében elhagyható, a szerkezet pedig könnyebb lesz.

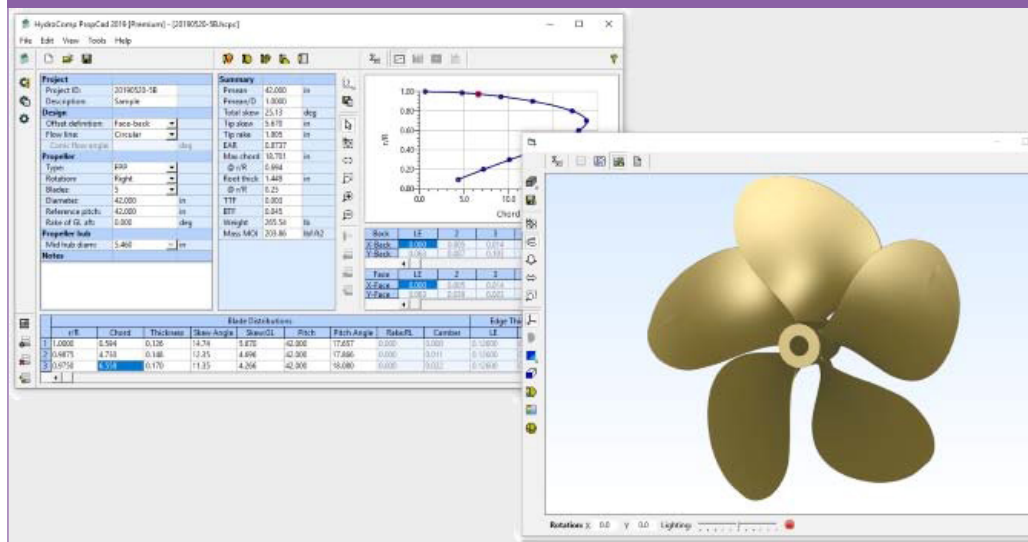
4. EGYÉB, A HAJÓZÁSBAN FONTOS ALKATRÉSZEK

A verseny- és túrahajózásban nagy az egyedi modellek száma. Ha egy hajótest egyedi kiala-

kítású, akkor hajtása is egyedi tervezés mellett lesz optimális. Motoros hajóknál ez a hajtás tisztán a motorra és a hajócsavarra hárul [8,9], vitorlásoknál az előbbire és a vitorlázatra marad. A hajócsavarok rendkívül komplex modellek és tervezés szempontjából érzékenyek. Előfordulhat, hogy pár milliméter átmérő vagy apró emelkedési arányi differencia egy jól működő hajócsavart kavitáló ellenállássá alakít.

Régebben a hajócsavargyártás bonyolult módszerét kézzel és öntési eljárásokkal végezték (gyakran még jelenleg is). A kézi megmunkálás magában hordja a szerszámkészítésnél tárgyalt hátrányokat, csak hatványozottan, hiszen a munkaeszköz (az emberi kéz) ugyanakkora, de a hajócsavar sokkal kisebb termék, tehát a hiba lehetősége arányosítva sokkal nagyobb. A hajótervezés „százéves” problémája, hogy adott hajóra a létező legjobb hatásfokú propellereket meg tudjuk tervezni, de a legyártott alkatrész a gyártási pontatlanság miatt eltér az optimálistól. Erre megoldásként született meg számos 3DPP, azaz 3D printed propeller vállalkozás, amelyben CAD modellekből nyomtatják a propulziós egységeket. Ezzel a módszerrel megszűnik a tervező és a kivitelező közti minőségbeli szakadék [10]. A bemutatott gyártástechnológiával pl. kivált-

5. ábra: Adott hajóra optimális csavar CAD modellje [11]



6. ábra: Készülő hajócsavar motoros kishajóra (FDM eljárás) [10]



ható lett a Wageningen B típusú csavar. Ez a típus eddig azért volt egyeduralkodó, mert ehhez tartozott egyedül elfogadott, kidolgozott számítási mód [13], és ehhez a megfelelő nyilvános kísérleti eredményrendszer, tehát vég-eredményben biztos számításaink csak erre a geometriára voltak.

A 3D nyomtatás lehetővé tette más geometriák tesztelését is, ami az áramlástani szimulációnál bevált, azt kinyomtatták, és egyszerűen validálható volt az eredmény egy vontatási kísérletben. Fontos megjegyezni ugyanakkor, hogy a rétegelt darabgyártás következtében (2,5D megmunkálás) feltételezhetően a felületek minősége nem lesz megfelelő (lépcsőzetes lesz a felület), emiatt szükség lehet az alkatrészek kinyomtatása után utólagos felületi megmunkálásra. Ehhez megfelelő ráhagyással kell tervezni az alkatrészeket [14], [15].

A szimulációk során kapott geometriák megfelelőségét, valamint a gyártható anyagokat valós környezeti körülmények között is validálni szükséges, ami adott esetben igen nehézkes lehet [16], [17]. A másik hajtásmód, a vitorla arra jó példa, mikor nem érdemes használni az additív gyártástechnológiákat. A síklapok szövetében sikerült egy olyan megfelelő anyagot tapasztalati alapon kiválasztani, amelynek a vastagsága a szálakból adódik, és a számítások után a szabászat sokkal egyszerűbb és jóval olcsóbb, mint az új technológi-

ával nyomtatni; a teljes képhez azonban az is hozzá tartozik, hogy a hulladék a szabászatnál lényegesen több.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Simongáti Győző: Kishajók (2012.Typotex)
- [2] Simongáti Győző - Hargitai Csaba László : A Hajóépítés Technológiája (2011. Typotex)
- [3] <https://News.Camozzi.Com/Projects/Siemens-And-Ingersoll-Machine-Tools-Expand-Partnership.KI> (Letöltve: 2021. 04. 24.)
- [4] <https://3dprintingindustry.Com/News/Thermwoods-Lsam-Process-Sets-Sail-3d-Printed-Hull-Pattern-125493/> (Letöltve 2021.03.31.)
- [5] <https://Umaine.Edu/News/Blog/2019/10/10/Umaine-Composites-Center-Receives-Three-Guinness-World-Records-Related-To-Largest-3d-Printer/> (Letöltve: 2021. 04. 24.)
- [6] <https://3dprintingindustry.Com/News/Thermwoods-Lsam-Process-Sets-Sail-3d-Printed-Hull-Pattern-125493/> (Letöltve: 2021. 04. 24.)
- [7] Garay, A. C., Heck, V., Zattera, A. J., Souza, J. A., & Amico, S. C. (2011). Influence Of Calcium Carbonate On Rtm And Rtm Light Processing And Properties Of Molded Composites. Journal Of Reinforced Plastics And Composites, 30(14), 1213–1221. <https://doi.org/10.1177/0731684411416033>
- [8] Zalacko, Roland ; Zöldy, Máté ; Simongáti,

- Győző: Comparative Study Of Two Simple Marine Engine Bsf Estimation Methods, Brodogradnja 71 : 3 Pp. 13-25. , 13 P. (2020) DOI: <https://doi.org/hb7z>
- [9] Szántó, A., Mankovits, T., & Szíki, G. Á. (2020). A Modern Járűvekben Alkalmazott Hajtásrendszerek Áttekintése. International Journal Of Engineering And Management Sciences, 5(1), 728-732. DOI: <https://doi.org/hb72>
- [10] Soonseok Song, Yigit Kemal Demirel, Mehmet Atlar, Penalty Of Hull And Propeller Fouling On Ship Self-Propulsion Performance, Applied Ocean Research, Volume 94, 2020, 102006, Issn 0141-1187, DOI: <https://doi.org/gg4m72>
- [11] Adam Kaplan, Generate Cad, 2d Drawings, And Reports, <https://www.hydrocompinc.com/solutions/propcad/>
- [12] Islam, M., Jahra, F., Doucet, M. Optimization Of Rans Solver Simulation Setup For Propeller Open Water Performance Prediction. Omae 2015. St. John's, Newfoundland, Canada: Omae2015-41954 DOI: <https://doi.org/hb75>
- [13] Kovács Benedek: A Hajók Elmélete (1988, Tankönyvkiadó)
- [14] Győri, M., Ficzere, P. (2017) "Use Of Sections In The Engineering Practice", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 45(1), Pp. 21-24. DOI: <https://doi.org/djsq>
- [15] Ficzere, Péter, Effect Of 3d Printing Direction On Manufacturing Costs Of Automotive Parts, International Journal For Traffic And Transport Engineering 11 : 1 Pp. 94-101. , 8 P. (2021) DOI: <https://doi.org/hb76>
- [16] Ram Krishna Upadhyay, Ashish Kumar Mishra, Arvind Kumar, Mechanical Degradation Of 3d Printed Pla In Simulated Marine Environment, Surfaces And Interfaces, Volume 21, 2020, 100778, Issn 2468-0230, DOI: <https://doi.org/hb77>
- [17] Cheolsoo Park, Gun Do Kim, Geun-Tae Yim, Youngha Park, Ilsung Moon, A Validation Study Of The Model Test Method For Propeller Cavitation Noise Prediction, Ocean Engineering, Volume 213, 2020, 107655, Issn 0029-8018, DOI: <https://doi.org/hb78>



Application of additive manufacturing technology in the shipping industry

Due to their advantageous technical and economic properties, additive manufacturing technology solutions have also appeared in water transport and shipbuilding. The importance of the process is well illustrated by the fact that it has become widespread in less than a decade despite the technical shift from manual or small-scale shipbuilding being costly and time-consuming. The experience of recent years has proved that it has been worth taking the risk associated with these factors, as during this time lake boating has boomed, the demand for boats from private individuals has increased, so the aspect of rapidness and productivity has come to the fore.



Anwendung der additiven Fertigungstechnologie in der Schifffahrtsindustrie

Aufgrund ihrer vorteilhaften technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften haben sich Lösungen der additiven Fertigungstechnologie auch in der Schifffahrt und im Schiffbau etabliert. Die Bedeutung des Verfahrens wird durch die Tatsache deutlich, dass es sich in weniger als einem Jahrzehnt verbreitet hat, obwohl der technische Wandel vom manuellen oder mit der Verwendung von Kleingeräten durchgeführten Schiffbau kostspielig und zeitaufwändig war. Die Erfahrung der letzten Jahre hat gezeigt, dass es sich lohnt, das mit diesen Faktoren verbundene Risiko einzugehen, da in der Zwischenzeit die Seeschifffahrt boomt, die Nachfrage nach Booten von Privatpersonen gestiegen ist, so dass der Aspekt der Schnelligkeit und Produktivität in den Vordergrund gerückt ist.

Közlekedésbiztonság - Közlekedési környezetvédelem