

Sebők István¹ 

A 3D-nyomtatás helyének és szerepének vizsgálata a fegyverzettechnikai oktatásban²

Investigating the Place and Role of 3D Printing in Weapons Technology Education

A 3D-nyomtatás mint gyártástechnológia már nemcsak lehetőséget, hanem kihívásokat is rejt a fegyverek üzemeltetésében és karbantartásában, sőt leginkább ezek oktatásában. Ezért szükségessé vált ennek a területnek az áttekintése és a feladatok összegzése.

Kulcsszavak: 3D-nyomtatás, oktatás, lőszer, fegyver

3D printing as an industry no longer only contains opportunities but also challenges in the operation and maintenance of weapons and even more so in their training. Therefore, it became necessary to review this area and summarise the tasks.

Keywords: 3D printing, education, ammunition, weapon

Bevezetés

A fegyverzettechnikai területen tanuló hallgatók oktatásában kiemelt helyen szerepel a fegyverek meghibásodásának felismerése, a hibák behatárolása és ezeknek az elhárítása, illetve a kijavítása. Ennek az ellenőrzési elvnek a folyamata a törés, kopás, felverődés hármasság mentén történik. A hibák minél gyorsabb felismerésével elkerülhetők az alkatrészek további

¹ Tanársegéd, Nemzeti Közszerkálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: sebok.istvan@uni-nke.hu

² A cikk a TKP2021-NVA-16 számú projektnek az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

károsodásai. Továbbá azok a balesetek, amelyek a fegyver súlyos meghibásodásához, károsodásához és a fegyvert használók, kezelők és a körülöttük tartózkodók esetleges súlyos sérüléséhez vezethetnek.³ A hagyományos fegyverzettechnikai oktatás alapvetően a klasszikus fegyveralapanyagok, az acél és a fa megmunkálásáról, tulajdonságairól és ezen anyagokból készült alkatrészek lehetséges károsodásairól szolt. A javítási elvek és szabályzatok is ezekre a típusú anyagokra korlátozódtak. A nagy mennyiségben megjelenő műanyagok az oktatásban új lehetőségeket biztosítanak, és új kihívásokat fogalmaznak meg.⁴ Ez a tanulmány alapvetően az alkatrészek javításának és utángyártásának a lehetőségeit mutatja be a 3D-nyomtatás lehetőségeinek szemszögéből. Valamint bemutatja azokat a technológiákat, amelyek ismerete elengedhetetlen a fegyverek javításához, illetve „jó karban” tartásához.

A fegyverekhez felhasznált anyagok

A történelem során a lőfegyverek gyártásában két alapvető anyagot használtak fel: az acélt és a fát. Acélból készült a fegyverek csöve és az összes működést biztosító szerkezet, úgymint a fegyverek adogató és elsütő szerkezete, valamint minden olyan szerkezeti elem, amely nagy energiának van kitéve és a fegyver működését szolgálja. Fából készült a fegyver tusa és ágy-szerkezete – ezek a fegyverek megfogását, megtartását és biztonságos kezelését szolgálják. Először az acél anyagokat cserélték le nagy szilárdságú alumíniumra, a fa alkatrészeket pedig műanyagokra.⁵

Az 1980-as évek elején Ausztriában a Steyr cég kifejlesztette az AUG (Armee Universal Gewehr – általános használatú katonai puska) fegyvert. Ennél a fegyvernél szembeűnő a műanyag széles körű alkalmazása. Más fegyvereknél eddig is találkoztunk műanyag túsával (például az amerikai gyártmányú M16 gépkarabély), markolattal (például a magyar gyártmányú AMD gépkarabély) és tárral (a legfontosabb és sokáig legelterjedtebb az akkori NDK-ban gyártott és használt AK–74 fegyver, amely esetében a tár üvegszállal megerősített műanyagból készült).⁶

Az AUG-nál azonban már a funkcionális, mozgó alkatrészek is műanyagból készültek. A műanyag elsütőszervezet-házba vannak szerelve a műanyagból készült alkatrészek, többek között a műanyagkakas is, a csapok és a rugók kivételével. Az 1982-ben megjelent akkori első generációs GLOCK–17 pisztolynál már bizonyos csapok is műanyagból készültek, tehát a műanyagok alapvető szerkezeti elemként is megjelentek a fegyvergyártásban.⁷ Ez olyan változást hozott a fegyverek gyártásában, hogy már a piacon lévő jól bevált fegyvereket is kezdték áttevzni elsősorban már csak tömegcsökkentés céljából is.⁸

³ KOVÁCS 2023.

⁴ GYARMATI–HEGEDŰS –GÁVAY 2022.

⁵ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2022.

⁶ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023a.

⁷ SEBŐK 2024.

⁸ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023b.

A 3D-nyomtatás általános bemutatása

A 3D-nyomtatás olyan additív gyártási folyamat, amely során valamilyen alapanyagból rétegek egymásra építésével létrehozunk egy kézzel fogható tárgyat. A 3D-nyomtatás a hagyományos, úgynevezett szubtraktív technológiákkal ellentétben nem egy adott tömbből a felesleg eltávolításával, forgácsolással alakítja ki az adott modellt, hanem saját anyagából építi fel azt. Ezáltal kevesebb hulladékot termel, valamint újszerű, összetett és más módon nem gyártható geometriák létrehozására képes. Mivel minden mintadarabot egyetlen 3D-moddell alapján, egyesével gyárt le a 3D-nyomtató (átállási, szerszámozási költségek nélkül, illetve alacsony karbantartási költségekkel), ezért a technológia kifejezetten alkalmas egyedi, akár személyre szabott alkotóelemek, speciális alkatrészek egyedi igények szerinti vagy kisszériás gyártási feladatok végrehajtására.⁹

A 3D-nyomtatókat legintenzívebben adaptáló iparágak közé tartozik többek között a gépgyártás, azon belül a hadiipar és a fegyvergyártás. Mivel az ipari minőségben gyártott alkatrészek tekintetében nem lehet megállapítani, hogy egy alkatrész fröccsöntéses vagy nyomtatott technológiával készült, ezért a fegyverzeti területen dolgozóknak és ezen területen tanulóknak ismerniük kell a műanyaggyártási megmunkálás és ezek javításának széles körű folyamatait.

A 3D-nyomtatás során felhasznált anyagok ismerete és tulajdonságai

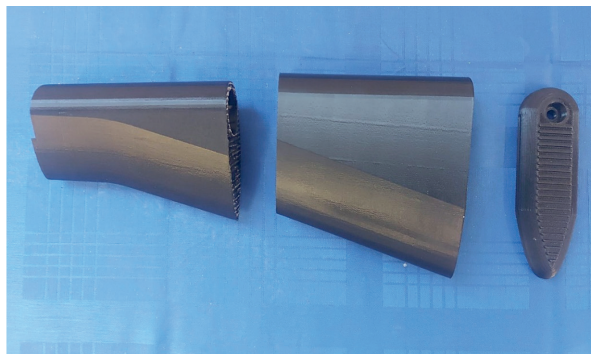
A politejsav más néven Polylactic acid vagy PLA, egy növényi alapú műanyag, amelynek alapanyaga általában kukoricakeményítő. Mint megújuló nyersanyagokból készült, hőre lágyuló polimer, sokan azt állítják, hogy biológiailag lebomlik, de pontosabb azt mondani, hogy iparilag komposztálható.

A PLA-nak mint anyagnak az az alapvető hátránya, hogy a PLA-szál hajlamos deformálódni vagy megolvadni magas hő hatására, ezért nem praktikus olyan alkatrészek esetében, amelyek hőállóságot igényelnek. Ez még a forró környezeti feltételekre is vonatkozik, mint például a napsütésre egy forró nyári napon. A másik hátránya, hogy törékeny anyag. Ütközéskor hajlamos összetörni. Mint ilyen, kevésbé szilárd, mint az ABS vagy a PETG, ezért kevésbé alkalmas tartós mechanikai terhelésű alkatrészek elkészítésére, de az egyik legjobb alapanyag a prototípusgyártás területén.

Az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) egy átlátszatlan, hőre lágyuló műanyag, amely gyakran megtalálható háztartási és fogyasztói termékekben. Például ebből az anyagból készül a jól ismert Lego játék. A PLA után ez az egyik legnépszerűbb anyag. A 3D-nyomtatáson túl az ABS kiválóan alkalmas fröccsöntésre és megmunkálásra is.

Ennek az anyagnak a legfőbb hátránya, hogy az ABS-nyomtatás során mérgező gőzök szabadulnak fel, ami bonyolulttá teszi a nyomtatószállal való munkát. Szükség van megfelelő szűrőrendszerrel ellátott nyomtatóházra, vagy egy külön, megfelelően szellőző helyiségre, ahol a nyomtatási folyamat zajlik. Továbbá a burkolat azért is szükséges, mert az ABS nagyon érzékeny a hőmérséklet-változásokra, ami a nyomtatandó munkadarab, alkatrész torzulásához, vetemedéséhez, esetleges töréséhez vezethet. A burkolat segít fenntartani a célhőmérsékletet a nyomtatás során.

⁹ VÉGVÁRI 2023.



1. ábra: ABS alapanyagból 3D-nyomtatással előállított M16 típusú gépkarabélyra szerelhető tusa

Forrás: a szerző felvétele

A harmadik legáltalánosabb anyag a polietilén-tereftalát-glikol (PETG), egy hőre lágyuló műanyag, amelynek anyagi tulajdonságai miatt kimondottan alkalmas a funkcionális tárgyak számára. Általában vizespalackokban és élelmiszertartályokban található.

A PETG fegyveralkatrész gyártása tekintetében nem használatos, viszont mivel széles körben elterjedt, ezért ismerete szükséges; alapvetően élelmiszer-biztonságos alapanyagnak tekintik.¹⁰ Használható olyan tárgyak készítésére, amelyek étellel érintkezhetnek, ilyenek a konyhai kiegészítők, a kempingeszközök, az edények és egyéb használati cikkek. Az anyag tartós és rendkívül ütésálló. Meglehetősen ellenáll az UV-sugárzásnak is, ami azt jelenti, hogy jól kell teljesítenie kültéri alkalmazásokban. Az anyagnak az a hátránya, hogy a PETG nyomtatószáll hajlamos a nyomtatófejre történő felfűződésre nyomtatás közben. Ennek oka a nyomtatáshoz szükséges magas hőmérséklet, amely lehetővé teszi a filament szabad áramlását, de hajlamossá teszi a szálak elhagyását, miközben a nyomtatófej két pont között halad.

Egy másik hátrány, bár ez kisebb, az, hogy a PETG hajlamos a karcolódásra. Lehet, hogy ez egyes felhasználóknak egyáltalán nem számít, mások számára azonban abszolút kizáró ok lehet. Tulajdonságait tekintve bizonyos területeken a PLA alternatívája lehet.

3D-nyomtatással gyártott alkatrészek közötti kötés létrehozása ragasztással

A nyomtató fizikai méretei sok esetben méretkorlátot jelentenek, ezért célszerű a nagyobb munkadarabokat több részletben kinyomtatni, és azokat valamilyen kötéssel összerakni. Műanyagok esetében ezt a kötést az anyagtulajdonságok figyelembevételével, ragasztással is létre lehet hozni.

Mivel a hőre lágyuló műanyagok oldhatók, ezek ragasztását végre lehet hajtani az anyag megfelelő oldószerben való feloldásával. Az alaposan megtisztított és csiszolvászonnal érdesített felületeket oldószerrel lekenjük, ezután egyesítjük és gyenge nyomás alatt tartjuk.

¹⁰ RÁKOSI et al. 2023.

Gyakrabban ragasztóanyagként nem tiszta oldószert, hanem megfelelő műanyagragasztót használunk, amely jobb minőségű ragasztást tesz lehetővé. Az ABS-alapanyagból, 3D-nyomtatással készült alkatrészek összeillesztéséhez és a kötés létrehozásához az acetont az egyik alkalmas anyag. Az ABS oldószerei még az észterek, a ketonok és az etilén-diklorid is. Ez a ragasztási technológia nagyon erős kötést és láthatatlan varratot, illesztést biztosít.

Két darab acetonnal történő rögzítéséhez fel kell vinni vékony acetonréteget mindkét ragasztandó felületre. Ezt meg lehet tenni egy kis ecsettel vagy egy acetonnal átitatott ruhadarabbal. Viszont ügyelni kell a felhasznált acetont mennyiségére, mert a túl sok oldószert alkalmazásakor fennáll a 3D-s nyomtatott alkatrészek károsodásának veszélye (főleg, ha az alkatrészek vékonyak).

A folyamat kémiai és fizikai jellegű. Az oldószert egy vékony réteget old fel a felületeken, amelyeket összeillesztve, enyhe nyomás hatására a felső rétegek összekeverednek. Ez alatt a száradási idő alatt szükség lehet a ragasztott darabok rögzítésére valamilyen szalaggal vagy szorítóval. Néhány perc vagy óra elteltével, az alkatrészek méretétől és a felhasznált acetont mennyiségétől függően, az acetont elpárolog, és erős tömör műanyag réteg képződik. A bemutatott folyamat úgy a legideálisabb, úgy lesz nagyon erős és szinte láthatatlan a réteg, ha megfelelő szakértelemmel végzik el.



2. ábra: Kétkomponensű ragasztóval egyesített három darabban nyomtatott fegyvertusa
Forrás: a szerző felvétele

Ez az eljárás abban különbözik a hagyományos ragasztási eljárásoktól, hogy az összeragasztandó alkatrészeket satuba vagy pillanatszorítóba fogva nyomás alatt kell tartani legalább 6 órán át, szobahőmérséklet mellett. Valamint szükség esetén a mechanikai megmunkálást is végre kell hajtani. Az összeragasztott alkatrészeket a nyomókészülék levétele után 24 órán át még állni kell hagyni. A ragasztás idején a nyomás legyen egyenletes és az egész ragasztandó felületet fogja át.

A ragasztás minőségét rengeteg tényező befolyásolja, mint például a ragasztó minősége, a felületek megfelelő előkészítése, a megfelelő ragasztási körülmények, köztük a megfelelő hőmérséklet, de a klasszikus forrasztással és hegesztéssel azonos értékű és minőségű kötést lehet kialakítani.

A 3D-s nyomtatott alkatrészek utólagos megmunkálása

A műanyagok forgácsolásos megmunkálása lényegesen eltér a fémek ilyen típusú megmunkálásától. A műanyagok megmunkálása közben a forgácsoló szerszám a legtöbb esetben erősen kitompul, azt nem szabad vízzel hűteni. Figyelembe véve a műanyagok viszonylagos alacsony szilárdságát, ezek megmunkálásánál rendkívül éles forgácsoló szerszámot kell használni. Ellenkező esetben az anyag részecskéi kiszakadnak, és megnő a megmunkált felület érdessége.¹¹

A 3D-nyomtatás egyik előnye, hogy a furatok már a gyártási eljárás során is kialakíthatók, de a nyomtatási irányból származó méreteltérések miatt méretre történő fúrássra szükség lehet. A műanyagok forgácsolásánál nagy fordulatszámot, nagy vágási sebességet és kis előtolást kell alkalmazni. Ha átmenő furatot készítünk vagy marunk, hogy megakadályozzuk a fúró vagy a maró kimenetén az anyag kiszakítását, a megmunkálandó anyagot keményfára vagy fémre kell helyezni. Ha rideg műanyagot kell megmunkálnunk, akkor az anyag felületén repedések keletkezhetnek. Hogy ezeket elkerüljük, csökkenteni kell a fogás mélységét, az előtolás nagyságát, vagy kézi megmunkálást kell alkalmazni.

Az esztergálással való megmunkálást olyan esztergakésekkel kell végrehajtani, amelyek csúcsgugara 3–4 mm. A nagyoló megmunkálásnál a fogásmélység elérheti a 10 mm-t is, de a finom megmunkálás során max. 1 mm-t lehet csak használni.¹²

Ha olyan anyagot esztergálunk, amely szalagforgácsot ad, nagy vágási sebességet, nagy előtolást és kis fogásmélységet kell alkalmazni (például a poliklorvinil műanyag, másik elterjedt nevén poli[vinil-klorid] – PVC – megmunkálása esetén a vágási mélység nem haladhatja meg a 0,5 mm-t). Ellenkező esetben a forgács nem fog leválni az anyagról, rácsavarodik és spontán forrasztási folyamat zajlik le, és ebben az esetben a felesleges anyagdarabok leválasztása új megmunkálást igényel. A marást olyan palástmaróval kell végrehajtani, ahol az élszög 30–80 fok közötti. A palást- és a homlokmarókat, ha azokat rideg anyagok megmunkálására használjuk, azok homlok felőli szélét kb. 1,5 mm sugárral le kell kerekíteni.

Réteges anyagok megmunkálásakor szükséges, hogy a maró szerszám az előtolás irányába forogjon, mert ezzel lehet megakadályozni a rétegek szétválását.¹³

A furatokat olyan fúróval fúrjuk ki csigafúrókkal történő megfúráskor, megmunkáláskor – mivel az ipari szükséglet nem igényli és speciálisan műanyagok fúrássra nincsenek fúrószárak –, amelynek a köszörülési szöge függ az anyag fajtájától és a furat átmérőjétől. Ha kis átmérőjű furatot készítünk, az anyag felülete kitépésének megelőzése végett először pontozzuk, majd süllyesszük be nagyobb átmérőre, és csak ezek után fúrjuk ki az átmérő furatot a szükséges méretű fúróval. Utána a megfelelő körátmérő eléréséhez dörzsárazás is szükséges lehet.

Nagyméretű műanyag alkatrészek fúrása esetén „két oldalról” való furatkészítést kell alkalmazni. A furatokba a menetek bevágását óvatosan végezzük, mert az alacsony hővezető képesség és a keletkezett forgács nehéz kivezetése miatt eltömítődnek a metsző vágatai,

¹¹ VÉG 2024.

¹² GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022.

¹³ DARUKA et al. 2024.

és a menetek egyes esetekben ki is pattoghatnak. A menet szilárdságának növelése érdekében a profil élet gyengén tompítani kell, és lehetőleg nagy menetemelkedést kell alkalmazni. A műanyagok köszörülését, polírozását ugyanolyan módon kell végezni, mint a fémek esetében.

Összefoglalás

A 3D-nyomtatás megjelenése és elterjedése felerősítette és felgyorsította a műanyag szerkezetű és a többségében műanyag alkatrészeket tartalmazó fegyverek tudományos és haditechnikai vizsgálatát. Az első időkben a műanyag alkatrészek csupán a fa alkatrészek kiváltását és minimális tömegkönnyítést eredményeztek. Utána folyamatosan megjelentek azok a fegyverek, ahol már a műanyag alkatrészekkel acél szerkezeti elemeket váltottak ki. Ekkor került előtérbe a különböző alkatrészek javításának gondolata a hagyományos forgácsolásos vagy forgácsolásmentes eljárással. Ezek a technológiák bár régóta léteztek, mégis egyszerűbb volt és gyorsabb az alkatrészek cseréje, mint azok javítása. A 3D-nyomtatással olyan helyzet is előállt, hogy azokat az alkatrészeket, amelyeket hagyományos megmunkálással csak 2–3 részegységből lehetett előállítani, egy egységben is el lehet készíteni. Ezek közt vannak olyan nagy méretű alkatrészek, amelyeknek a bemutatott elvek szerint még mindig egyszerűbb az esetleges javítása vagy pótlása, illetve újra legyártása.

Felhasznált irodalom

- DARUKA Norbert et al. (2024): A 3D-nyomtatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 5–18. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.1>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó. Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- KOVÁCS Zoltán (2023): 3D nyomtatás és felhasználása a katonai robbantástechnika oktatásában. In DARUKA Norbert – EMBER István – KOVÁCS Zoltán Tibor (szerk.): *II. Fúrás-Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különnkiadás*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 94–103.
- RÁKOSI Sára et al. (2023): A 3D-nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(1), 133–148. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>
- SEBŐK István (2024): A kiképzési célú fegyverzeti eszközök és anyagok 3D-nyomtatásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 157–165. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.11>
- VÉG Róbert László (2024): Forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk a harc- és gépjárműtechnikában. Befecskendező szivattyú tehermentesítő szelep oktatási célú modell kialakítása 3D-nyomtatási technológiával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(Különszám), 115–128. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.ksz.10>
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 31(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>

- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023a): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei II. rész. 3D-s nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész. A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>