

Vég Róbert,¹ Kálmán Dénes,² Daruka Norbert,³
Kovács Zoltán,⁴ Ember István⁵

Bepattanó kötések helye, szerepe, valamint 3D-nyomtatási technikával történő előállításának lehetősége a haditechnikában⁶

The Place, Role and Possibilities of 3D Printing of Snap-on Bindings in Military Technology

Absztrakt

A technika fejlődésével együtt jár az alkalmazott anyagok körének változása is. A gépjárműtechnikában egyre jobban elterjedtek a műanyag alkatrészek, amelyeket valamilyen módon egymáshoz vagy más anyagból készült elemekhez kell rögzíteni. A kötőelemek és kötési módok széleskörűsége biztosítja, hogy az elemeket oldhatóan vagy oldhatatlan módon kössük egymáshoz. A bepattanó kötések ismertek mindenki számára, mivel sok megvalósulási formája a háztartásokban is megtalálható, például a távirányító elemtartójának fedele, gyorskötöző vagy pedig táska- és övcsat. A gépjárműtechnikában a műanyag alkatrészek elterjedésével párhuzamosan a bepattanó kötések is terjednek

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robort@uni-nke.hu

² Építőmérnök, e-mail: denes.kalman.1975@gmail.com

³ Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

⁴ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

⁵ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

⁶ A cikk a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú „Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium” projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.

és fejlődnek. A cikk ismerteti és bemutatja a különböző kötési módokat, főbb jellemzőiket és ezen kötésmódok között a bepattanó kötések helyét és szerepét. A 3D-nyomtatás mind nagyobb mértékben van jelen az alkatrész-előállításban a haditechnikai eszközök vonatkozásában is. A cikk megvizsgálja a 3D-nyomtatással készült bepattanó kötések előállítási lehetőségeit.

Kulcsszavak: 3D-nyomtatás, erőzáró kötés, alakzáró kötés, bepattanó kötés

Abstract

As technology evolves, so does the range of materials used. In automotive engineering, plastic parts are becoming more and more common, which then have to be fixed to each other or to other materials in some way. A wide range of fasteners and bonding methods ensure that elements can be fastened together in a releasable or non-releasable manner. Snap-fit fasteners are known to everyone, as many of their embodiments can be found in households, e.g. battery compartment cover for remote controls, quick fasteners or bag and belt buckles. As the use of plastic parts in the automotive industry spreads, snap-in joints are also spreading and developing. The article describes and explains the different fastening methods, their main characteristics and their placement and role of snap-fit among these fastening methods. 3D printing is increasingly taking its place in the production of parts for military equipment. This article examines the possibilities of producing snap-in joints using 3D printing.

Keywords: 3D printing, force-locking joint, form-locking joint, snap-on binding

Bevezetés

A műanyag elemek és alkatrészek egyre nagyobb mértékben terjednek a mai gépjárműtechnikában és ezen belül a haditechnikában is. Ezen műanyagból készült elemeket, alkatrészeket valamilyen módon össze kell kapcsolni, vagy pedig hozzá kell rögzíteni más elemekhez, akár csak a fémből készületeket. A műanyag elemek kötései részben alkalmasak a különböző széles körben használt hagyományos kötőelemek és kötési módok, de megjelentek új kötések is, mint például a bepattanó kötések, amelyek kimondottan jól alkalmazhatók a műanyag elemeknél. A műanyag alkatrészek és vele együtt a bepattanó kötések általános előállítási módja a fröccsöntés, de egyre inkább terjedőben van a 3D-nyomtatás mint additív gyártástechnológia.

Ma már számos technológia és technikai megoldás létezik akár egyszerűbb, akár más módon nem megvalósítható, komplex formák 3D-nyomtatással történő hatékony előállítására, amelyeket egyre szélesebb körben és már nemcsak prototípusok készítésre használnak, hanem polgári vagy katonai területeken is. Alapanyagok tekintetében a műanyagok rendelkeznek a legszélesebb termékpalettával és így felhasználási körrel, és már bizonyították létjogosultságukat többek között az orvosi

protézisek, a robotika vagy éppen a fegyveralkatrészek, szerszámok, illetve speciális elektronikai megoldásuk területén is.⁷

Ezért érdemes lehet megvizsgálni a különböző kötésmódok ilyen formában történő előállításának és alkalmazásának lehetőségeit is, melyik milyen jellemzőkkel rendelkezik, és hogyan tehető alkalmassá a műanyag elemek kötésére. Vizsgálni kell például, hogy a 3D-nyomatással előállított kötési mód, a bepattanó kötés, mennyire felel meg az elvárásoknak, és lehetséges-e ezzel a technológiával különböző kötési módokat előállítani úgy, hogy gazdaságos legyen, és alkalmazhatósági szempontból is maradéktalanul megfeleljen.

A gépek kisebb elemekből, úgynevezett géprészekből állnak, amelyeket állandó vagy ideiglenes módon kötnek össze. Az összekötésre többféle kötést és kötőelemet használnak, amelyek alkalmasak az erők és nyomatékok átadására. A kötések többféle szempont alapján csoportosíthatjuk, például a kötés kialakításának szempontjából, funkcionális vagy szerelhetőségi (oldhatósági) szempontból.

A kötés a kialakításának szempontjából lehet:

- erővel záró kötés (ékkötés, csavarkötés, szilárd illesztésű kötés, kúpos kötés, kúpos gyűrűs kötés, szorítókötés);
- anyaggal záró kötés (hegesztés, forrasztás, ragasztás, beágyazás és kiöntés);
- alakkal záró kötés (szegecskötés, peremezés, csapszegkötés, szegkötés, rögzítőgyűrűs kötés, reteszkötés, bordástengely-kötés, fogastengely-kötés, poligontengely-kötés, bepattanó kötés).

A kötés funkcionális szempontból lehet:

- teherviselő (amely erőt vagy nyomatékot ad át);
- rögzítő (az összekapcsolás mellett kisebb terhelés átadását is lehetővé teszi);
- fűző (csak összekapcsolásra alkalmas, terhelés átadását nem teszi lehetővé).

A kötés az oldhatóság alapján lehet:

- oldható kötés (az alkatrész jelentős sérülése nélkül szét lehet bontani, például az alakkal záró kötések a szegecskötés és a peremezés kivételével, valamint az erővel záró kötések);
- nem oldható kötés (az alkatrészt csak roncsolással lehet szétbontani, például az anyaggal záró kötések, a peremezés és a szegecskötés).

A zsigorkötést feltételesen oldhatónak nevezhetjük, mert oldás után az eredeti állapot az újbóli kötés után már tökéletesen nem állítható helyre.⁸

Erővel záró kötések

Az erővel záró kötés létrejöttéhez olyan működtető erő kell, amelynek hatására súrlódásos kapcsolat jön létre a két test között, és ez az erő akadályozza meg a testek

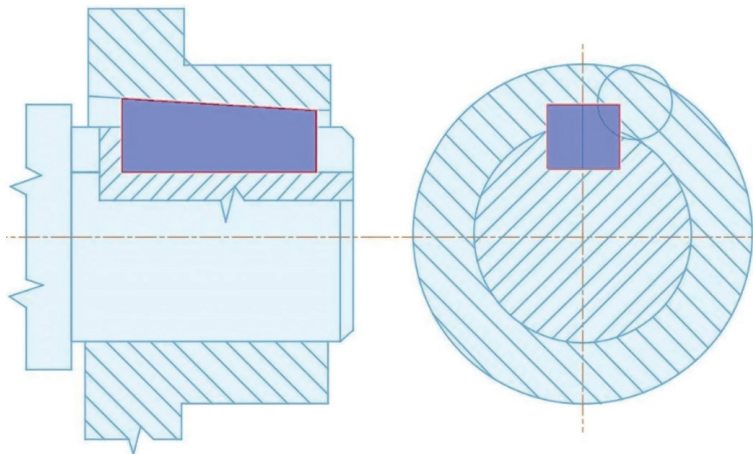
⁷ GÁL-NÉMETH 2019.

⁸ ZSÁRY 1984: 52.

egymáson történő elmozdulását. Mivel az érintkező felületek érdesek, a közöttük keletkező nyomásból származó súrlódóerő alkalmas az axiális és kerületi erők átadására. Az erővel záró kötések a túlterhelés hatására megcsúszhatnak, könnyen szerelhetők és újra felhasználhatók, viszont drágábbak, mint az alakkal záró kötések. 3D-nyomtatott alkatrészek esetében fontos lehet a felületek utólagos megmunkálása, mert a felület érdessége nagyban befolyásolja a kötés erősségét.⁹

Ékkötés

Az ékkötés alkalmas a tengelyek és a tengelyekhez kapcsolódó elemek (agyak) közötti oldható kapcsolat létrehozására. Az ékkötés létrehozásakor keletkező nagy súrlódási erő (a tengely és az agy közé befeszített önzáró ék) biztosítja az összekötött elemek szilárd kapcsolatát. Az ék lejtős kialakítású szabványos gépelem, amely pontos futást igénylő alkatrészekhez (például fogaskerekek) nem használható, mivel az ék feszítésének hatására excentricitás jön létre a tengely és az agy között (1. ábra). Az ékkötés előnye, hogy tengelyirányban is rögzít.



1. ábra: Ékkötés kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Csavarkötés

A csavarkötések különböző anyagú elemek összekötésére alkalmasak, amelyek képesek teherviselő kapcsolat létrehozására. A csavarkötések alapvető elemei a külső menetes orsó (csavarorsó) és a belső menetes hüvely (csavaranya). A csavarkötés előnye, hogy nagy szilárdságú kötés létesíthető, amely dinamikus igénybevétel

⁹ ZENTAY-HEGEDŰS-VÉGVÁRI 2023.

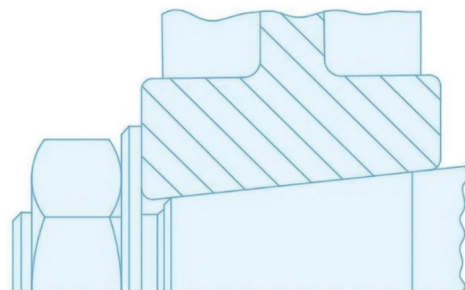
átadására is alkalmas. Rugalmas szorítóerő hozható létre vele, amely a terhelések fellépése után is megmarad. Bontható kötés, ami többszörös szét- és összeszerelést tesz lehetővé. A kötőelemek szabványosítottak, ennek köszönhetően a tömeggyártása olcsó. Hátránya, hogy a kötés létrehozása nagyobb időráfordítással jár és nagy a szerszámigénye. A csavarkötést lelazulás ellen biztosítani kell (például alátét, sasszeg, lemezbiztosítás). A kötés minősége függ a csavarfej és a csavaranya felfekvő felületeinek párhuzamosságától. Érzékeny a környezet korróziós hatásaira, ami az oldhatóságot nagymértékben befolyásolja. Műanyag elemek összekötése történhet önmetsző fémcsavarokkal vagy speciális betétek (insertek) használatával. Az insert alkalmazásának előnye az oldhatóság és a nagyobb kötészilárdság. Az insertek a műanyag elembe beilleszthetők utólagos megmunkálással (például sajtolással, ultrahangos hegesztő berendezéssel), vagy pedig a fröccsöntő szerszámba helyezett insertre ráfröccsentik a műanyagot.

Szilárd illesztésű kötés

A szilárd illesztésű kötés esetén a tengely és az agy egymáson felfekvő felületei között túlfedés, vagyis negatív átmérőkülönbség van. A megfelelő nagyságú túlfedéssel összeillesztett alkatrészek felületein akkora tapadóerő jön létre, amekkora alkalmas az erőhatások és a csavarónyomatékok átadására. A szilárd illesztésű kötés a szerelés módjától függően lehet sajtolt vagy zslugorkötés. Sajtolt kötésnek hívjuk azt a kötést, ahol a tengelyt és az agyat nagy erővel egymásba sajtolják. Zslugorkötés létrehozásához az agyat felmelegítik vagy a tengelyt lehűtik (esetleg a kettőt együtt alkalmazzák), és szerelés, illetve lehülés után jön létre a kötéshez szükséges nyomás. A szilárd illesztésű kötést többnyire nem oldható kötésként használják, mivel noha a kötés oldása és ismételt létrehozása lehetséges, az újabb összeszerelésnél általában kisebb túlfedés jön létre, így a teherbírás csökken.

Kúpos kötés

Kúpos kötésnél a rugalmas alakváltozást egy tengelyirányú feszítőerő hozza létre, amelyet elő lehet állítani csavarral vagy önzáró kötés létrehozásához beütéssel. A kúpos kötéssel összekötött alkatrészek a közös kúppaláston játékmentesen illeszkednek, amely kötés megfelelően központosít. A kúpos kötés a szilárd illesztésű kötéshez képest lényegesen drágább, mivel a megfelelő pontosságú kúpfelületek előállítása nagy gyártási pontosságot igényel. A kúpos kötés jellemző alkalmazási területe szerszámok befogása, tárcsák, tengelykapcsolók tengelyvégeken történő rögzítése (2. ábra).

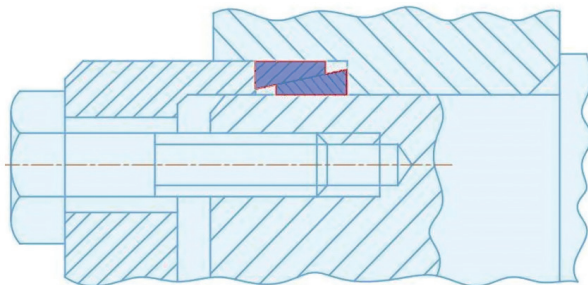


2. ábra: Kúpos kötés kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Kúpos gyűrűs kötés

Kúpos gyűrűs kötésnél a tengely és az agy közé helyezett, rugóacélból készült kúpos gyűrűpár viszi át a terhelést (3. ábra). A gyűrűkkel a sima tengelyre fel lehet erősíteni fogaskereket, tengelykapcsolót, amelyeket a kötés jól központosít. A nyomatkávitel önzáró, a kúpos kötés alkalmas váltakozó és lökészerű igénybevétel átvitelére is. A tengelyirányú feszítőerő hatására a feszítőgyűrűk egymásba tolódnak, és rugalmas alakváltozással kiegyenlítik a szerelés során létrejövő játékból adódó méretkülönbségeket. A gyűrűk befeszülnek a tengely és az agy közé, ezáltal kötőnyomást hoznak létre a felületeken. Több gyűrűpár alkalmazásával növelhető az átvihető nyomaték nagysága, de az első utáni gyűrűkre egyre kisebb feszítőerő jut. A kötés hátránya, hogy drágább, mint az ék-, a retesz- vagy a szilárd illesztésű kötés.



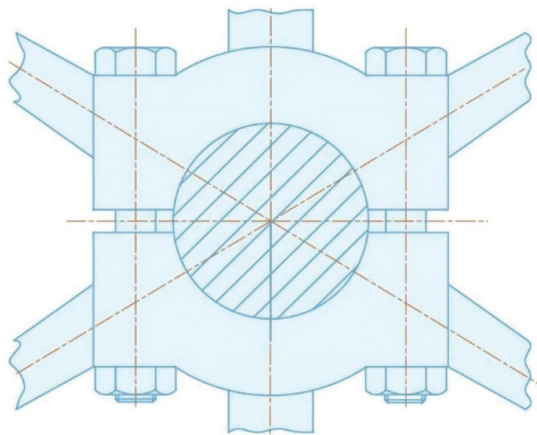
3. ábra: Kúpos gyűrűs kötés kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Szorítókötés

A szorítókötsést osztott vagy hasított aggyal lehet létrehozni, ahol a szorítást meg lehet valósítani csavarkötéssel. A felületek összeszorítása közvetlenül a tengely

mellett történik, az osztás vagy a felhasítás síkjára merőlegesen. A kötés kisebb, csekély mértékben változó nyomaték átvitelére a legalkalmasabb. A kötés előnye, hogy az agyat könnyen lehet állítani, mind hosszirányban, mind a kerülete mentén, és osztott kivitelnél a sugárirányú szerelés is megvalósítható (4. ábra).¹⁰



4. ábra: Szorítókötés létrehozása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Anyaggal záró kötések

Az anyaggal záró kötések két alkatrész között olyan folyamatos anyagréteget hoznak létre, amely mindkét alkatrészhez olyan erősen kötődik, hogy alkalmas erők és elmozdulások átvitelére. Ez a kötő anyagréteg olvasztással, fizikai vagy kémiai kikeményítéssel hozható létre. A kötés szilárdságát a kohéziós (az anyagot felépítő atomok, illetve molekulák közötti összetartó erő) vagy az adhéziós erők (a különböző anyagok részecskéi, molekulái közötti tapadást okozó erő) határozzák meg.

Hegesztés

A hegesztés során munkadarabok egyesítése történik hővel, nyomással vagy mindkettővel, amely során kohéziós kapcsolat jön létre. A két egymással érintkező elemet felületük környezetében megolvastják, esetleg külső anyagot (hegesztőhuzal) adnak hozzá. A hegesztés törött alkatrészek újraegyesítésére vagy kopott alkatrészek felületeinek javítására, kopásálló felületi réteg felrakására is alkalmas. A hegesztés lehet kötőhegesztés, amely két munkadarab egyesítésére alkalmas, vagy pedig felrakóhegesztés, amely során hozaganyagot hegesztenek a munkadarab felületére, a felületi

¹⁰ ZSÁRY 1984: 169.

tulajdonság megváltoztatására vagy méretnövelésére. A nem fémes szerkezeti anyagok közül a hőre lágyuló műanyagok hő és nyomás együttes hatására hegeszthetők. A műanyagok hegesztésénél a cél a minél nagyobb szilárdságú kohéziós kapcsolat létrehozása. A hegedés létrejöttéhez szabad részecskemozgás, vagyis folyékony halmazállapot szükséges. A műanyag hegesztési technológiák lehetnek hővezetési (például forrógázos), súrlódásos (például ultrahang) és sugárzásos (például lézersugaras) típusúak. A hegesztés feltételei, hogy közel azonos molekulaszervezetű összeférhető anyagokat hegesztünk össze, optimális hőmérséklet álljon rendelkezésre, a felületeket összeszorító erő megfelelő időtartamon keresztül fennálljon, és a hegesztett kötés lehűljön.¹¹

Forrasztás

Forrasztással fémes vagy nem fémes, de fémmel bevont elemek között lehet létrehozni kapcsolatot ömlesztett adalékfém segítségével. Az adalékfém olvadáspontja alacsonyabb a két összekötendő elem olvadáspontjánál. Az összekötendő elemeket felmelegítik, és a felületek közé juttatják a megolvasztott forrasztanyagot, amely lehűlés után megdermed és összeköti az elemeket, így hozva létre adhéziós kötést. A forrasztás előnyei, hogy a forrasztási hőmérséklet alacsony, nem keletkeznek hő okozta deformációk, repedések, jó a villamos vezetőképessége és a tömítési tulajdonsága, és mivel a forrasztanyagok rugalmassági modulusa kisebb az alapanyagénál, a kötés rugalmasabb. A forrasztás hátránya, hogy viszonylag kicsi a terhelhetősége, precíz előkészítést igényel a megfelelő minőségű kötés létrehozása, és a forrasztanyagok (például ón, réz, ezüst) drágák. A forrasztás hőmérsékletétől függően a forrasztás lehet lágy (450 °C hőmérséklet alatt) vagy kemény. A lágy forrasztást kis szilárdságú kötések esetén alkalmazzák (például gépjármű hűtőtömbök, réz csővezetékek), ahol a tömítés az elsődleges szempont. A lágy forrasztás jól alkalmazható a villamos vezetékek kötéseinél, a kiemelkedő villamos vezetőképessége miatt.¹²

Ragasztás

A ragasztás az egyik legkorszerűbb kötési mód, amely roncsolás nélkül nem oldható, alapvetően anyagzáró, de a felületi érdesség miatt részben alakzáró kötés. Ragasztáskor az elemeket a közük juttatott ragasztóanyag rétege köti össze. A kötés szilárdságát a ragasztandó anyagok és a ragasztó belső szilárdsága, kohéziója, valamint a ragasztandó anyag és a ragasztó határfelületén fellépő erőhatás, az adhézió adja. A ragasztott kötés akkor megfelelő, ha az adhéziós erők legalább olyan nagyok, mint a kohéziós erők, vagyis a ragasztott kötés szétszakadása a ragasztott elemek anyagában vagy a ragasztóban következik be, nem pedig a ragasztó és az elem felületének elválása miatt. A ragasztott kötés előnye, hogy kevés helyet igényel, egyenletesebben oszlik

¹¹ NÉMETH-CZIGÁNY 1999: 61–62.

¹² JAKAB-KODÁCSY 2011: 123–124.

el a kötésben a feszültség, kifáradási határa nagy, általában hidegen készíthető, jól tömit, korrózióálló, a vegyi hatásoknak ellenáll, és az összeragasztott elemek tulajdonságai nem változnak meg. A ragasztás varratmentes kötést biztosít, a felületek közül kifolyt ragasztó letörölhető. A ragasztás hátránya, hogy bizonyos ragasztóanyagok kötésének magas a nyomás- és a hőmérsékletigénye. Kicsi a fajlagos terhelhetősége, ezért viszonylag nagy felületek ragasztására van szükség, a hő hatására általában érzékeny, a magasabb hőmérséklet a kötésszilárdságot csökkentheti. A ragasztás kötésszilárdsága az idő függvényében fokozatosan csökkenhet. A ragasztási technológiák lehetnek ragasztószalagos és folyékony ragasztós (térhálósodó és nem térhálósodó ragasztók) típusok.

Beágyazás és kiöntés

Egyes alkatrészek nagyobb igénybevételnek kitett részeibe gyakran nagyobb szilárdságú elemeket építenek be öntéskor (például perselyek, betétanyák, egyéb erősítő elemek). Az erősítő elemek utólag is beépíthetők, ekkor az erősítő elemet egy megfelelően kialakított fészekbe kell helyezni, majd kiönteni. A kiöntéshez alacsony olvadáspontú fémet vagy hőre lágyuló műanyagot kell alkalmazni. A Nelson-féle Autothermik-dugattyú gyártásánál az öntőformába elhelyezett ötvözetlen acéllemez köré öntötték a dugattyú alumíniumanyagát, amely így egy bimetall fémkompozíciót alkotott.¹³

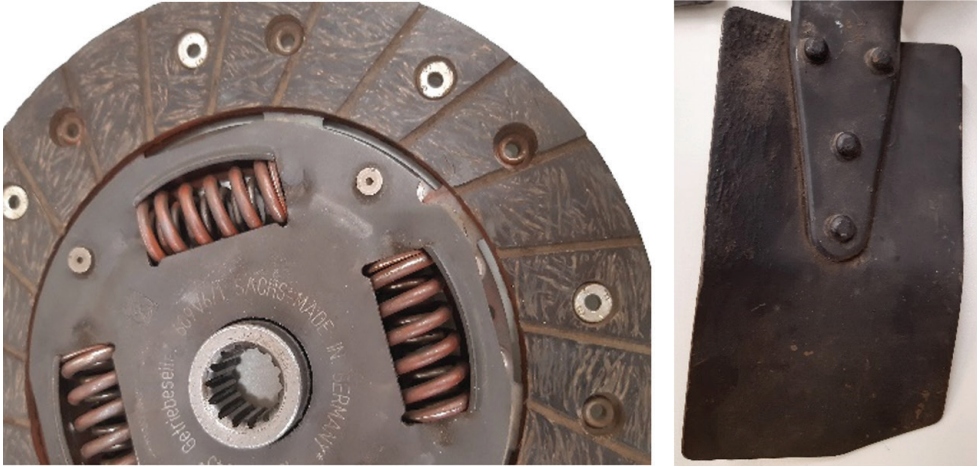
Alakkal záró kötések

A kötés szilárdságát a kötőelem kialakítása (amely meggátolja az elmozdulást) és anyaga határozza meg, sok változata ismert, amelyek többnyire oldható és ismételtelen helyreállítható kapcsolatot jelentenek. Különböző anyagok összekötésére is alkalmas.

Szegecskötés

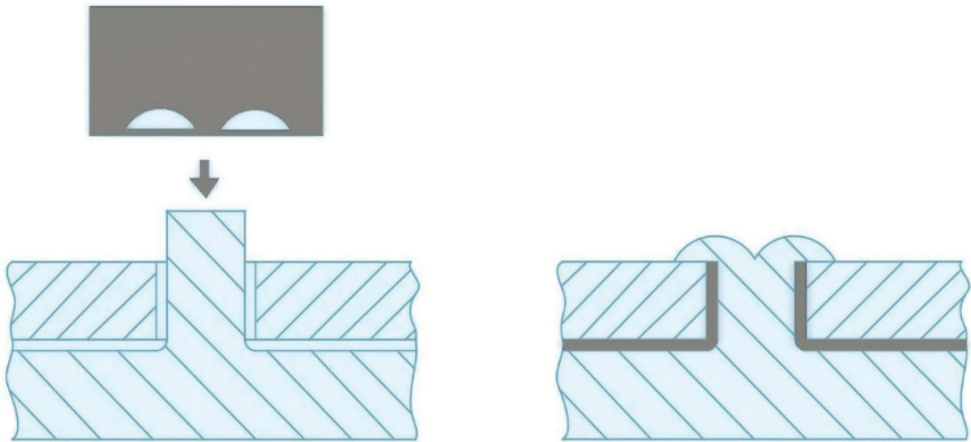
A szegecskötés nem oldható típusú kötés, csak roncsolással bontható szét. Alkalmazási területe széles körű például tengelykapcsoló súrlódótárcsájának súrlódóbetét-rögzítése vagy gépjárművek ventilátorlapát-rögzítése (5. ábra). Szegecskötések alkalmazásával különböző anyagú elemek is összekapcsolhatók. Előnye, hogy elkészítése gyors, olcsó és egyszerű, megbízhatóan és szilárdan kapcsolja össze az egyes elemeket. Hátránya, hogy a kötés szilárdsága kisebb más kötéstípusokénál, a kötés csak roncsolással oldható, és a kötés kialakítása nem esztétikus. A szegecskötések lehetnek teherviselő (például félgömbfejű szegecs) és nem teherviselő szegecskötések (például húzószegecs).

¹³ LUKÁCS 1998: 75–76.



5. ábra: Fém szegecskötés alkalmazása tengelykapcsoló súrlódótárcsánál és ventilátorlapátnál
Forrás: a szerzők szerkesztése

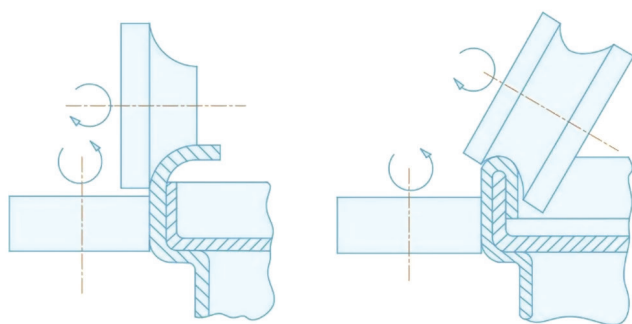
Műanyagok szegecskötését saját anyaggal is ki lehet alakítani, amikor az egyik elem kialakított ellapítandó csapra illeszkedik a furattal ellátott ellendarab, majd a felmelegített szerszám által kifejtett nyomás hatására a megolvadt anyag felveszi a szerszám alakját, és létrejön a kötés (6. ábra).



6. ábra: Hőre lágyuló műanyagok szegecskötése
Forrás: a szerzők szerkesztése

Peremezés

Peremezésnek nevezik a lemezszélek tetszőleges görbületű behajlítását, valamint a cső alakú vagy az összekötés helyén csőszerűen kiképzett elemek és ezek záródarabjainak merev és oldhatatlan kötését. Peremezéssel az összekötött két alkatrész axiális és radiális irányban rögzített lesz, illetve az egymással szembeni elcsavarodásukat megakadályozza az erővel zárás. Peremezés során a peremezőszél kihajlításakor a külső övezet megnyúlik, befelé hajlításkor a belső övezet tömörödik. A peremezett alkatrésznek olyan anyagból kell készülnie, amely nem reped el az alakváltozás során. A peremezés hátránya, hogy nem tömit sem vízzel, sem gázzal szemben (7. ábra).¹⁴



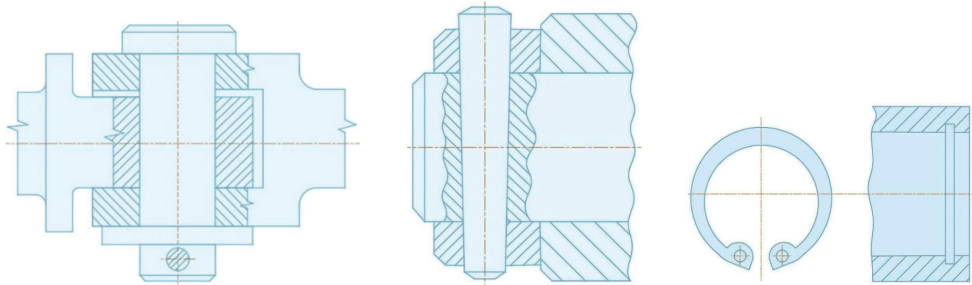
7. ábra: Peremezett kötés létrehozása és alkalmazása görgőcellás tápszivattyúnál
Forrás: a szerzők szerkesztése

Csapszegkötés, szegkötés, rögzítőgyűrűs kötés

A szegek és a csapszegek alkalmasak laza és szilárd kötésekre létrehozására. A csapszegeket általában csuklós kötésekben, valamint túlterhelés elleni biztosítóelemként alkalmazzák. A csapszeg furatból való kiesését sasszeggel, csavaralátéttel vagy csavaranyával akadályozzák meg. A különböző típusú szegeket általában központosításra és helyzetbiztosításra használják. A szegek három fő típusát különböztethetjük meg. Az illesztőszegeket levehető gép- és szerszámrészek helyzetének biztosítására, a rögzítőszegeket a gyakran oldható kötésekhez, a hasított feszítő csőszeget pedig a gyorsan készíthető és gyakran oldható kötésekhez használják.

A rögzítőgyűrűk egyszerű és olcsó kötőelemek, amelyek alkalmasak tengelyre fűzött alkatrészek (például gördülőcsapágy) vagy furatban levő elemek (például dugattyúcsapszeg) axiális irányú elmozdulásának biztosítására (8. ábra).

¹⁴ WELTSCH 2019.

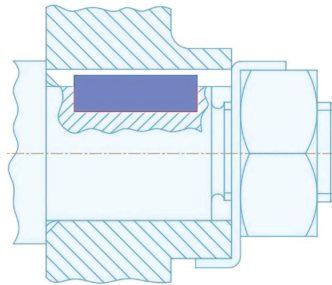


8. ábra: Csapszeg-, szeg- és rögzítőgyűrűs kötések kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Reteszkötés

Reteszkötésnél a tengelyben és az agyban kialakított horonyba helyezik el a reteszt, amely alkalmas erők és nyomatékok átadására. A reteszkötés a tengelykötések leggyakoribb módja. A reteszek lehetnek fészkes, sikló- vagy íves reteszek, amelyek nem lejtős kialakításúak, ezért kizárólag forgatónyomaték átadására alkalmasak, de tengelyirányú rögzítésre nem. A tengelyirányú erőt a retesz nem veszi fel, ezért az agyat a tengelyen axiális irányban rögzíteni kell. A retesz a horonyba szorosan van illesztve, de nem annyira, hogy a kötés kis erővel ne volna oldható (9. ábra).



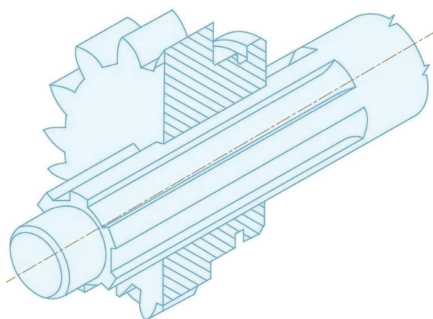
9. ábra: Reteszkötés kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Bordástengely-kötés

A bordás tengelynél (agynál) a kerület mentén egyenletes osztásban helyezkednek el a bordák. A bordás kötéssel a nyomaték átadása egyenletes az egész tengely kerületén, ezért keskeny kötéssel is nagy nyomaték adható át. A bordástengely-kötés előállítása drágább, mint a reteszkötésé, mert nagyon pontos bordakialakítást kell készíteni mind a tengelyen, mind az agyban a megfelelő működés érdekében. A bordás kötések

többnyire gépjárművekben és szerszámgépekben használják párhuzamos, egyenes éllel határolt, egyenes profilú bordázattal (10. ábra). A bordáskötés illeszkedő felületei gyakran el is csúsznak tengelyirányban egymáson (például sebességváltó kapcsolószerkezete,¹⁵ fogaskereke). A bordás kapcsolat alkalmas dinamikus terhelések és váltakozó csavarónyomaték átvitelére.¹⁶



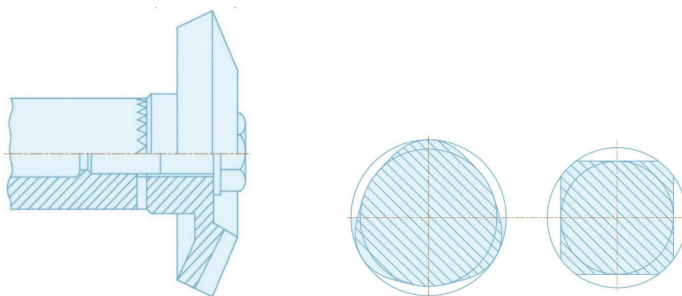
10. ábra: Bordástengely-kötés kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Fogastengely-kötés, poligontengely-kötés

Fogastengely-kötésnél a fogakat lefejtő marással készítik, ami egyszerűbb és olcsóbb, mint a bordázat kötése, ezért az alkalmazása előnyösebb a bordástengely-kötésnél.

A poligontengely-kötés az erősen változó nyomatékok átadására jobban használható, mivel feszültséggyűjtő hatása kisebb. A poligon tengely profilja ívelt oldalú szabályos háromszög vagy négyszög. A profilt többnyire szoros illesztéssel készítik, laza illesztés esetén eltolható agyakhoz is alkalmazható (11. ábra).¹⁷



11. ábra: Fogastengely-kötés és poligontengely-kötések

Forrás: a szerzők szerkesztése

¹⁵ GYARMATI 2023: 57.

¹⁶ FAZEKAS 2013: 61–62.

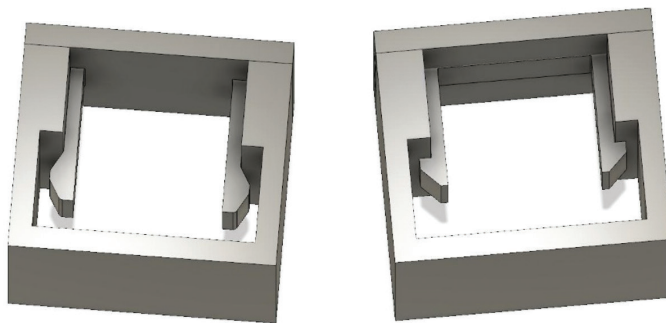
¹⁷ JAKAB-KODÁCSY 2011: 126–127.

Bepattanó kötés

A bepattanó kötés olyan alakzáró kapcsolat, ahol a két összeszerelendő elemet túlfedéssel illeszkedő szakaszon tolják át, amely során az egyik vagy mindkettő rugalmasan deformálódik. A kötés létrejöttkor a bepattanó elem terheletlen állapotba pattan vissza, majd addig marad ebben a helyzetben, amíg külső erőhatás a kötést bontani nem akarja. Az elektronikai eszközök miniatürizálásával és a műanyag alkatrészek egyre szélesebb körű használatával a kötéstípusok közül a bepattanó kötés mind nagyobb teret hódít. A kötés pontos illesztést tesz lehetővé alacsony költségekkel. A kötéssel létrehozott kapcsolat szereléséhez nincs szükség szerszámokra, és az elemek száma is nagymértékben lecsökkenhet. Jól megtervezett és kivitelezett kötés magas számú szerelési ciklust képes elviselni, miközben a kötés minősége és erőssége nem változik.

A bepattanó kötést többnyire műanyagok esetében alkalmazzák, de lehetséges fém-műanyag és fém-fém elemek kötése is. A bepattanó kötés műanyag elemek számára azért kedvező, mert a műanyagok a kis rugalmassági modulusuk¹⁸ (Young-modulus) miatt nagy rugalmas alakváltozást tudnak elviselni, ezáltal a kötés rögzítésére szerelt állapotban nagyobb túlfedések állnak rendelkezésre. A bepattanó kötés további előnye, hogy nincs szükség külön kötőelemre, mivel a kapcsolatot az alapanyagból ki lehet alakítani, így a kisebb alkatrészek gyártása egyszerűbben megvalósítható.

A bepattanó kötések többféle szempont alapján lehet csoportosítani, például oldhatóság szerint lehetnek oldhatók és nem oldhatók (12. ábra). A geometria alapján csoportosítva lehet nyitott geometriás (karos és torziós típusú) vagy zárt geometriás (gyűrűs folytonos és gyűrűs felhasított típusú).



12. ábra: Oldható és nem oldható bepattanó kötések

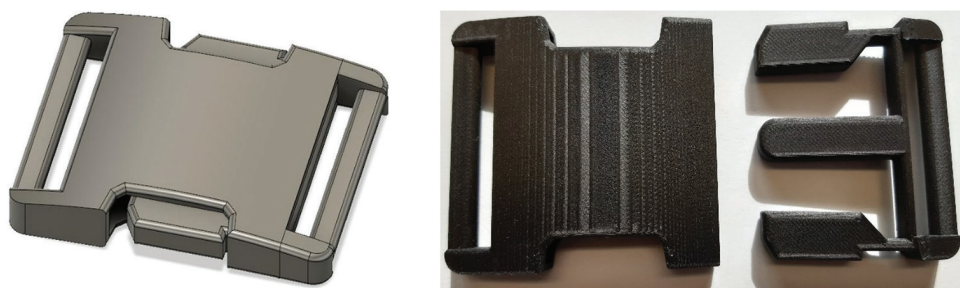
Forrás: a szerzők szerkesztése

Az egyik legelterjedtebb bepattanókötés-típus a karos kötés, ahol a kötés egyik eleme a kar. A kar végének a kialakítása olyan, hogy be tudjon akadni a másik elem befogadó részébe, ezzel létrehozva a kötést. Többnyire csak az egyik elem, a kar deformálódik, a másik elem, a rögzítő pedig merev. Széles körű elterjedésének oka, hogy működése könnyen megérthető, egyszerűen gyártható, viszont nem minden területen alkalmazható

¹⁸ A nyúlás változásának sebessége a feszültség függvényében.

egyedülként. A kar keresztmetszete lehet téglalap, trapéz és félkör. A létrehozott bepattanó kötés csak szerelés irányú erőt tud felvenni, ekkor a kar feszített állapotba kerül. Amennyiben nem csak szerelési irányú erők érik a kötést, akkor biztosítani kell, hogy valamilyen szerkezeti elem ezeket az erőket felvegye.¹⁹

Túl nagy szerelési irányú erők esetén a kötés megszűnhet. A kar megengedett lehajlása a geometria mellett az anyagra megengedett nyúlástól is függ. A sokszor ismétlődő szerelések esetén a megengedett nyúlás az egyszeri szerelés értékéhez tartozó nyúlás 60%-a. A kötés létrehozásakor súrlódás lép fel az egymáson elcsúszó felületek között, amit a szerelési erővel kell leküzdeni. A kötés terhelhetőségét az oldáshoz szükséges erő határozza meg, megmutatja, hogy mekkora az az erő, amelynél az elemek még kapcsolatban maradnak egymással, vagy már szétválnak egymástól. Az oldáshoz szükséges erő a szerelési erővel ellentétes irányú. A karos oldható kötés rögzítő része úgy van kialakítva, hogy megfelelő nagyságú erő hatására az elemek el tudjanak mozdulni pozíciójukból, így a kapcsolat megszűnik. A nem oldható típusú kötések is szét tudnak válni egymástól kellően nagy erő hatására, de ekkor a rögzítőfülek deformálódnak, megcsavarodnak, és el is törhetnek. A kötés létrehozásához és oldásához szükséges erők a kötés létrehozásának sebességétől, a nyomástól és a felületek minőségétől is függenek. Nagyobb felületi érdességű anyagok kötéséhez nagyobb erő szükséges, mint a jobb felületi minőséggel rendelkezőknél.²⁰ A karos bepattanó kötés egy jellemző kialakítási módja az úgynevezett övcsat vagy táskacsat. A 13. ábrán látható övcsatot Fusion 360 tervezőprogramban rajzolták meg, majd nyomtatták ki a szerzők. A modell kinyomtatása Ultimaker S3 nyomtatóval történt PLA filamentből, valamint Markforged Onyx Pro nyomtatóval Onyx alapanyagból. Az elem nyomtatásához szükséges volt támasztékok alkalmazása, amelyek eltávolítása az övcsat belső részénél nem volt problémás, de a külső házrészénél ez komoly nehézséget jelentett a nehéz hozzáférhetőség miatt. Az Ultimaker S3 nyomtatóval történő nyomtatásnál lehetőség volt PVA (vízoldható filament) támaszanyag alkalmazására, amelynek eltávolítása sérülésmentesen történt. A 13. ábrán látható övcsat jelenleg is tesztelés alatt áll, többhetes használat során sem merült fel probléma vele kapcsolatban.



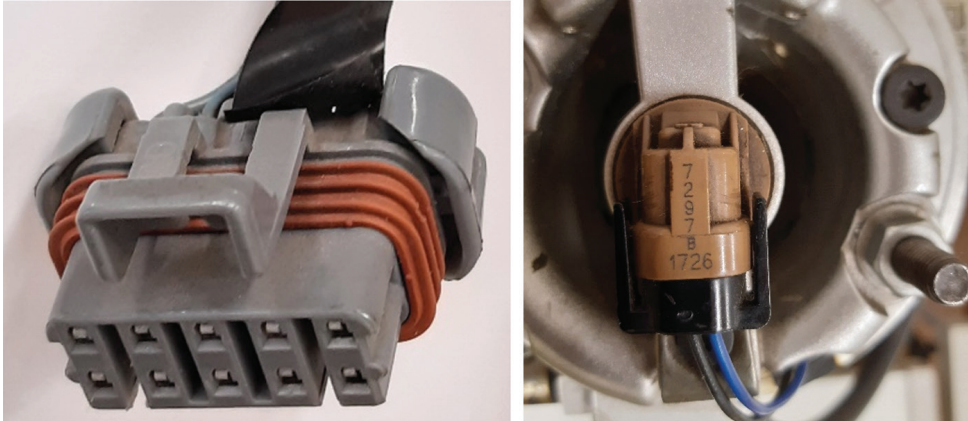
13. ábra: Övcsat 3D-modellje és a kinyomtatott elem Onyx alapanyagból

Forrás: a szerzők szerkesztése

¹⁹ BONENBERGER 2016: 18–20.

²⁰ BASF Corporation 2007.

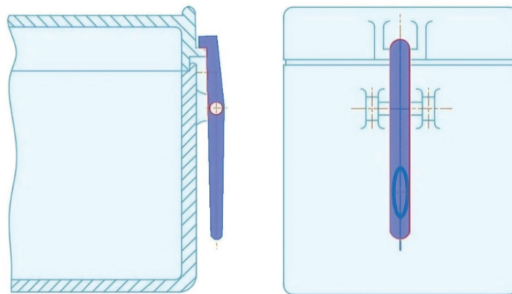
A karos bepattanó kötések a gépjármű-villamosság területén széleskörűen alkalmazottak a gépjárművek kábelkötegében, egyes elektronikus elemek összekapcsolására (14. ábra).



14. ábra: Gépjármű elektromos csatlakozói

Forrás: a szerzők szerkesztése

Torziós kötésnél a kötés létrehozására és oldására a csavarást használják ki. Az oldókar egyik végének megnyomásával a torziós rúd megcsavarodik, ezáltal a kar másik, rögzítő vége eltávolodik eredeti rögzített helyzetéből. Az erő megszűntével a kar zárófelülettel ellátott vége ismét zárási helyzetbe kerül (15. ábra). Olyan helyeken alkalmazható, ahol a karos kötés kialakítására nincs elegendő rendelkezésre álló hely. A torziós kötés előnye, hogy gyors és egyszerű.

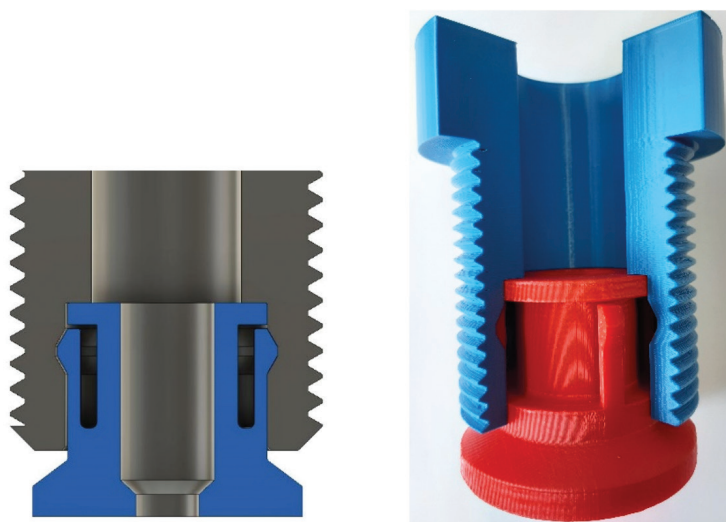


15. ábra: Torziós bepattanó kötés kialakítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Gyűrűs kötésnél a bepattanó kötés a koncentrikus hornyok és bordák egymásba bepattanásával jön létre, ahol a külső és a belső hengeres felületek radiális irányú rugalmasságuk segítségével kapcsolódnak össze. A gyűrűs kötések szintén lehetnek oldhatók vagy oldhatatlanok, folytonos vagy felhasított típusúak. Összeszerelés után az alkatrészek feszültségmentes állapotban maradnak a szétszerelésig. A 16. ábrán látható

gyűrűs bepattanó kötés Fusion 360 programmal lett megtervezve, majd Ultimaker S3 nyomtatóval PLA alapanyagból kinyomtatva. A belső hengeres felület nyomtatása során, amely tartalmazza a pattanókötés-elemet, különös figyelmet kell fordítani a nyomtatás orientációjára. Célszerű nyomtatási helyzet első ránézésre a talpán álló pozíció, amit a nyomtató nagyon jó minőségben fel tud építeni, viszont szerkezetileg a végeredmény nagyon gyenge és gyakorlatilag használhatatlan. A belső kis kitöltési tényezővel történő nyomtatás, amely anyagtakarékoságot és nyomtatásiidő-csökkentést jelent, a kar számára nem megfelelő szilárdságú. Százszázalékos nyomtatási kitöltéssel túl sok anyagfelhasználás párosul, ugyanakkor a kar szilárdsága sem javul vele párhuzamosan kellő mértékben, a támaszték eltávolításakor a karok nagy része szintén letört. A fektetve történő nyomtatás jelentett megoldást, ekkor viszonylag csekély kitérővel és nem teljes belső kitöltéssel nyomtatható volt az elem, amelynek a pattanó karja most már használható minőséget ért el, viszont ebben a pozícióban a hengeres felületek minősége elmaradt az állítva történő nyomtatástól.



16. ábra: Gyűrűs felhasított típusú bepattanó kötés rajza és 3D-nyomtatással előállított makettje
Forrás: a szerzők szerkesztése

Gömbcsuklós kötésnél egy golyó vagy golyószegmens kapcsolódik össze a foglalattal. A gömbcsuklós bepattanó kötetést többnyire térbeli mozgásátviteli elemeken alkalmazzák. A kötésben a gömbcsap merev, így a teljes alakváltozást a fészek veszi fel. A járműtechnikában alkalmazott burkolóelemek műanyag bepattanó gömbcsuklós rögzítésével csökken a rezgés és a zaj. A Böllhoff cég által gyártott SNAPLOC® gömbcsuklós kötés csak két darabból áll, amivel a tengelytávolság könnyen kiegyenlíthető, könnyen szerelhető, és olcsóbb a fémből készült változatnál (17. ábra).²¹

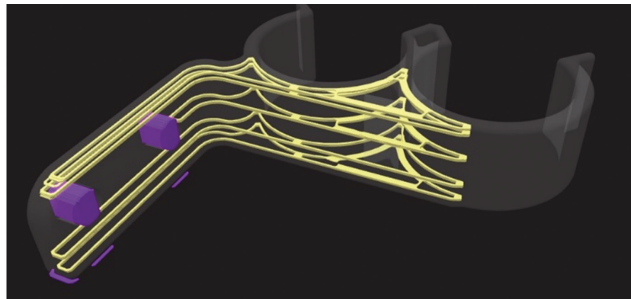
²¹ Böllhoff Group [é. n.].



17. ábra: SNAPLOC® gömbcsuklós bepattanó kötés

Forrás: www.boellhoff.com/hu-hu/termekek/kueloenleges-koetoelemek/snaploc-rezges-es-zajmentesito-duga-szolhato-oesszekoettetes/

A bepattanó kötés használatára egy jellemző alkatrész a különböző csövek (például belső égésű motor hűtőrendszerének gumicsövei) vagy kábelkötegek rögzítésre szolgáló tartója. Ezek a tartók rögzített állapotban tartják a csöveket, kábeleket, amelyek ezáltal kevésbé rezegnek, és nem érnek hozzá mozgó vagy forró alkatrészekhez. A 18. ábra bal oldalán látható tartóelemek a belső égésű motorra vannak szerelve, és a motor működéséhez szükséges kábelek rögzítésére szolgálnak. A jobb oldalon látható tartó pedig az Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi vízcsőtartójának 3D-modellje, amelyet üvegszál erősítéssel láttak el. A folyamatos üvegszál erősítés az – eleve mikroszénszál-erősítésű – Onyx alapanyag szilárdságát tovább növeli, ezáltal akadályozza meg az alkatrész meghibásodását, és biztosítja a hosszabb élettartamát.²²



18. ábra: Kábelkötegtartó belső égésű motoron és vízcsőtartó 3D-modellje üvegszál erősítéssel

Forrás: a bal oldali ábra a szerzők szerkesztése, a jobb oldali ábra GAVAY 2023: 230

A bepattanó kötések számos egyéb alkalmazási megoldása ismert, például a gyors szerszámcsatlakozók, amelyek megkönnyítik és felgyorsítják egyes szerszámok gépbe történő befogását, vagy pedig adott csatlakozók gyors zárását és oldását. Mivel

²² HEGEDŰS 2023: 62–66.

a bepattanó kötések lehetőséget adnak *ad hoc* kötések létrehozására, alkalmazásuk előnyös lehet katonai műveletek során, tábori körülmények között is.²³

Összefoglalás

A cikk összefoglalta és csoportosította a különböző kötésmódokat, bemutatta főbb jellemzőit, előnyeit, hátrányait, a haditechnikában való alkalmazási lehetőségeit, valamint az egyes kötések műanyag alkatrészek rögzítésére vonatkozó megoldásait. Részletesen ismertette a különféle bepattanó kötések, azokat példákkal mutatta be a haditechnikában alkalmazott megoldásain keresztül. Ismertette egyes bepattanó kötések 3D-nyomatással történő előállításának lehetőségeit és eddigi tapasztalatait. A bepattanó kötések helyének és szerepének megértésével lehetőség van további kutatások végrehajtására.

Felhasznált irodalom

- BASF Corporation (2007): *Snap-Fit Design Manual*.
- BONENBERGER, Paul R. (2016): *The First Snap-Fit Handbook. Creating and Managing Attachments for Plastics Parts*. München: Carl Hanser Verlag. Online: <https://doi.org/10.3139/9781569905968>
- Böllhoff Group [é. n.]: SNAPLOC®. Online: www.boellhoff.com/hu-hu/termekek/kueloenleges-koetoelemek/snaploc-rezges-es-zajmentesito-dugaszolhato-oeszszekoettetes/
- FAZEKAS Lajos (2013): *Válogatott fejezetek a gépészeti alapismeretekből*. Budapest: TERC Kft.
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GÁVAY György Viktor (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 31(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. *Műszaki Katonai Közöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész. UAV-k és könnyű járművek a haderőben és a katonai logisztikában. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>
- JAKAB Sándor – KODÁCSY János (2011): *Szerelés és javítástechnika*. Budapest: Typotex.
- LUKÁCS Pál (1998): *Új anyagok és technológiák az autógyártásban I.* Budapest: Maróti-Godai.

²³ VÉGVÁRI 2023.

- NÉMETH András – CZIGÁNY Tibor (1999): Hegesztett poliamid állapotvizsgálata és törési tulajdonságai. *Gép*, 51(5), 59–62.
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 33(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- WELTSCH Zoltán (2019): *Járműipari kötéstechológiák*. Budapest: Akadémiai. Online: <https://doi.org/10.1556/9789634543305>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei 3. rész. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>
- ZSÁRY Árpád (1984): *Gépelemek I. rész. Szilárdsági méretezés, kötések és kötőelemek, csővezetékek, tartályok, tengelyek, tengelykapcsolók*. Budapest: Tankönyvkiadó.