

Csavarkötések vizsgálata FDM nyomtatással készült műanyag alkatrészekben

The analysis of bolted joints in plastic components manufactured by FDM technology

Dr. BIHARI János¹, MARADA Imre²
¹egyetemi docens, ² PhD hallgató

Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet, Miskolc-Egyetemváros,
+3646565111, <https://www.uni-miskolc.hu/>

Abstract

The importance of 3D printing in highly automated industrial processes is rapidly increasing. Since the components are often fastened with bolted connections, it would be important to know what tightening torques and clamping forces should be used for different materials, in different planes and in the case of different filling ratios. In this research, we are seeking answers to the question of what clamping forces can be achieved in FDM printed parts using different thread connection designs.

Keywords: bolt, connection, FDM, 3D printing, analysis

Kivonat

A nagy mértékben automatizált ipari folyamatokban egyre nagyobb a 3D-nyomtatás jelentősége. Mivel az alkatrészeket gyakran rögzítik csavarkötésekkel, fontos lenne tudni, hogy mekkora meghúzási nyomatékokat és mekkora összeszorító erőket célszerű alkalmazni a különböző anyagoknál, különböző síkokban és különböző kitöltési arányok mellett. Ebben a kutatásban arra keressük a választ, hogy különböző kialakítású menetes kötésekkel milyen összeszorító erőket lehet elérni FDM nyomtatással készült alkatrészekben.

Kulcsszavak: csavar, csavarkötés, FDM, 3D nyomtatás, vizsgálat

1. Bevezetés

A nagy mértékben automatizált ipari folyamatokban egyre nagyobb a 3D-nyomtatás jelentősége. Míg ezeket az eljárásokat korábban főleg prototípusok gyártásához használták, mára egyre több gépalkatrész készül 3D-nyomtatással, és így egyre több karbantartóműhelynek alapvető eszköze a 3D-nyomtató. Ennek az egyik oka, hogy az automatizált rendszerekben nagyon gyakran kell bonyolult geometriájú alkatrészeket használni pl. megfogási vagy pozícionálási feladatokban. Ilyen esetekben a nyomtatott műanyag alkatrészek gyorsabb tönkremenetelét egyre gyakrabban ellensúlyozza a gyakorlatilag korlátlan rendelkezésre állásuk, és nehezen gyártható geometriák esetén a hagyományos technológiákhoz képest alacsonyabb darabköltségük. A kutatásunk szempontjából érdekesebb ok azonban az, hogy ezeknek az alkatrészeknek jelentős mértékben optimalizálható a tömege. A tömeg optimalizálása, ami itt jellemzően üreges testek létrehozását jelenti, valamint az FDM nyomtatással készült alkatrészek réteges szerkezete együtt jár azzal, hogy az előfeszített kötések, mint amilyenek a csavarkötések is, gyakran másként működnek, mint a forgácsolással vagy fröccsöntéssel készült alkatrészeknél.

2. A csavarkötések vizsgálatai

A csavarkötéseket számos szempontból lehet vizsgálni, de a kutatásunk főként az ISO 16047 [1] és a JIS 1084 [2] szabvány alapján vizsgálható jellemzőkre és a csavarkötések idővel és használattal összefüggő lazulásával foglalkozik.

Annak meghatározásához, hogy egy csavarkötés milyen feltételek mellett teljesíti biztonságosan a feladatát, azaz különböző elemek között erőzáró, és adott esetben alakzáró kötés létrehozását, tudnunk kell,

hogy egy csavarkötés mekkora összeszorító erőt tud létrehozni [3]. Lényeges azt is tudni, hogy ezt az összeszorító erőt milyen könnyen mérhető paraméterek alapján tudjuk beállítani.

A legelterjedtebb módszer a meghúzási nyomaték mérése, mert ehhez elméletileg mindig adott összeszorító erő tartozik adott csavar- és menetjellemzőknél.

Alapvetően számos segédlet és irányelv segíti a munkánkat, ezek különböző méretekhez és csavarkialakításokhoz megadják a maximális meghúzási nyomatékot és az így létrehozható elméleti összeszorító erőt.

Azonban a valódi összeszorító erő jelentősen eltérhet az elméletitől.

A valódi összeszorító erőt befolyásoló főbb tényezők:

- A csavarkötés kihasználtsága a folyáshatár függvényében
- Az összeszerelt alkatrészek szilárdsági jellemzői
- A csavarfejek/anyák/alátétek súrlódása
- A menetek súrlódása
- A szerelés módja
- Az ülepedési jelenségek (setting)

Ezért, ha egy csavarkötés esetében nem megengedhetőek jelentősebb, akár a névleges összeszorító erő 20 százalékát meghaladó eltérések, akkor célszerű vizsgálatokkal ellenőrizni, hogy az adott körülmények mellett az adott meghúzási nyomatékkal meghúzott csavarkötés mekkora összeszorító erőt tud létrehozni, és hogy mekkora az erő szórása.

Erre a legelterjedtebb vizsgálati módszer az ISO 16057 [1] szabvány szerint elvégzett vizsgálat. Mivel ez a módszer tökéletesen megfelel az általunk vizsgálni kíván csavarkötésekhez, a kutatásunk során ezt fogjuk használni.

Azonban az üreges 3D-nyomtatással készült alkatrészeknél jellemzően nem elegendő azt meghatározni, hogy egy csavarkötés milyen összeszorító erőt tud létrehozni, tudnunk kell azt is, hogy az idő során ez az erő hogyan változik. Itt az egyik fontos befolyásoló tényező az anyagok „ülepedése”, azaz meghúzáskor a felületi egyenetlenségek kisimulása, amelynek hatására csökken az anya és a csavarfej közötti anyagvastagság, a másik pedig a műanyagok folyása és deformációja, ami hosszabb idő alatt az összeszorító erő jelentős csökkenéséhez vezethet.

Mivel az ilyen alkatrészek alkalmazása pl. robotoknál jár jelentős előnyökkel, a deformációt és az ülepedési jelenségeket fokozzák azok a nagy gyorsulások, amelyeknek ezekben az alkalmazásokban ki vannak téve.

A jellemzően 3D-nyomtatáshoz használt anyagoknál ezen kívül nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy a fémek esetében még jelentéktelennek tekinthető hőmérséklet-ingadozások már jelentősen befolyásolhatják az anyagok szilárdságát, és a hőtágulás fokozhatja a csavarkötések lazulási hajlamát.

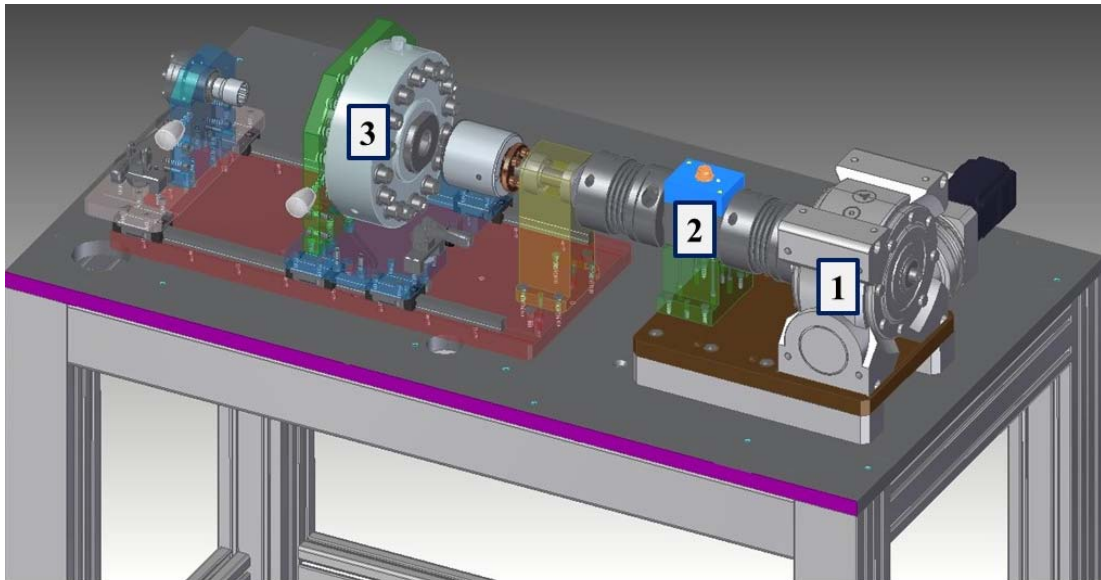
Ezért az ilyen alkatrészeknél alkalmazott csavarkötéseket érdemes komplexebben vizsgálni.

A kutatásunk során először elemezzük a meghúzási nyomaték és a létrehozott összeszorító erő összefüggéseit különböző elrendezéseknél és menetmegmunkálási módszereknél, majd kísérleteket végzünk az összeszorító erő csökkenésének meghatározására.

3. A vizsgálatok felépítése

3.1. A meghúzási nyomaték és az összeszorító erő kapcsolatának vizsgálata

Ehhez a vizsgálathoz az ISO 1607 szabvány szerinti vizsgálatoknak megfelelő mérőeszköket használunk. A meghúzási nyomatékot egy hajtóműves szervomotor (1. ábra 1. jelölés) biztosítja, a nyomatékot forgó nyomatékmérő cella (1. ábra 2. jelölés) méri [4], az összeszorító erőt egy térbeli kiegyenlítéssel rendelkező gyűrűs erőmérő cella (1. ábra 3. jelölés) méri [5]. Az eszköz kialakításának köszönhetően a meghúzás elvégezhető hagyományos szerszámokkal, és precíziós rögzítésű szerszámokkal is. Így meghatározható, hogy a kulcsok hagyományos, négyszög vagy hatszög csatlakozásai milyen mértékben befolyásolják a meghúzás pontosságát.



1. ábra. A meghúzási nyomaték és az összeszorító erő kapcsolatának vizsgálatára szolgáló próbapad

3.2. Az ülepedés és statikus deformáció vizsgálata

Ehhez összesen 28 összeszerelt egységet egy állandó hőmérsékletű helyen helyezünk el. Egy héten át minden nap ellenőrizzük, hogy van-e kimutatható lazulás a csavarkötésekben, ehhez minden nap másik 4 egységet vizsgálunk meg. Ha a vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy van értelme hosszabb időtávokat is vizsgálni, meg fogjuk ismételni a kísérleteket.

3.3. A hőmérséklet hatásainak vizsgálata

Az összeszerelt egységeket különböző hőmérsékletű helyeken tároljuk, változtatva a hőmérsékleteket, pl. a meleg raktárból temperált gyártócsarnokba kerülés szimulálásához.

3.4. Terheléses vizsgálatok

Az összeszerelt alkatrészeket egy három tengelyű lineáris robotra szereljük fel. Az alkatrészeket különböző gyorsulásoknak és lassulásoknak tesszük ki. A ciklusok számát előzetesen 1000 és 5000 ciklusban határoztuk meg. A kísérletek során szerzett tapasztalatok alapján valószínűleg új ciklusszámokat is meg kell határoznunk.

Ehhez a vizsgálatához is kapcsolódik a hőmérséklettel kapcsolatos kísérlet. Gyakori, hogy a robotok magasabb hőmérsékletű pontok, pl. kemencék, meleg anyagokat szállító csövek közelében mozognak, ilyenkor a lokális hőmérséklet-különbség 30 °C is lehet. ennek megfelelően a robot mozgásterében elhelyezünk egy ekkora hőmérséklet-különbséget biztosító hőforrást.

3.5. A lazulás meghatározása

A lazulás meghatározására a 3. 1 pontban ismertetett eszközöket használjuk. A lazulás vizsgálatához gyakran használják a lazítási nyomaték mérését, azonban ez valójában nagyon pontatlan, nagy szórású módszer. Ezért mi csavarkötések utánhúzásával ellenőrizzük a lazulást. Azt mérjük, hogy amennyiben ez alkalmazható, azaz volt lazulás, hány fordulatot tesz meg a szerszám az eredeti meghúzási nyomaték eléréséig.

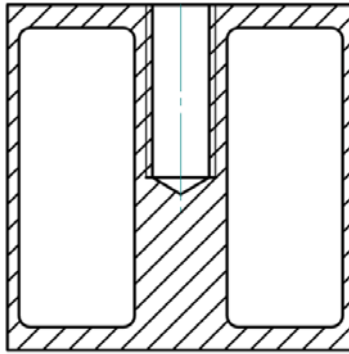
4. A vizsgálatokhoz használt alkatrészek

A vizsgálatok legfontosabb elemei azok az alkatrészek, amelyeket az összeszorító erő méréséhez használunk. Ezek mintaalkatrészek, amelyek a mindennapokban használt alkatrészek bizonyos tulajdonságaival rendelkeznek. Az ilyen tulajdonságok közül a legfontosabb a menetes kötések kialakítása.

4.1. Az FDM 3D-nyomtatással készült alkatrészek jellemző menetkialakításai

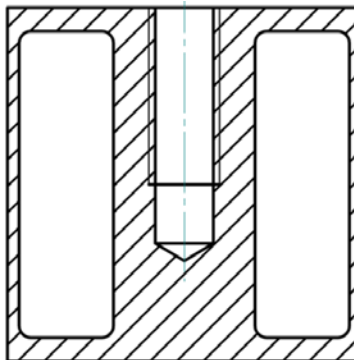
A következő ábrák azokat a menetes kötéseket mutatják be, amelyeket jellemzően használnak FDM 3D-nyomtatással készült alkatrészek rögzítéséhez.

A 2. ábrán a menet nyomtatással készült. A munkaigényt tekintve ez a legegyszerűbb megoldás, de a menet minősége és terhelhetősége erősen függ a menet méreteitől és a nyomtatási beállításoktól. Általánosan elmondható, hogy elfogadható minőségben csak nagyobb meneteket lehet így gyártani, és a szeleteléskor a lehető legkisebb rétegvastagságot kell beállítani.



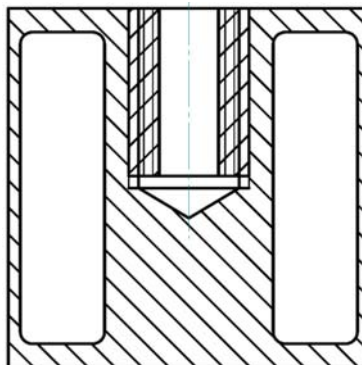
2. ábra. Nyomtatással készült menet

A 3. ábra menetszűrővel készült menetet mutat be. Ebben az esetben a nyomtatáson kívül még menetszűrőmunkálásra is szükség van, így ennek valamivel nagyobb a munka- és szerszámigénye a nyomtatott menethez képest.



3. ábra. Menetszűrővel készült menet

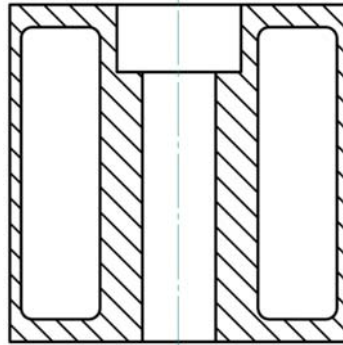
A 4. ábrán műanyag alkatrészekhez készült menetes betét van az alkatrészben. Ezek a betétek préseléssel, vagy kész menetbe behajtva rögzíthetők. A szerszám- és munkaigény itt is nagyobb, mint a nyomtatott meneteknél, de ezek a menetek a legjobb minőségűek. A fém betétek tömege azonban növeli az alkatrész tömegét.



4. ábra. Menetes betét

Az 5. ábrán a menet nem az alkatrészben van. Ez olyan esetekben használható, amikor a csavarok feje, vagy a süllyesztések nem befolyásolják az alkatrész működését.

A vizsgálatokhoz az itt felsorolt menetkialakításokkal fogunk alkatrészeket tervezni és gyártani.



5. ábra. A menet nem az alkatrészben van

4.2. A vizsgálatokhoz használt alkatrészek további tervezési szempontjai

Az alkatrészeknek illeszkednie kell az összeszorító erő mérésére szolgáló erőmérő cellába, és lehetővé kell tenniük a csavar meghúzását a cellában.

Az alkatrészeket deformációi nem befolyásolhatják a mérések eredményeit.

Az alkatrészeket úgy kell kialakítani, hogy el lehessen őket távolítani az erőmérő cellából, majd a megfelelő várakozási idő és/vagy terheléses vizsgálatok elvégzése után a lazulás vizsgálatához megfelelően vissza is lehessen helyezni őket.

Összefoglalás

Ez a cikk azt mutatja be, hogy milyen tényezőket kell figyelembe venni az FDM 3D-nyomtatással készült alkatrészek menetes kötéseinek vizsgálatához. Bemutatjuk az ilyen alkatrészek egyre jellemzőbb felhasználási területeit, valamint azokat a tényezőket, amelyeket vizsgálni kívánunk. Bemutatjuk, hogy milyen eszközt kívánunk használni az adott meghúzási nyomaték hatására kialakuló összeszorító erő méréséhez, valamint azokat a vizsgálatokat, amelyeken ezen felül el fogunk végezni. Felsoroljuk az ilyen alkatrészek leggyakoribb menetkialakításait. A cikk végén összegezzük, hogy milyen alapvető tulajdonságokkal kell rendelkezniük a vizsgálatokhoz használt alkatrészeknek.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] ISO 16047:2005 Fasteners — Torque/clamp force testing
- [2] JIS B 1084:2007 Fasteners — Torque/clamp force testing
- [3] Hofmann, S.: Möglichkeiten zum Erfassen der Schraubenvorspannung mit Dehnungsmessstreifen, Institutsmitteilung Nr. 39, IMW Clausthal, 2014.
- [4] Torque measurement technology from HBM, A New Dimension of Precision for optimum results in torque measurement, , HBM Public, 2021.
- [5] Reliable Force Measurement HBM force transducers for industry and research, HBM Public, 2022.