

ELŐFESZÍTETT CSAVARKÖTÉS MEGHÚZÁSI NYOMATÉK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF PRELOADED BOLTED JOINT TIGHTENING TORQUE

*Prof. Dr. Kátai László PhD, Monier Meleka Girgis hallgató, Dr. Gárdonyi Péter PhD
Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem, Műszaki Intézet*

ABSTRACT

A new measurement device for preload was developed for this study. Tests on the tightening torque of bolts and nuts with two different standards, M10 x 1.5 and M12 x 2, were carried out at room temperature. Experiments have been conducted to determine the relationship between pretension force and screwing times during the tightening process on a self-locking nut. The impact of friction on the bolt and nut has been discussed. Based on the measurements, it has been found that the pretension force generated by a given tightening torque can be significantly reduced by surface defects (wear, cavity formation) when the same bolt/nut is repeatedly applied.

1. BEVEZETÉS

A mechanikai rendszerekben széles körben alkalmazunk menetes kötőelemeket, mivel ezek egyszerűek, nagy teherbírásúak és könnyen össze- és szétszerelhetők. A csavarok meghúzása és a menetes kötések előfeszítése növeli a teherbírást és a kötés megbízhatóságát. Az anyag tényezők bizonytalansága a menetes kötések nagy vagy csekély előfeszítését okozhatják, ami befolyásolja a konstrukció biztonságát és megbízhatóságát. A túl nagy előfeszítés csökkenti a szerkezetek teherbírását, míg a túl kis előfeszítés a csavarok, lazulását, sőt törését okozhatja. A kis előfeszítések az összekapcsolt elemek között hézagot vagy oldalirányú mozgást okoznak, ami veszélyes a gép szabályos működésére. A nyomaték és az előfeszítés közötti kapcsolat meghatározása kritikus fontosságú a menetes kötések előfeszítése során [1].

Adott meghúzási nyomaték alkalmazása egy egyszerű és hatékony módszer egy csavar meghatározott előfeszítésre történő meghúzására. Ennek eredményeképpen kritikus

fontosságú, hogy elméletileg megalkossuk a menetes kötőelemek pontos nyomaték-feszültség kapcsolatát, lehetővé téve az ipar számára a következetes előfeszítés elérését [2,3].

A kutatómunkánk célja a MATE Műszaki Intézet laboratóriumában meglévő mérőberendezés új, módosított kialakításának megvalósítása, amely alkalmas különböző méretű csavarok vizsgálatára az meghúzási nyomaték és a csavarszár alakváltozás kísérleti mérésére, amely a csavar előfeszítési kísérlet során jelentkezik.

További célkitűzésünk volt, hogy kísérleti módszerrel megvizsgáljuk az acélsavarra ható előfeszítő erő változását egy M10-es és M12-es önzáró anya alkalmazásával, a meghúzást állandó sebességgel, egy választott nyomatékértékkel ugyanazon csavaranyával többszöri ismétléssel meghúzva a csavart.

2. A MEGHÚZÁSI NYOMATÉK

A meghúzást a csatlakozás legmerevbb részétől a legkevésbé merev alkatrészig kell elvégezni. Sok meghúzási ciklusra lehet szükség az egyenletesen szoros és szoros állapot eléréséhez. Meghúzás után a csavarnak egy menetközzel ki kell állnia az anya felületéből. A nyomatéktechnika minden fázisában használt nyomatékkulcsoknak az EN ISO 6789 szabvány (Csavarok és anyák szerelőszerszámai) szerint 4%-os pontosságúnak kell lenniük. (Kézi nyomatékszerszámok - Tervezési megfelelőségvizsgálat, minőségi megfelelőségvizsgálat és újrakalibrálási eljárás). Az egyes csavarkulcsok pontosságát hetente, pneumatikus csavarkulcsok esetében pedig a tömlőhossz beállításakor minden alkalommal ellenőrizni kell. A kombinált technika első fázisában használt nyomatékkulcsok esetében a

szabványok 10%-os pontosságot és éves pontosságot írnak elő [4].

A meghúzási nyomaték (M) és az előfeszítő erő (F_e) közötti kapcsolat a szakirodalomból ismert alábbi összefüggéssel határozható meg.

$$M = F_e \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho') + F_e \mu_a d_3 \quad (1)$$

ahol,

d_2 – a menet középátmérője

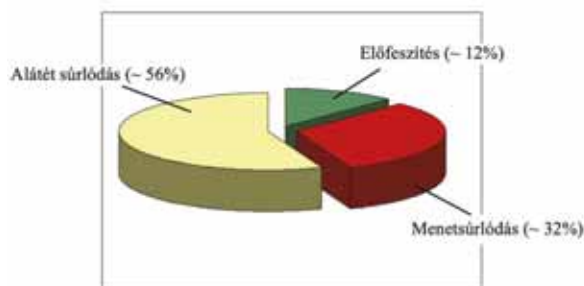
α – a menetemelkedés szöge

ρ' – a horonyhatással növelt súrlódási félkúpszög

μ_a – alátét súrlódási tényező

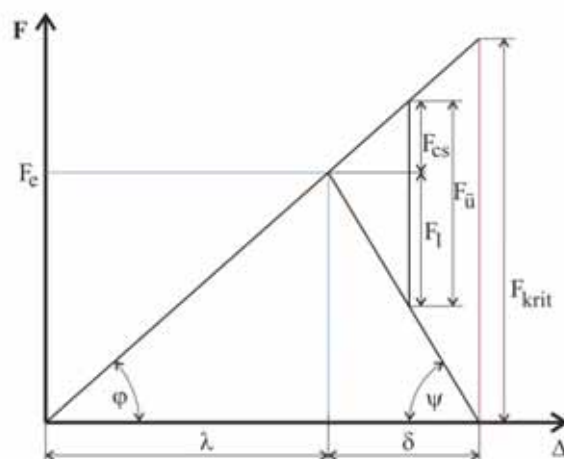
d_3 – magátmérő (kb. az alátétsugárral megegyező méret).

Az összefüggésből megállapítható, hogy a csavar geometriai jellemzőin túl az alkalmazott nyomaték hatására kialakuló csavarszár előfeszítést a súrlódási viszonyok (menetek és alátét) határozzák meg. Ezek a súrlódásos kapcsolatok eredményezhetnek bizonytalanságot az ipari gyakorlatban. Az 1. ábra szemlélteti, hogy a meghúzási nyomaték jelentős hányadát a kialakuló súrlódási viszonyok emészthetik fel, így ezek ismerete kritikus fontosságú lehet.



1. ábra Nyomaték eloszlás diagram

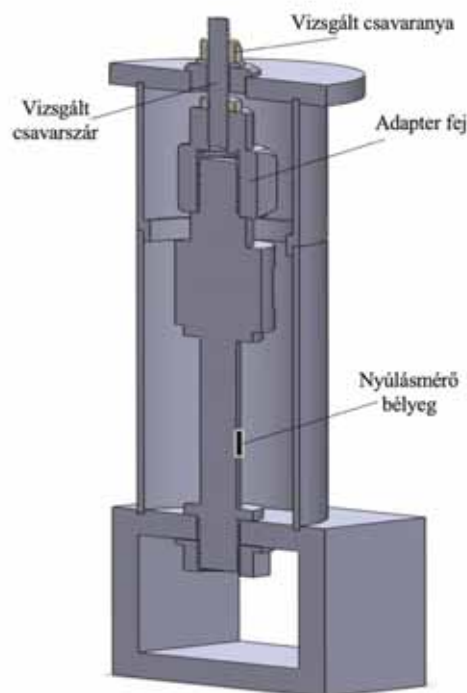
A csavarelőfeszítést ábrázoló diagram (előfeszítési ábra) alapján elemezhető, hogy a kötésben létrejövő rugalmas rendszerben az egyes elemek hogyan terhelődnek, ill. a terhelés hatására milyen deformációt szenvednek (2. ábra). Az ábra alapján értelmezhető, hogy bizonyos külső terhelés ($F_{\bar{u}}$) hogyan oszlik meg a kötés egyes elemein. F_{cs} a csavarszár, F_1 az összekötött szerkezeti elemek (lemez) terhelését jelölik. A kritikus terhelés nagysága (F_{krit}), amikor a szerkezeti elemeket közötti kontakt megszűnik [5].



2. ábra Előfeszített csavarkötés erőhatásábrája

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgáló berendezés, amely egy csavarkötést modellez a 3. ábrán szemléltetett módon épül fel. A külső henger az összefogott elemeket modellezi, a vizsgált csavarszárban kialakuló erő a nyúlásmérő bélyegek alapján mért deformációból határozható meg. A meghúzás nyomatékmérésre alkalmas szerszámmal történik, a mérési adatok gyűjtésére, feldolgozására HBM Spider 8 mérő- adatgyűjtő eszköz szolgál.



3. ábra A vizsgált csavarkötés felépítésének 3D modellje

A mérésre összeállított vizsgáló egység a 4. ábrán látható.



4. ábra Az összeállított teszt egység

A vizsgálat során a szabványos önzáró anyát egyenletes sebességgel meghúzva hoztuk létre a kötést. Egy adott csavaranyával 10-szer össze- és szétszerelést ismételtünk meg, azt vizsgálva, hogy a többszöri alkalmazás hogyan befolyásolja a kialakuló súrlódási viszonyokat és ezáltal adott meghúzási nyomaték hatására kialakuló előfeszítési erőt. A vizsgálatot 5 db csavaranyával, azaz ötszörös ismétléssel végeztük el, két különböző menetméret (M10x1,5, M12 x 2) esetére. Az alkalmazott menetes szárok anyaga S355, a csavaranyák (ISO 898-1) anyaga pedig 8-as szilárdsági osztályú volt.

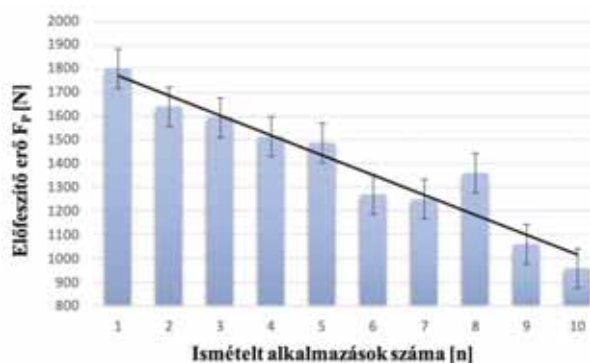
A VIZSGÁLAT EREDMÉNYE, ÉRTÉKELÉS
A csavar az előfeszítési folyamat során megnyúlik, ami a mérőcsavar feszültségével megegyező axiális előfeszítést eredményez ($F_p = E \cdot \varepsilon \cdot A$), és a kifejtett nyomaték közvetlenül meghatározható egy mérőbéllyel ellátott nyomatékkulcs segítségével. Így a nyomaték és a hozzá tartozó alakváltozás értéke minden egyes önzáró anya minden egyes mérésénél táblázatba foglalható.

Mivel a csavar meghúzása a nyomatékkulcs folyamatos forgatásával történt, az adatgyűjtési frekvencia mértékéből adódóan a kiválasztott nyomatékérték ± 3 %-os tűréshatárral állt rendelkezésre. Az M10x1,5 menetes szár esetében a $25 \text{ Nm} \pm 3 \%$ meghúzási nyomaték hatására kialakuló előfeszítő erőt vizsgáltuk (1. táblázat), az M12x2 menet esetében ez a nyomaték $30 \text{ Nm} \pm 3 \%$ érték volt.

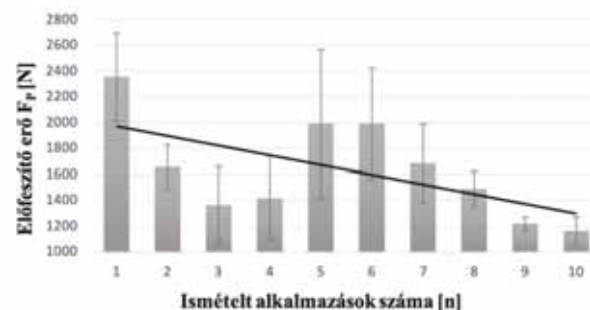
1. táblázat: A meghúzási nyomaték értékek (Nm) a kísérletsorozat során (M10x1,5)

	1. számú anya	2. számú anya	3. számú anya	4. számú anya	5. számú anya
1. Meghúzás	29.805	30.017	29.887	30.401	30.146
2. Meghúzás	29.239	30.142	30.008	30.436	29.978
3. Meghúzás	31.227	30.051	29.589	29.671	29.943
4. Meghúzás	29.368	30.043	30.695	30.501	30.008
5. Meghúzás	30.077	30.228	29.995	30.358	29.887
6. Meghúzás	30.250	30.129	30.604	30.522	29.723
7. Meghúzás	30.280	30.069	30.181	29.891	29.598
8. Meghúzás	29.848	30.626	30.868	29.550	30.151
9. Meghúzás	30.211	29.805	30.574	29.593	30.198
10. Meghúzás	30.596	30.609	30.224	30.341	29.986

Ugyanazon csavaranya többszöri alkalmazása (1-10) esetén az előfeszítő erő mértékének változását mutatja az 5. ábra és a 6. ábra.



5. ábra.: Adott csavaranya (M10x1,5) ismételt alkalmazása esetén az előfeszítő erő változása ($M_t=20 \text{ Nm}$).



6. ábra.: Adott csavaranya (M12x2) ismételt alkalmazása esetén az előfeszítő erő változása ($M_t=30 \text{ Nm}$).

A diagramok alapján jól látható a tendencia, miszerint az adott meghúzási nyomaték hatására kialakuló előfeszítő erő az ismételt használat

során folyamatosan csökken és a kísérletek alapján a 10. ismétlés esetén már közel a felére esik vissza.

Az előfeszítő erő jelentős mértékű csökkenése a súrlódási viszonyok megváltozására utal, a felületeket a vizsgálat sorozatot követően tanulmányozva a következő megállapítások tehetők: az érintkező felületeken jelentős mértékű hibák, rendellenességek alakultak ki, ilyenek például a kopás és a keletkezett üregek, mind az alátét, mind az önzáró anya felületén.



A



B



C

7. ábra.: A csavarszár felületi hibái (A), a csavaranya felülete (B) az alátét felülete (C) a többszöri alkalmazást követően.

Ezeket szemlélteti a 7. ábra az M10-es mintacsavar tesztjén végzett összes vizsgálatot követően.

Az eredmények azt mutatják, hogy az előfeszítő erő csökkenését elsősorban a súrlódás elsődleges hatása határozza meg, ahogyan a fém érintkező felület változik, nem pedig a polimer önzáró gyűrű. Ez a hatás jelentősen befolyásolja a meghúzást, mivel ugyanazon csavar és anya következetes többszöri használata olyan felületi hibákhoz vezet, mint a kopás és a felületek kitöredezése, üregek kialakulása.

Minden egyes alkalommal, amikor egy csavart előre meghatározott meghúzási nyomatékkal kell alkalmazunk, legyünk körültekintőek, és csak az eredeti csavart és anyát használjuk, legfeljebb egyszer. Ha ugyanazt a csavart/anyát többször használjuk, akkor nagy bizonytalanságot viszünk a rendszerbe és ezzel az előírt kötőerő is bizonytalan értékű lesz.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Brown, W., & Lim, T.-Y. (2015). Factors affecting nut factors for PVP bolted joint assembly. *Procedia Engineering*, 130, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.186>
- [2] Fernando, S., Lee, J., Pokharel, T., & Gad, E. (2021). Improvements to torque versus tension relationship considering nut dilation effects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 095440622110420. <https://doi.org/10.1177/09544062211042050>
- [3] FUKUOKA, T., & TAKAKI, T. (1998). Mechanical behaviors of bolted joint during tightening using torque control. *JSME International Journal Series A*, 41(2), 185–191. <https://doi.org/10.1299/jsmea.41.185>
- [4] Bernuzzi, C., & Cordova, B. (2016). The mechanical fasteners. *Structural Steel Design to Eurocode3 and AISC Specifications*, 345–394. <https://doi.org/10.1002/9781118631201.ch13>
- [5] SZABÓ I., KÁTAI L., MOLNÁR L., KAJTÁR P.: Előfeszített csavarkötések működésének modellezése. In: MTA-AMA Kutatási Fejlesztési Tanácskozás Gödöllő, 2008. 2. kötet p. 203-207. ISBN 978 963 611 451 0