

DP600 acél ragasztott kötéseinek fárasztási vizsgálata

Fatigue test of DP600 steel adhesive bonds

Balog Kornél^{0009-0000-1915-5414 1*}, Pécz-Kovács Péter^{0000-0003-1268-9362 1}

¹ IJAT Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2026.2.ENG.002>

Kulcsszavak:

fárasztó vizsgálat
ragasztott kötés
epoxi ragasztó
DP600 acél
lézeres felületkezelés

Keywords:

fatigue test
adhesive bonding
epoxy adhesive
DP600 steel
laser surface treatment

Cikktörténet:

Beérkezett 20226. január 30.
Átdolgozva 2026. április 19.
Elfogadva 2026. május 10.

Összefoglalás

A ragasztott kötések mechanikai tulajdonságai szempontjából a felületkezelések kiemelkedő fontosságúak. A gyártók műszaki adatlapokon tüntetik fel az anyagok tulajdonságait, azonban ezek közt nem szerepelnek a fárasztási jellemzők. Kutatásunk célja a lézeres felületkezelések hatásának vizsgálata az epoxi ragasztó fáradási tulajdonságaira. A vizsgálathoz egy zsírtalanított és három, különböző átlagteljesítményű lézersugárral kezelt ragasztott kötést készítettünk el. Ezt követően a ragasztott próbadarabokat lüktető, előterheléses ciklikus fárasztásnak tettük ki. A fáradásos törésig eltelt ciklusok számából lehet következtetni a felületkezelések ragasztott kötésekre gyakorolt hatására.

Abstract

The surface treatments of glued surfaces are crucial in determining the mechanical properties of adhesive joints. The glue manufacturers provides the properties of the adhesives, but these do not include fatigue datas. The goal of our research is to investigate the effect of laser surface treatment on the fatigue properties of the epoxi adhesive joint. For the research we prepared one degreased and three laser treated surfaces, which were later joined with adhesive. The laser treatments were created using different average laser power. After the specimens were subjected to prestressed, pulsating fatigue cycles. We can observe the effect of the surface treatment by comparing the number of fatigue cycles until failure.

1. Bevezetés

A ragasztóanyagok manapság nélkülözhetetlen elemei mindennapjainknak. Megtalálhatók egyaránt a hétköznapi életünkben (ragasztószalag, pillanatragasztó) illetve az iparban (szerkezeti ragasztóanyagok, könnyűipari papírragasztók), és könnyen hozzáférhetőek, akár a legkisebb üzletekben is megvásárolhatók. Ez azonban nem mindig volt így a történelem során.

Az első ragasztóanyagok a természetben találhatók meg. Az evolúció hatására néhány élőlény ragacsos anyagok termelésére alkalmas szervekkel fejlődött ki. Ilyenek például a víz alatt élő egyes kagylók és kacsalábú rákok. Ezek az élőlények a víz alatt különböző tárgyak felületeihez tapadva élnek. A tapadást egy ragadós anyag kibocsátásával hozzák létre[1].

Az ember által elsőnek előállított ragasztóknak azonban tudomásunk szerint nem volt köze ezekhez. Felfedezésük végbemenetelét jelenleg még nem ismerjük, csak azt tudjuk, hogy képesek voltak ragasztóanyagokat készíteni és használni. Az legkorábbi ragasztóanyagok három teljesen

* Kapcsolattartó szerző.

E-mail cím: kori.123yc@gmail.com

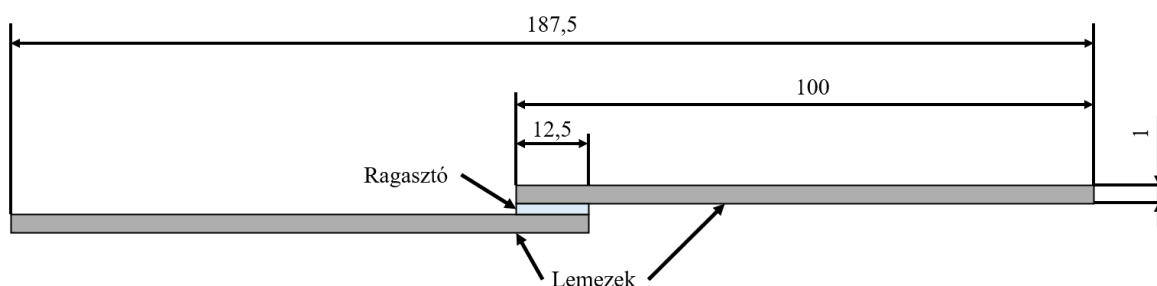
eltérő természetes anyagból készültek. Növényi eredetű a nyírfaszurok, ásványi eredetű a bitumen és állati eredetű a kollagén alapú ragasztó [2].

A történelem során a ragasztóanyagoknak több fajtája és elkészítési módszere is létrejött, de ezek mind kis mennyiségekben történtek. Azonban igény keletkezett a ragasztók ipari mértékű gyártására, ezzel együtt a minőségbiztosításra is. Kezdetben különféle saját gyártású készülékeket alkalmaztak a ragasztóanyagok konzisztenciájának vizsgálatára [2]. Ezekből az eljárásokból fejlődtek ki a mai nap már szabványosított eljárások, amelyek már több fizikai és mechanikai tulajdonság vizsgálatára is kiterjednek [3]. A gyártók műszaki adatlapokon tüntetik fel az általuk mért és biztosított tulajdonságokat, azonban ezek között nem szerepel olyan adat, amely a ragasztóanyag fárasztási tulajdonságára utalna.

Kutatásunk során a Loctite EA 2K 9466 ragasztóanyag fárasztási tulajdonságát vizsgáltuk, majd különböző felületkezelések hatását is összehasonlítottuk. Összesen négy különböző felületkezelést vizsgáltunk meg: az egyszerű zsírtalanított, 51 W, 25,5 W és 12,75 W átlagteljesítményű lézersugaras felületkezelést.

2. Próbadarabok elkészítése

A próbadarabokat DP600 acél táblalemezből készítettük el. Méreteiket az ISO 4587-2003 [4] szabvány alapján alakítottuk ki (1. ábra), szám szerint 100 mm hosszú, 25 mm széles és a szabványtól eltérve 1 mm lemezvastagságot alkalmaztunk. A szabványtól az alapanyag lemezvastagsága miatt térünk el.



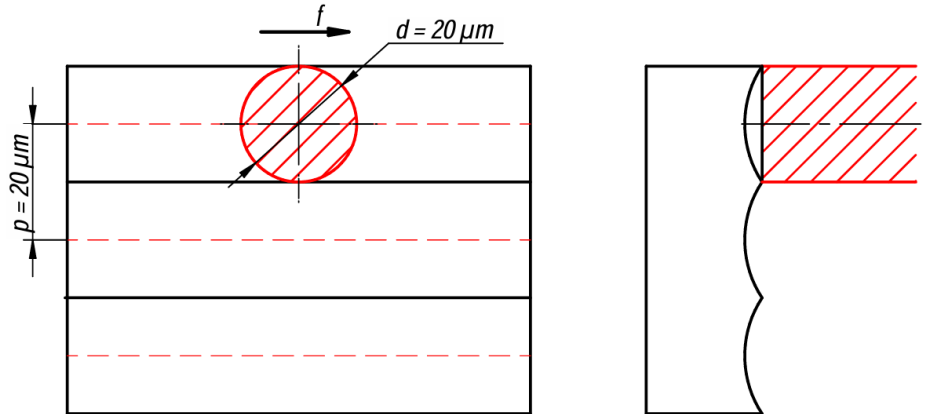
1. ábra. A próbadarabok mérete

Miután a lemezeket a megfelelő méretre daraboltuk, elvégeztük a felületkezeléseket. A megfelelő felületkezelések elkészítése fontos a modern ipari felhasználásban, ezért sokan foglalkoznak ezek vizsgálatával. Idris Bello és társai vizsgálták a lézeres felületkezelések hatását a fárasztási tulajdonságokra. Kutatásuk során azt találták, hogy a lézeres előkészítés pozitív hatással van a ragasztott kötés leválási energiájára és a fárasztási tulajdonságokra [5].

Alp Özdemir és társai különböző mechanikai és kémiai felületkezeléseket hasonlítottak össze. Négy felületkezelési módot alkalmaztak: homokfúvást, maratást és homokfúvást, maratást és anódos oxidációt majd egy maratás-homokfúvás-anódos oxidációs kombinációt is kipróbáltak. A feltevésük az volt, hogy a felület nedvesítőképességét megmérve megállapítható, mely felületkezelések alkotják a legerősebb ragasztott kötések. Ennek megállapításához üllő csepp módszert alkalmaztak, amelyből az adhéziós energiát számítottak ki. Ezek alapján az anódos oxidált felületkezelés kellett volna, hogy a legjobb eredményt nyújtsa statikus húzó-nyíró vizsgálat folyamán (ASTM D1002). Azonban az eredmények azt mutatták, hogy a maratott és homokfúvott felület hozta létre a legerősebb kötést, míg a maratott és anódos oxidált felület a leggyengébbet. Ezt a felületi érdekesség magyarázza, amely az előbbi felületkezelés esetén a legnagyobb, az utóbbi esetén a legkisebb volt. Ezáltal bebizonyosodott, hogy nem elegendő az adhéziós munka megállapítása, a felületi érdekességnek is nagy jelentősége van [6]. Hasonló eredményre jutottak S. De Barros és társai, akik a felületkezelés hatását vizsgálták dinamikus terhelések esetén. A homokfúvás és a szemcseszórás biztosította a leghosszabb élettartamot, amelyet megint csak a felületi érdekesség magyarázott [7].

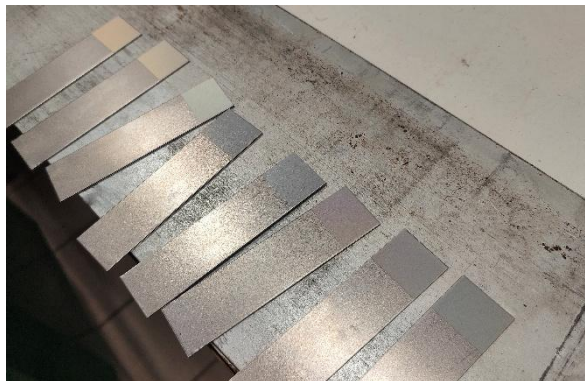
Az első próbadarabon csak zsírtalanítást alkalmaztunk ("A" jelű próbadarab). A következő három próbadarab ragasztott felületein lézersugaras felületkezelést végeztünk. A felületkezelések elkészítéséhez Coherent Monaco 1035-80-60 ipari femtoszekundumos lézert alkalmaztunk, amely

középponti hullámhossza 1035 nm, legnagyobb lézersugár teljesítménye 60 W, a lézersugár energiája pedig 80 μJ [8]. A lézersugár paraméterei a következők voltak: 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ pásztázási sebesség, 277 fs impulzushossz, 188 kHz frekvencia, hullámhossza pedig az alap közép-hullámhossz, 1035 nm. A lézersugár foltátmérője $d = 20 \mu\text{m}$, a kezelt pályavonalak egymástól $p = 20 \mu\text{m}$ -re voltak (2. ábra).



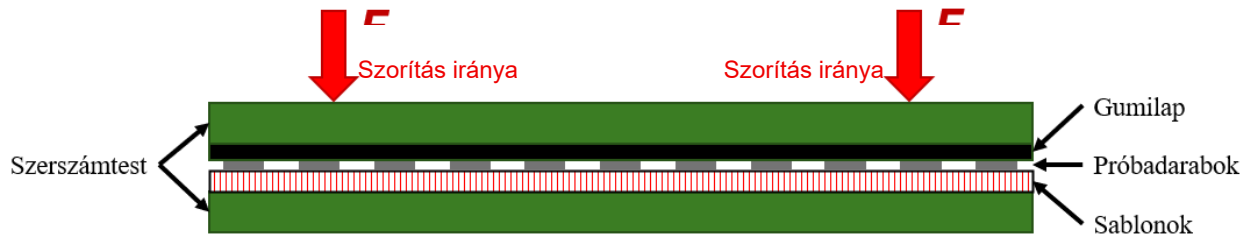
2. ábra. A lézersugaras felületkezelés elvi ábrája

A lézersugár tranzverzális elektromágneses módja TEM_{00} volt. A lézersugár foltátmérőjének és a pályavonalak egyenlő értékre való állításával, illetve a TEM_{00} mód segítségével a lézersugár a felületen keresztirányú mélyedéseket alakított ki. A három felületkezelés a lézersugár átlagteljesítményében tért el: 51 W ("B" jelű próbadarab), 25,5 W ("C" jelű próbadarab) és 12,75 W ("D" jelű próbadarab) (3. ábra).



3. ábra. Lézersugárral kezelt felületek

A ragasztás elkészítéséhez a Loctite EA 2K 9466 epoxi ragasztót alkalmaztunk. Átlapoló ragasztott kötéseket készítettünk, ahol az átlapolás 25 mm szélességű és 12,5 mm hosszú. A ragasztó kikeményedési idejére a próbadarabokat összeszorítottuk (4. ábra), ezzel biztosítva a ragasztási hézag minimális vastagságát.



4. ábra. A próbadarabok összeszorítása

3. A vizsgálati folyamat programozása

A vizsgálat elvégzéséhez szükség volt a fárasztó berendezés programozására. Az általunk használt MTS 858 Mini Bionix II fárasztó berendezés (5. ábra) saját szoftverrel (Station Manager) rendelkezik, ahol lehetőség van különböző vizsgálati profilok beállítására és készítésére.



5. ábra. MTS 858 Mini Bionix II fárasztó berendezés

A fárasztási tulajdonságok megállapítására két mód is rendelkezésre áll. Az első módszer a Fabrizio Moroni és társai [9] által alkalmazott I. típusú repedési vizsgálat, a második İsmail Saraç és társai [10] által alkalmazott nyíró-húzó vizsgálat. Az általunk elvégzendő vizsgálatokhoz a nyíró-húzó típusú vizsgálatot választottunk, mivel ilyen vékony ragasztórétegen a repedés terjedését nem lehet megfigyelni.

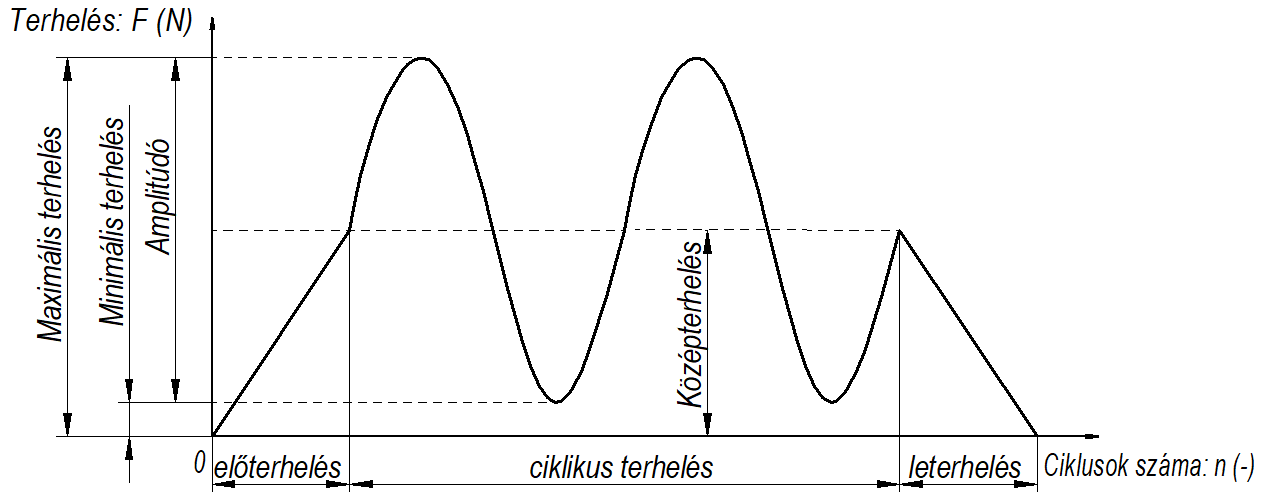
A fárasztó vizsgálatok paraméterezéséhez az ASTM D3166-1999 [11] szabványt vettük alapul. A szabvány előírása alapján a próbadarabokat ciklikus húzó-nyíró igénybevételnek kell kitenni úgy, hogy a próbadarabok 10000000 és 2000 ciklus között törjenek el, a feszültség arány pedig $R = 0,1$ legyen.

A feszültség arány a minimális és maximális terhelés viszonyát fejezi ki, vagyis, hogy a minimális terhelés hányad része a maximális terhelésnek. A feszültség arány értékei különböző ismétlődő igénybevételi típusokat különböztetünk meg:

- **lökötő igénybevétel** ($0 < R < 1$, $1 < R$); az ismétlődő igénybevétel csak egy féle feszültséget okoz, $0 < R < 1$ esetén csak húzó, $1 < R$ esetén csak nyomó feszültség ébred.
- **tiszta lökötő igénybevétel** ($R = 0$, $R = -\infty$); az ismétlődő igénybevétel minimális vagy maximális terhelése nulla, csak egy fajta feszültség ébred. $R = 0$ esetén a minimális terhelés 0, csak húzó feszültség ébred. $R = -\infty$ esetén a maximális terhelés 0, csak nyomó feszültség ébred.
- **lengő igénybevétel** ($-1 < R < 0$, $-\infty < R < -1$); az igénybevétel aszimmetrikusan hat, egy pillanatban húzó, másban nyomó feszültség ébred amelyek egymással nem egyenlő nagyságúak.

- tiszta lüktető igénybevétel ($R = -1$); az igénybevétel szimmetrikusan hat, egyik pillanatban húzó, másokban nyomó feszültség ébred és ezek egymással egyenlő nagyságúak.

A terhelésváltozásának frekvenciájának $1800 \frac{\text{ciklus}}{\text{perc}}$ -et ajánl a szabvány, amely 30 Hz-nek felel meg [11]. A terhelés jellegének előterheléses szinuszos igénybevételt határoztunk meg (6. ábra).



6. ábra. A fárasztó vizsgálat jellege és nevezetes értékei

A vizsgálatunk maximális terheléséhez a névleges nyírószilárdság 50%-át választottuk, amelyeket a Loctite weboldalán található műszaki adatlap adataiból számítottunk ki [12]. Az „A” próbadarab kifáradási határfeszültségének kiszámításához az adatlapon található, rozsdamentes acélon mért nyírószilárdságot vettük alapul ($\tau_A = 23 \text{ MPa}$), míg a többi próbadarabhoz a homokfújt acélon mért szilárdságot használtuk ($\tau_{B,C,D} = 37 \text{ MPa}$). Mivel a ragasztási hézag minimális méretre készült, így az alkalmazott terhelő erő számításánál hajlítással nem számoltunk, tiszta nyírást feltételeztünk. A számított terhelő erőket a 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A vizsgálat során alkalmazott terhelések

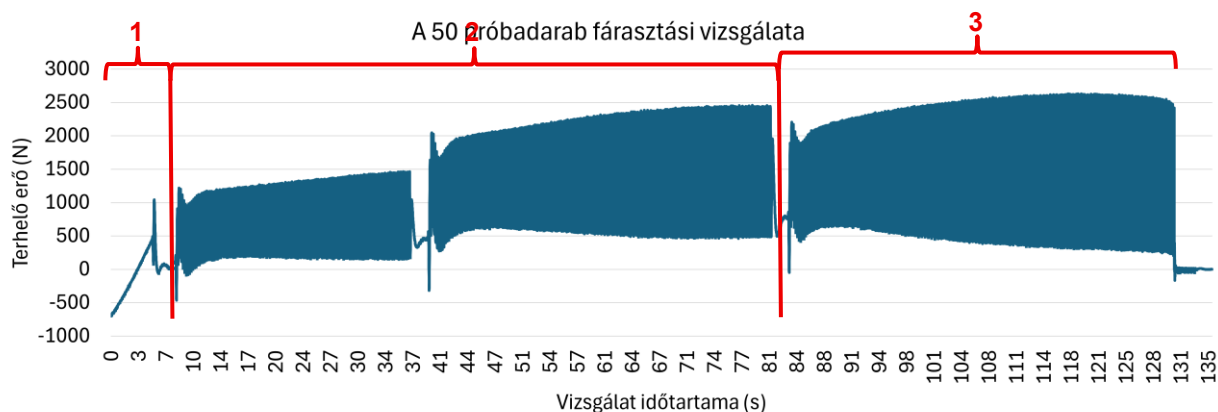
	„A” próbadarab	„B”, „C” és „D” próbadarab
Nyírószilárdság (τ)	23 MPa	37 MPa
Kifáradási határfeszültség ($\tau_{D,R=0,1} = \tau \cdot 50\%$)		
Ragasztott felület (A)	$A = 25 \text{ mm} \cdot 12,5 \text{ mm} = 312,5 \text{ mm}^2$	
Maximális terhelés ($F_{max} = \tau_{D,R=0,1} \cdot A$)	3593,8 N	5781,3 N
Minimális terhelés ($F_{min} = R \cdot F_{max}$)	359,38 N	578,13 N
Középterhelés ($F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$)	1976,6 N	3179,7 N

4. Fárasztási vizsgálatok elvégzése

A próbadarabok megfogóban történő megcsúszásának megakadályozásához új megfogókat kellett készítenünk, amellyel azonban az erő alapú vezérlés nem volt használható, emiatt út alapú vezérlést kellett alkalmaznunk. Először pár próbadarab felhasználásával beállítottuk a megfelelő elmozdulásokat, amelyek a próbadarabhoz megfelelő maximális és minimális terhelést okozták. Ezek az értékek azonban próbadarabonként eltértek, így minden vizsgálatot 5 Hz frekvenciával indítottuk és az elmozdulásokat a lehető legpontosabbra állítottuk, majd csak ezután vettük fel a vizsgálati frekvenciát 20 Hz-re. A szabvány által ajánlott 30 Hz-et túl soknak véltük, a berendezés hidraulikus munkahengere nem tudta azonosan tartani az elmozdulásokat.

4.1. "A" próbadarab vizsgálata

A ragasztott kötés a beállítási szakaszban elfáradt, így nem volt lehetőségünk beállítani az előírt terhelést. A próbadarab összesen 591 ciklust bírt ki, így az ASTM D3166-1999 [11] szabvány által előírt 2000 ciklusú alsó határt nem éri el, ezt az eredményt fenntartásokkal kell kezelni. A vizsgálat időbeli lefolyását a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**, mért értékeit a 2. táblázat tartalmazza.



7. ábra. „A” próbadarab vizsgálatának diagramja

2. táblázat. „A” próbadarab vizsgálatának mért értékei

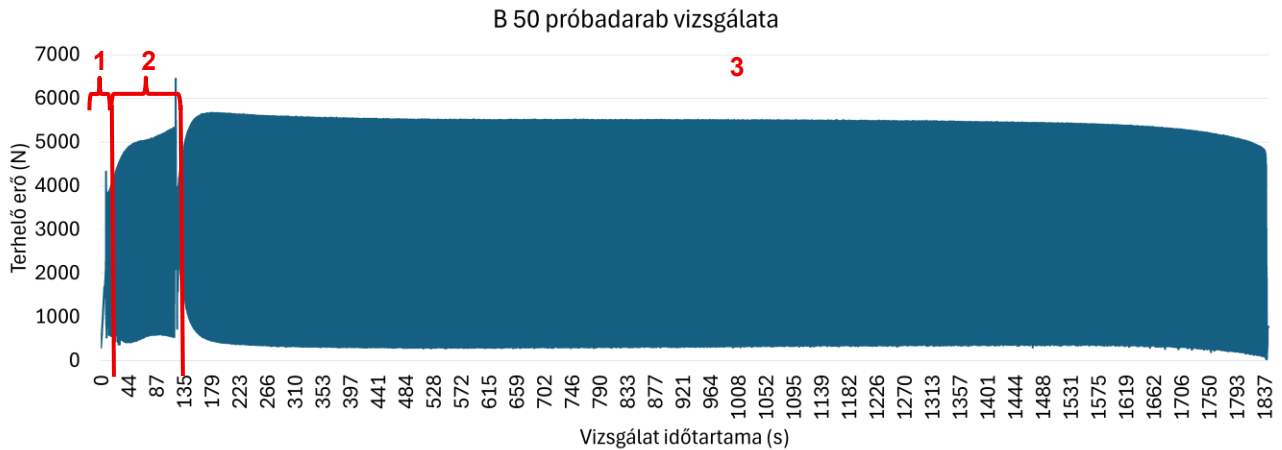
Valódi maximális terhelés	$F_{\max} = 2632,1 \text{ N}$
Valódi minimális terhelés	$F_{\min} = 218,4 \text{ N}$
Valódi feszültségarány	$R = 0,083$
Valódi maximális nyírófeszültség	$\tau = 8,4 \text{ MPa}$
Eltelt ciklusok	$n = 591$

A terhelő erő – vizsgált időtartam diagramon (7. ábra) a vizsgálat több szakaszra bontható. Az 1. szakasz a vizsgálat kezdetét jelöli, amikor a fárasztó berendezés beáll a középterhelésre. A 2. szakasz jelöli a beállítási szakaszt, amelyen csökkentett sebességgel 5 Hz frekvencián fárasztottuk a próbadarabot. Amennyiben szükség volt a terhelés értékének módosítására, azt ebben a szakaszban el tudtuk végezni. A szakaszon belüli ugrások jelzik azokat a pontokat, amikor a vizsgálat szüneteltetve volt, ekkor írtuk át az elmozdulás értékeit. A 3. szakasz a vizsgálat azon pontját jelzi, amikor már a kiszámított terhelést $\pm 10\%$ eltéréssel megközelítette. Ekkor a vizsgálat már hosszabb időtartamra is elindítható volt, a terhelési frekvenciát 20 Hz-re állítottuk. Ez a szakasz minden esetben ragasztott kötés tönkremenetelével fejeződött be.

4.2. "B" próbadarab vizsgálata

A próbadarab vizsgálata az 1. és 2. szakaszt követően elérte a megfelelő terhelést, a ragasztott kötés 34885 ciklus után fáradt el. A vizsgálat időbeli lefolyását a 8. ábra, a mért értékeit a 3. táblázat tartalmazza. A diagramon látható, hogy a vizsgálat egyenletesen végigfutott.





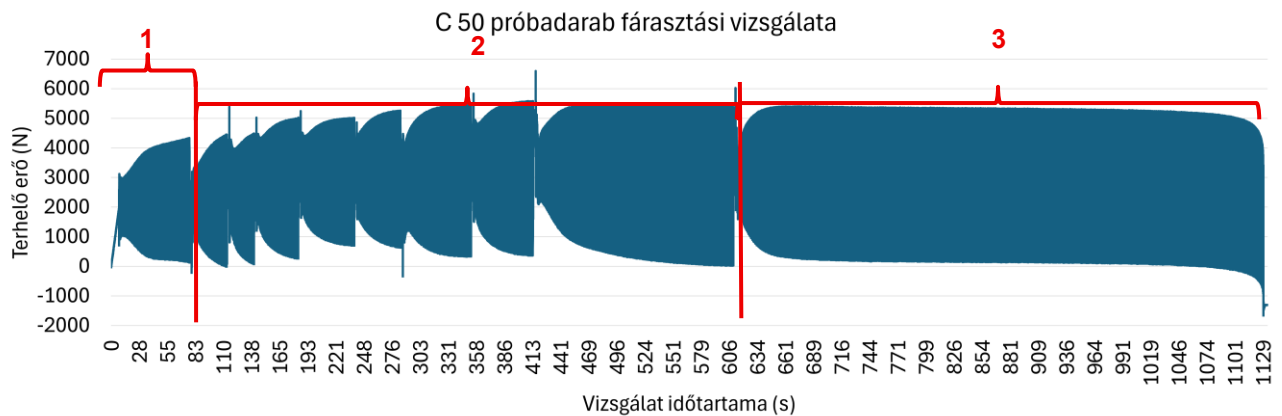
8. ábra. „B” próbadarab vizsgálatának diagramja

3. táblázat. „B” próbadarab vizsgálatának mért értékei

Valódi maximális terhelés	$F_{\max} = 5503,1 \text{ N}$
Valódi minimális terhelés	$F_{\min} = 307,5 \text{ N}$
Valódi feszültségarány	$R = 0,056$
Valódi maximális nyírófeszültség	$\tau = 17,6 \text{ MPa}$
Eltelt ciklusok	$n = 34885$

4.3. „C” próbadarab vizsgálata

A próbadarab vizsgálata a kezdeti beállítás után végigfutott, a ragasztott kötés 17749 ciklus után fáradt el. A vizsgálat időbeli lefolyását a 9. ábra, mért értékeit a 4. táblázat tartalmazza. A diagramon látható, hogy a 2. szakaszban több állításra is szükség volt, hogy elérje a megfelelő terheléseket.



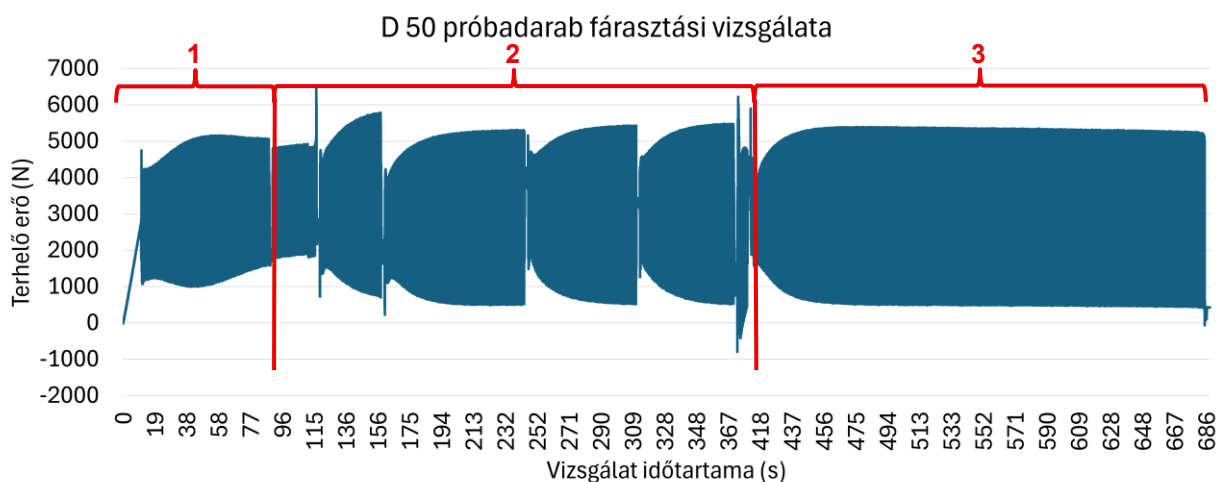
9. ábra. „C” próbadarab vizsgálatának diagramja

4. táblázat. „C” próbadarab vizsgálatának mért értékei

Valódi maximális terhelés	$F_{\max} = 5399,2 \text{ N}$
Valódi minimális terhelés	$F_{\min} = 116,4 \text{ N}$
Valódi feszültségarány	$R = 0,022$
Valódi maximális nyírófeszültség	$\tau = 17,3 \text{ MPa}$
Eltelt ciklusok	$n = 17749$

4.4. „D” próbadarab vizsgálata

A próbadarab vizsgálata a kezdeti beállítás után végigfutott, a ragasztott kötés 7245 ciklus után fáradt el. A vizsgálat időbeli lefolyását a 10. ábra, mért értékeit a 5. táblázat tartalmazza. A diagramon látható, hogy több állításra volt szükség a megfelelő terhelés eléréséhez.



10. ábra. „D” próbadarab vizsgálatának diagramja

5. táblázat. „D” próbadarab vizsgálatának mért értékei

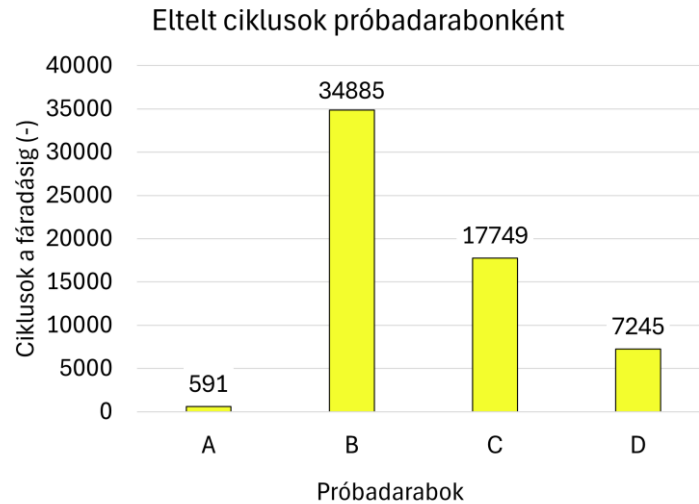
Valódi maximális terhelés	$F_{\max} = 5387,4 \text{ N}$
Valódi minimális terhelés	$F_{\min} = 483,2 \text{ N}$
Valódi feszültségarány	$R = 0,09$
Valódi maximális nyírófeszültség	$\tau = 17,2 \text{ MPa}$
Eltelt ciklusok	$n = 7245$

A vizsgálatok során az „A 50” próbadarab mérési eredményeit fenntartással kell kezelni, mivel a túlélt ciklusok száma nem haladja meg a szabvány által előírt minimumot.

5. Eredmények kiértékelése

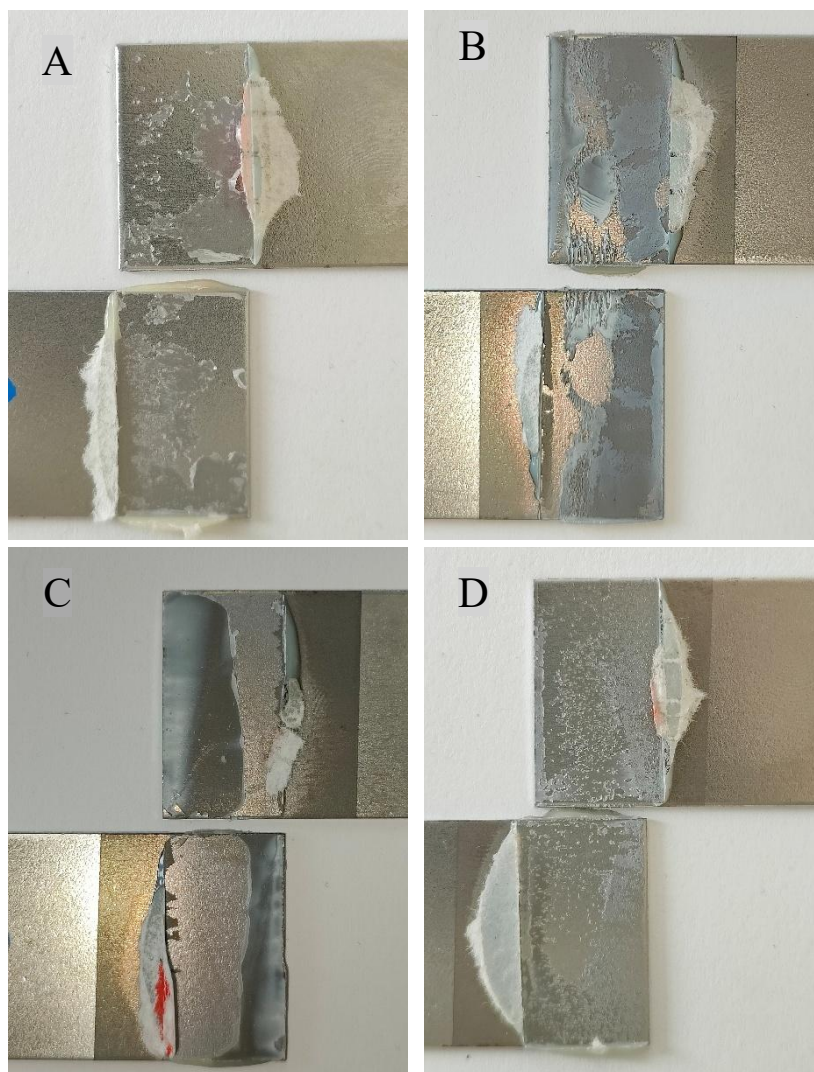
Az eredmények összefoglalása előtt fontos figyelembe venni, hogy a vizsgálatokat csak egy próbadarabon végeztük el, így a mintanagyság kicsi, az eredmények fenntartással kezelendők.

A próbadarabok élettartamát egy diagramon ábrázolva jól látható, hogy a legnagyobb átlagteljesítményű lézersugárral kezelt ragasztás rendelkezett a legjobb fárasztási tulajdonságokkal. A lézersugár átlagteljesítmény csökkenésével a ragasztás élettartama romlott, míg a zsírtalanított felületen érte el a legrosszabb eredményt (11. ábra).



11. ábra. A fárasztási ciklusok összehasonlítása

A ragasztott felületek szemrevételezésével megállapítható, hogy azok milyen tönkremeneteli módon fáradtak el. A zsírtalanított felület nagyrészt adhéziósan ment tönkre, míg az 51 W átlagteljesítményű lézersugárral felületkezelt ragasztás túlnyomóan kohéziósan ment tönkre (12. ábra). Megállapítható, hogy a lézersugár átlagteljesítményének csökkentésével a felületi tönkremenetel túlnyomóan kohéziósból átvált adhéziósra. Mivel a ragasztó adagolásánál azonosan jártunk el minden próbadarab elkészítése közben, így a ragasztó oldalsó kifolyása minden próbadarab esetén hasonló, jelentős különbség nincs közöttük, ezáltal a vizsgálati eredmények szórására nincsenek kihatással.



12. ábra. A ragasztott kötések tönkrement felületei

A vizsgálatokból eredményeként megállapítható, hogy a lézersugaras felületkezelés pozitív hatással van a ragasztott kötések fárasztási tulajdonságaira. A legjobb tulajdonságokat az 51 W átlagteljesítményű lézersugaras felületkezelés érte el, míg a legrosszabbat a zsírtalanított próbadarab. Szintén megállapítható, hogy a lézersugár átlagteljesítményének csökkenésével a fárasztási tulajdonságok romlanak.

Köszönetnyilvánítás

Jelen „DP600 ragasztott kötések fárasztási vizsgálata” című kutatás a 2025-2.1.1-EKÖP-2025-00021 projekt keretében jött létre. A 2025-2.1.1-EKÖP-2025-00021 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2025-2.1.1-EKÖP pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] J. Melrose, „High Performance Marine and Terrestrial Bioadhesives and the Biomedical Applications They Have Inspired”, 2022. december 1., *MDPI*. doi: 10.3390/molecules27248982.
- [2] P. A. Fay, „A history of adhesive bonding”, in *Adhesive Bonding: Science, Technology and Applications*, Elsevier, 2021, o. 3–40. doi: 10.1016/B978-0-12-819954-1.00017-4.
- [3] W. R. Broughton és G. D. Dean, „Fatigue and creep testing of adhesives and thermoplastic joined systems”, Teddington, UK, jún. 2023. doi: 10.47120/npl.mgpg104.
- [4] ISO, „ISO 4587”, 2003.
- [5] I. Bello, Y. Alowayed, J. Albinmoussa, G. Lubineau, és N. Merah, „Fatigue crack growth in laser-treated adhesively bonded composite joints: An experimental examination”, *Int. J. Adhes. Adhes.*, köt. 105, o. 102784, márc. 2021, doi: 10.1016/J.IJADHADH.2020.102784.
- [6] A. Özdemir, İ. Kocabaş, és P. Svanda, „Improving the strength of adhesively bonded joints through the introduction of various surface treatments”, *J. Adhes. Sci. Technol.*, köt. 30, sz. 23, o. 2573–2595, dec. 2016, doi: 10.1080/01694243.2016.1188872.
- [7] S. de Barros, P. P. Kenedi, S. M. Ferreira, S. Budhe, A. J. Bernardino, és L. F. G. Souza, „Influence of mechanical surface treatment on fatigue life of bonded joints”, *Journal of Adhesion*, köt. 93, sz. 8, o. 599–612, júl. 2017, doi: 10.1080/00218464.2015.1122531.
- [8] Coherent Corp., „Monaco 1035 Industrial Femtosecond Laser”, 2023, Elérés: 2026. április 19. [Online]. Elérhető: <https://www.coherent.com/content/dam/coherent/site/en/resources/datasheet/lasers/monaco-1035-ds.pdf>
- [9] F. Moroni, M. Alfano, és L. Romoli, „Fatigue analysis of adhesive joints with laser treated substrates”, *Procedia Structural Integrity*, köt. 2, o. 120–127, jan. 2016, doi: 10.1016/J.PROSTR.2016.06.016.
- [10] İ. Saraç, H. Adin, és Ş. Temiz, „Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles”, *Compos. B Eng.*, köt. 155, o. 92–103, dec. 2018, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2018.08.006.
- [11] ASTM, „Standard Test Method for Fatigue Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal/Metal) 1”, 1999. [Online]. Elérhető: www.astm.org
- [12] K. Loctite és ® Hysol, „LOCTITE ® EA 9466™”, aug. 2019. [Online]. Elérhető: www.henkel.com/industrial