

TUDOMÁNY, MODERN VILÁG
ÉS FUNDAMENTUMOK

ACTA PERIODICA



EDUTUS
EGYETEM

XIX. KÖTET

Edutus Egyetem
2800 Tatabánya, Stúdium tér 1.

Főszerkesztő:
Némethné Dr. Gál Andrea

Felelős szerkesztő:
Forrai Márta

Szerkesztette:
Vigh László PhD

MINDEN JOG FENNTARTVA

A mű egészének, vagy bármely részének másolása, sokszorosítása,
valamint információszolgáltató rendszerben történő tárolása
és továbbítása csak a kiadó engedélyével megengedett

Lektorált

ACTA PERIODICA 19. KÖTET

EDUTUS EGYETEM KIADÁSA

www.edutus.hu

ISSN 2063-501X

2020. február

Tartalomjegyzék

NYOMTATOTT POLIMEREK ANYAGJELLEMZŐI: STATIKUS HATÁRÁLLAPOTTÓL A KIFÁRADÁSI JELLEMZŐKIG BORBÁS LAJOS PhD – FICZERE PÉTER PhD	4
E-MOBILTÁS: MÁSKÉNT SZOLÁR MOBILITÁSI BESZÁMOLÓ A NAPCSIGA KÉT ESZTENDEJÉRŐL DÓRY ISTVÁN PhD	20
BUENOS AIRES, A TANGÓ VÁROSA - IDEGENVEZETŐI SZEMMEL DR. KESZTHELYI CSABA	41
FUVAROZÓI KIVÁLASZTÁS RENDSZERLOGISZTIKAI MODELLJE LÁNYI MÁRTON	49
OKTATÁS MÓDSZERTANI KIHÍVÁSOK ÉS KORSZERŰ HAZAI, KÜLFÖLDI MEGOLDÁSOK A FELSŐOKTATÁSBAN – EGY HAZAI REGIONÁLIS INTÉZMÉNY PÉLDÁJA DR. PEREDY ZOLTÁN	59
AZ ACÉL-POLIMER KÖTÉS AZ ALAGÚT VÉGÉN EREDMÉNYEK A FÉM-POLIMER HIBRID SZERKEZETEK LÉZERSUGARAS KÖTÉSTECHNOLÓGIÁJÁNAK KUTATÁSÁBAN TEMESI TAMÁS – MOLNÁR LÁSZLÓ – CSISZÉR TAMÁS PhD	86
NAPKOLLEKTOROS RENDSZEREK ENERGIAHOZAMÁT BEFOLYÁSOLÓ PARAMÉTEREK VIZSGÁLATA VARGA ZOLTÁN	99

NYOMTATOTT POLIMEREK ANYAGJELLEMZŐI: STATIKUS HATÁRÁLLAPOTTÓL A KIFÁRADÁSI JELLEMZŐKIG

BORBÁS LAJOS PhD, Professor Emeritus

EDUTUS Egyetem

borbas.lajos@edutus.hu

FICZERE PÉTER PhD, egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

ficzere@kge.bme.hu

Absztrakt

Az additív gyártástechnológiák igen kis vastagsági méretű (jellemzően 10 mikrométer nagyságrend) rétegek intenzív hő bevezetést alkalmazó megolvasztásával majd annak nagyon rövid idő alatti lehűlésével (század másodperc nagyságrend) alakítják ki a kívánt struktúrát. Az eljárás tipikus környezete a maradó feszültségek kialakulásának. A nyomtatási iránytól függő anyagtulajdonságok ismerete elengedhetetlen nyomtatott szerkezetek megbízható tervezéséhez.

Kulcsszavak: maradó feszültségek, anyagtulajdonságok, additív gyártástechnológia

Abstract

The desired structure is realized by additive manufacturing technology with very thin (typically of 10 micrometer magnitude) layers Today, in the recent period of the industrial revolution (I 4.0) production of new materials is everyday practice. To be able to use these materials in structure construction we have to know their properties. The current paper provides insight into this process.

Keywords: residual stresses, material properties, additive manufacturing technology

1. Bevezetés

1.1. Maradó feszültségek megjelenítése

A mérnöki gyakorlat maradó feszültségek alatt érti azokat a mechanikai feszültségeket, amelyek egy adott munkadarabban úgy vannak jelen és olyan módon mutatnak egyensúlyi állapotot, hogy az adott testre semmilyen külső erő,- nyomaték nem hat.

A kristályos testekben a feszültség tulajdonképpen azt jelenti, hogy a kristályrácsot felépítő atomok nem az "eredeti", legkisebb energiájú helyükön vannak, hanem onnan kimozdulva, az egyes atomok nagyobb potenciális energiával rendelkeznek. Ezt a kimozdítást, ezt a nagyobb energiát az egyes atomok, ill. az atomok összessége, a szilárd test attól az erőttől kapta, amely a feszültség létrejöttében közrejátszott. Ha külső erő is hat a testre, pl. egy külső húzóerő, akkor az általa keletkezett feszültségek a testben nincsenek egyensúlyban. Az egyensúly csak a külső erővel együtt áll fenn. Annak megszűnése után a feszültségállapot a testben megszűnik, vagy mindenesetre megváltozik. Rugalmas feszültségek hatására megváltoznak az atomok közötti távolságok.

A sokkristályos fémekben fellépő rugalmas feszültségeket a klasszikus osztályozás szerint - annak a távolságnak nagyságrendje szerint, amelyen belül kiegyenlítődnek - három fokozatba oszthatók [3] az alábbiak szerint:

I. rendű

maradó feszültségről akkor beszélünk, ha a test méretével összemérhető távolságon belül egyenlítődnek ki a húzó és nyomó feszültségek. Tehát a húzott, ill. nyomott állapotban lévő anyagrészek az anyag több, sokszor nagyon sok kristályára, [mm], vagy még nagyobb nagyságrendű távolságra terjednek ki. Ezeket a feszültségeket makroszkópos feszültségeknek is nevezzük. Kialakulásuk rendszerint a tárgy, szerkezet kialakításakor alkalmazott magas hőmérsékletű (cseppfolyós halmazállapot) alakadás folyamatában létrejövő szilárdulásra vezethető vissza, amikor is a különböző szemcseszerkezetek különböző időpontokban érik el a plasztikus majd rugalmas alakváltozási képességüket. A jelenség magas hőmérsékletű gyártással kialakított anyagok esetén (öntés, additív gyártástechnológia, hegesztés) egyaránt megfigyelhető.

II. rendű

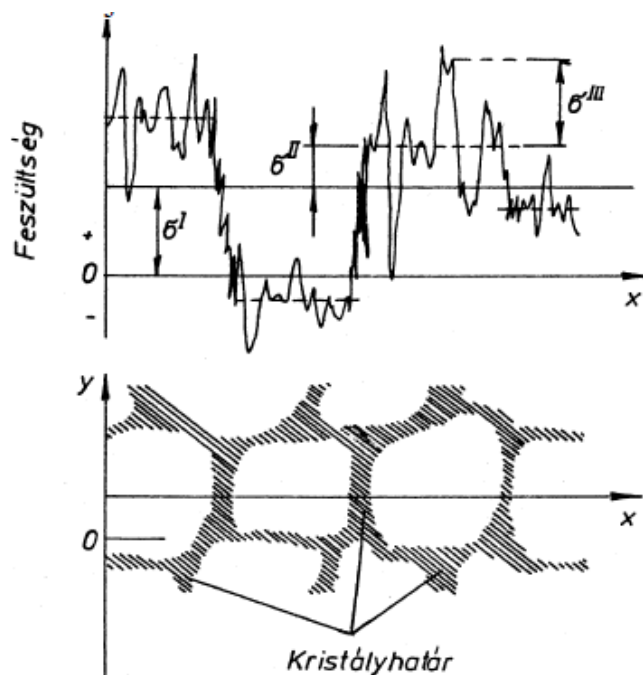
maradó feszültségről akkor van szó, mikor a húzó és nyomó feszültségek egyik kristályról a másikra átmenve megváltoznak. Ezek mikroszkópos feszültségek.

III. rendű

maradó feszültséget a kristályrács valamilyen rendellenessége okoz. Ezek leépülése, kiegyenlítődése a kristályon belül, rácselem-méret nagyságrendű távolságon megtörténik. Ezek *szubmikroszkópos* feszültségek.

A mérnöki gyakorlatban az un. I. rendű feszültségeket, az un. makroszkópikusokat tekintjük maradó feszültségeknek. Ezen feszültségek a test nagy felszíneire kiterjednek. Keletkezésükért elsődlegesen a gyártásuk során a viszkoelasztikus állapotból történő egyenlőtlen intenzív hűlés, vagy a gyártás során kialakuló maradó deformáció, illetve a helyi (lokális) térfogatváltozás a felelős. Az additív gyártástechnológiák – beszéljünk akár polimer, akár fém bázisú termékek előállításáról – tipikusan a koncentrált, rendkívül kis idejű intenzív hő bevezetés révén – a maradó feszültségek kialakulásának lehetőségét magukban foglaló technológiák. Meghatározásukra roncsolásos, valamint roncsolás-mentes eljárások léteznek, melyek részletes bemutatása jelen dolgozatnak nem feladata. A roncsolásmentes eljárások körében találjuk – többek között - az optikai feszültségvizsgálat módszerét is, abban az esetben, ha a vizsgált elem rendelkezik olyan alkalmas tulajdonságokkal, mint pl. optikai átlátszóság, megfelelő feszültségoptikai aktivitás [3], [10], [11], [12], [13].

Az egyes feszültségtípusokat jól szemlélteti vázlatosan az 1.1. ábra [2].



1.1 ábra

Maradó feszültségek típusainak sematikus ábrázolása [1]

1.2. A maradó feszültségek hatásai

Az additív gyártástechnológiákban rejlő lehetőségek eredményeként ugyanazon termék realizálása különböző irányú nyomtatásokkal is megvalósíthat.

Az azonos struktúrák eltérő irányultságú létrehozása eredményeként megvalósított szerkezet a különböző nyomtatási irányokban különböző anyagjellemzőkkel rendelkezik, amelyek meghatározása a megbízható numerikus számítások elvégzésére elengedhetetlen [14], [15].

Az anyagok terhelés hatására adott válaszát, viselkedését anyagtörvényeknek nevezzük. A feszültségi és az alakváltozási állapot közötti kapcsolatot a Hooke-törvény segítségével adhatjuk meg. Általános esetben tehát [4] (1):

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ahol $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ a nyúlások az 1,2,3 irányokban,

γ_{ij} ($i \neq j$) reprezentálja az elcsavarodást a főirányokat meghatározó tengelyek körül (szögtorzulás az i - j síkban) ($i, j = 1, 2, 3$) ($i \neq j$)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ a feszültségek az 1, 2, 3 irányokban,

τ_{ij} ($i \neq j$) a csúsztatófeszültségek ($i, j = 1, 2, 3$),

C_{ij} pedig a merevségi mátrix.

Abban az esetben amennyiben megadható 2, vagy 3 irány (akár a Descartes-féle derékszögű koordináta-rendszerben (kompozitok), akár henger koordináta-rendszerben (pl. élő fa)), amelyekben az anyagtulajdonságok megegyeznek, akkor ortotrop anyagról beszélünk. Az ortotrop anyagmodell tehát egy speciális fajtája az anizotrópiának, ahol egyértelműen meghatározható két vagy három fő iránnyal jellemezhetők az anyagjellemzők. Ilyen esetben alkalmazandó az ortotrop anyagokra érvényes Hooke-törvény [4], (2):

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

S_{ij} pedig a kiegészítő, vagy komplementer mátrix,

Az ortotróp anyagtulajdonságok meghatározására – a részletes kifejtés mellőzésével - 9 db független jellemző ismerete szükséges.

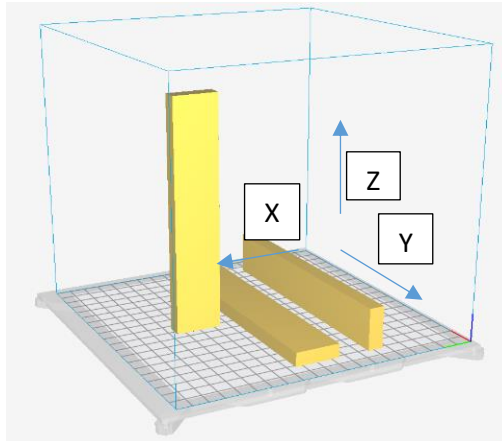
A tervezési folyamat – numerikus szimuláció – nem nélkülözheti a szerkezetépítésben használt anyagok jellemzőinek ismeretét, az egyes terhelési állapotokhoz tartozó határállapotok meghatározását. Az élettartamra történő méretezés a kifáradási határállapot jellemzők ismeretében lehetséges, amelyekhez kísérletek, mérések sorozatán vezet az út a statikus jellemzők, valamint a dinamikus terhelések hatására bekövetkező viselkedések feltárásával.

2. Nyomtatott polimerek anyagjellemzői

Az anyagjellemzőket mérésekből határozzuk meg, a határállapot jellemzőinek meghatározásával. A terhelések hatására adott elmozdulás válaszfüggvények ismerete alapján tudunk az anyag viselkedéséről képet alkotni. Természetesen más-más határállapot jellemzők vonatkoznak a statikus (kvázi-staikus) terhelései körülmények közötti viselkedésre, mások a dinamikus terhelésekre adott válaszoknál, és ismét mások az ismétlődő terhelések (kifáradási határ kérdésköre) eseteire.

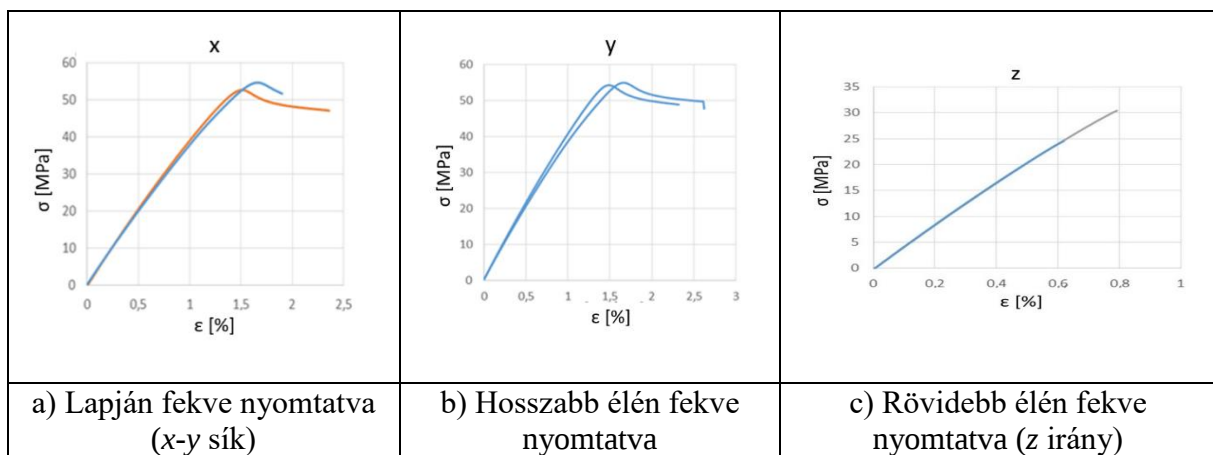
2.1. Anyagtulajdonságok statikus terheléseknél

A szerkezetépítésre alkalmas polimer gyártási technológiák közül a „*Fused Deposition Modeling*” (FDM) eljárást vizsgáltuk, *Polylactic Acid*” (PLA) anyag nyomtatásával. Miután vizsgálódásunk célja az anyagjellemzők meghatározása, a vizsgálatokat a szabványos, lapos próbatesteken végeztük el. A nyomtatási irányfüggés meghatározása érdekében a próbatesteket a lehetséges három irányban kinyomtattuk [5], és szakítóvizsgálatnak vetettük alá. Ezen szakítóvizsgálatok eredményei alapján készítettük el a három irányban nyomtatott dinamikai vizsgálathoz a próbatesteket is, amit a 2.1. ábrán mutatunk be [6].



2.1 ábra
Dinamikai vizsgálathoz nyomtatott PLA próbatestek [6]

A szakítóvizsgálatok során kapott diagramokat (feszültség – fajlagos nyúlás) a 2.2 ábrán adjuk közre.



2.2 ábra
PLA Próbatestek anyagjellemzők meghatározására, különböző irányú nyomtatással [5]

A nyomtatási iránytól függően meghatározott anyagtulajdonságokat a 2.I. táblázatban mutatjuk be.

	Szakító szilárdság R_m [MPa]	Young modulus E [MPa]
Fekve nyomtatva (x-y)	54.619±0.33	3019.817±67.909
Állva nyomtatva (z)	27.464±2.928	2891.227±6.695

2.I. táblázat
Nyomtatási iránytól függő anyagtulajdonságok [5]

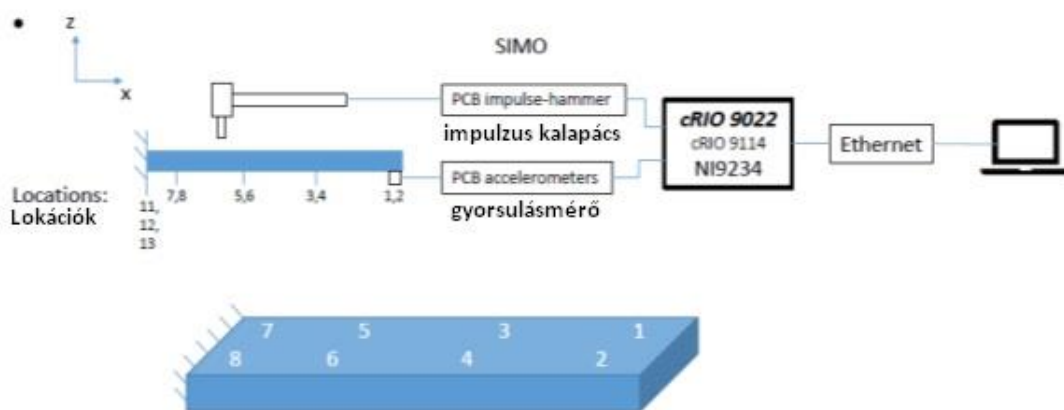
A 2.I. táblázat áttekintésekor láthatjuk, hogy a rövidebb élén álló, állva nyomtatott próbatest szakítószilárdsága az x-y síkban fekvő helyzetűnek a mintegy 50%-t éri csak el, ami igen erős nyomtatási irány függőséget mutat.

Az anyagtulajdonságok nyomtatási irányfüggésének részletes kísérleti meghatározásából megállapítható (ennek részleteinek bemutatásától jelen dolgozatban eltekintünk, az megtalálható a [4], valamint [7] irodalmakban), miszerint a 3D nyomtatott (*FDM technológia*) polimer (*PLA*) anyag viselkedése *ortotróp* anyagtörvény alkalmazásával írható le [5].

2.2. Anyagtulajdonságok dinamikus terhelések esetén

A dinamikus terhelésekre adott válaszfüggvények meghatározása különösen fontos azon szerkezeti anyagok esetén, amelyek változó terhelési körülmények között üzemelnek. A gerjesztések hatására kialakuló esetleges rezonanciák járulékos, nem tervezett igénybevételeket okozhatnak a szerkezetben, amelyek annak idő előtti meghibásodásához vezethetnek. Mindezek alapján belátható, hogy amennyiben egy anyagot a szerkezetépítésben alkalmazni kívánunk, annak csillapítási tulajdonságainak megismerése elengedhetetlen a tervező mérnökök számára.

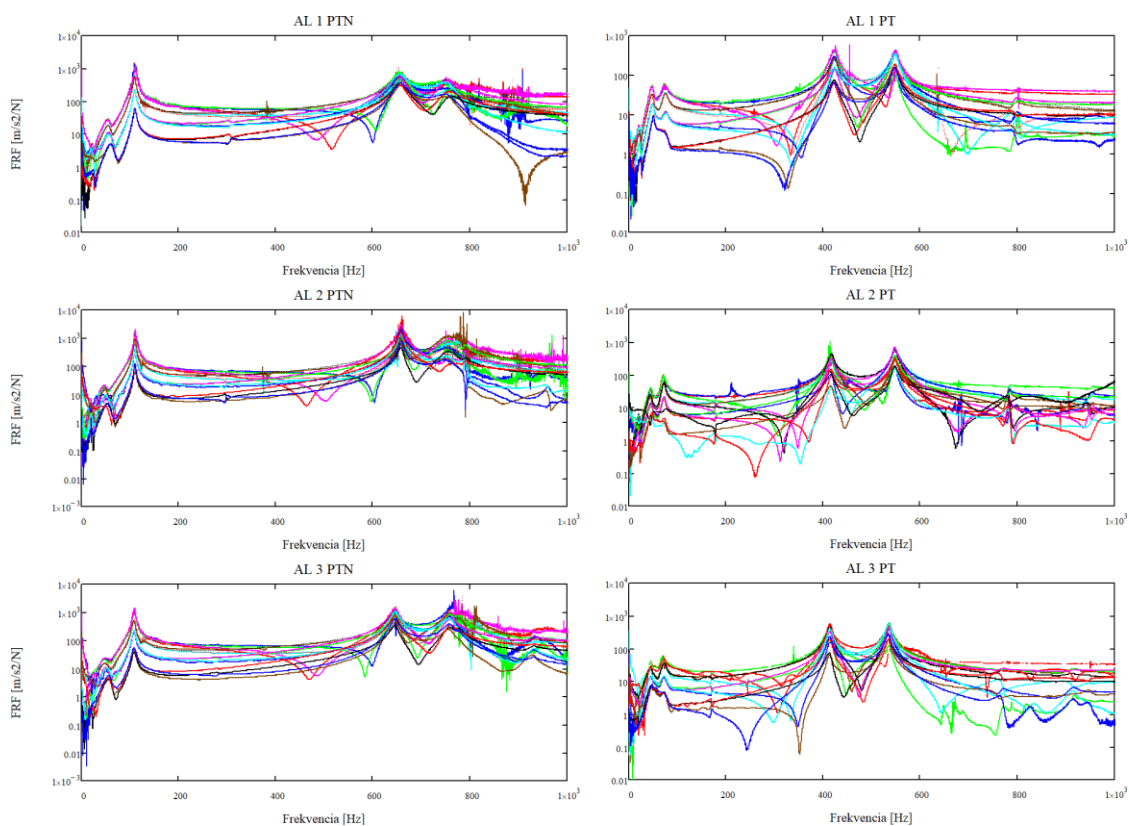
A csillapítási jellemzők vizsgálatát befogott tartón végeztük, amelyen mérőpontokat jelöltünk ki gyorsulásmérésekre, a gerjesztést impulzus kalapáccsal végeztük [17]. A mérés-összeállítás modellje a 2.3 ábrán látható.



2.3 ábra

Csillapítási jellemzők vizsgálatának impulzus kalapács használatán alapuló modellje befogott tartón [6]

A vizsgálatokat a 2.3. ábrán bemutatott elrendezésben nyomtatott próbatesteken végeztük. A méréseink alkalmából rögzítettük a szerkezet (befogott tartó) gerjesztésekre adott válaszfüggvényeit, amelyekből az $x - y$ síkban (fekve) nyomtatott próbatesteken végzett vizsgálatok eredményeit a 2.4 ábrán adjuk közre [6].



2.4 ábra

$x - y$ síkban (fekve) nyomtatott próbatest gerjesztési válaszfüggvénye [6]

A méréseink alapján meghatároztuk a vizsgált tartó frekvencia válaszfüggvényét (*Frequency Response Function's: FRF*), amelyet az (3) összefüggésben mutatunk be:

$$H(j\omega) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{P_i}{j\omega - \lambda_i} + \frac{\overline{P_i}}{j\omega - \overline{\lambda_i}} \right] \quad (3)$$

$$\lambda_i = -\sigma_i + j\omega_{d,i}$$

ahol:

P_i a modus residiuma i [$m/sec/N$],

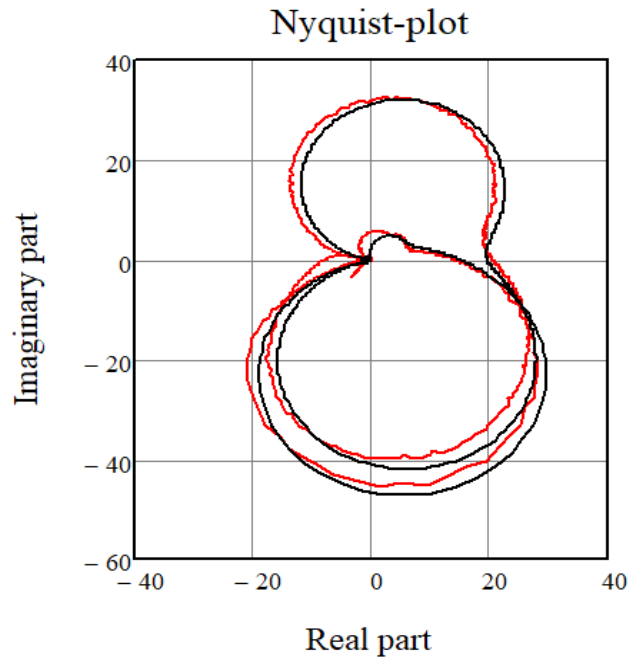
λ_i a modus komplex sajátértéke i [rad/s],

σ_i a modus modális csillapítása i ,

$\omega_{d,i}$ a modus csillapított sajátfrekvenciája i , valamint

j az imaginárius rész.

A mérési eredmények alapján felrajzoltuk a *Nyquist* diagramokat, amelyekből a hosszabbik élen nyomtatottat a 2.5. ábrán mutatjuk be [6].



2.5 ábra

Hosszabbik élen nyomtatott próbatest Nyquist diagramja [6]

A mérési eredmények értékelésekor láthatjuk, hogy a rendszer négy saját frekvenciával rendelkezik. A részletes vizsgálatok azt mutatták, hogy ezek az értékek a terhelési módnak

(hajlító, illetve csavaró: annak függvényében, hogy a vizsgált pont és a gerjesztés egy tengelyben (hajlító), vagy egymás melletti tengelyen (csavaró) helyezkedik-e el (lásd 2.3 ábra mérőpontok ill. gerjesztési lehetőségek elhelyezkedése)).

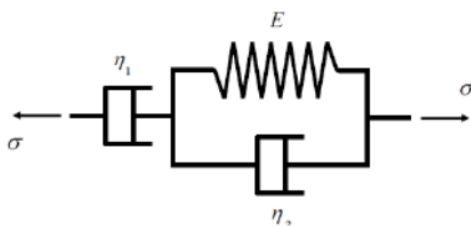
A számszerűsített adatokat a 2.II. táblázatban adjuk közre.

Modus i	1	2	3	4
f_i [Hz]	116.87	304.58	692.03	762.96
ξ_i [%]	2.61	9.14	1.49	0.93
Terhelés jellege	Hajlítás	Csavarás	Csavarás	Húzás

2.II. táblázat
Befogott tartó dinamikus vizsgálatának sajátfrekvencia adatai [6]

A dinamikus terhelések eredményeiből az alábbi következtetések vonhatók le PLA nyomtatott (FDM technológia) polimer anyag viselkedésére:

- Az FDM technológiával nyomtatott PLA polimer viszkoelasztikus viselkedést mutat
- A viselkedése a "Jeffrey-test" elemeinek ismeretében, (amely egy Kelvin-Voight és egy Newton test összekapcsolásával állítható elő), írható le, amely az ún. *Fluid II. Modell*.
- Ezzel a modellel az arányos csillapítási viselkedés (*Rayleigh-shape*), leírható, melynek elvi összeállítását a 2.6. ábrán adjuk közre [6]



2.6 ábra
A 3D nyomtatott PLA csillapítási tulajdonságait (FDM eljárással) leíró viszkoelasztikus modell [6]

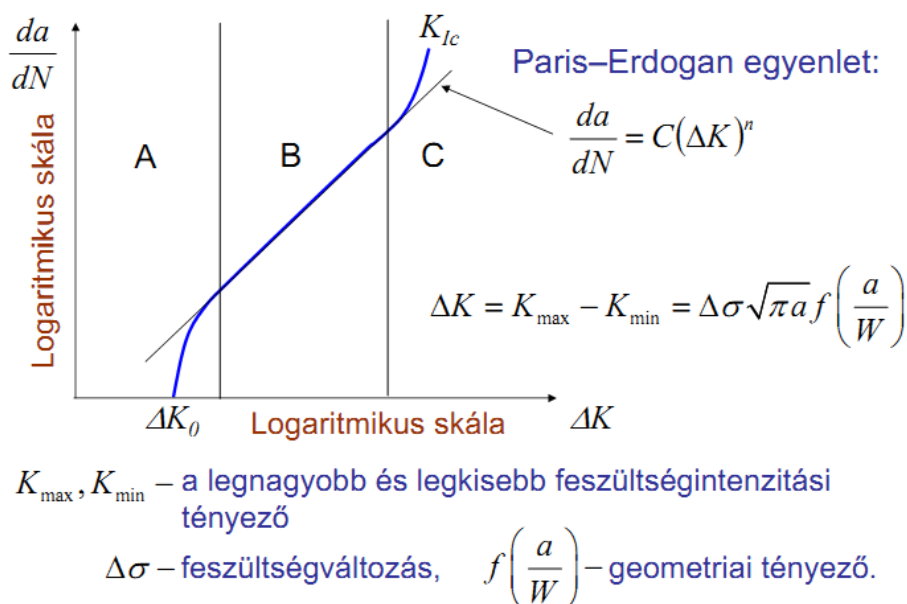
Fentiekben bemutatottak alapján megállapítható, hogy a statikus terhelési körülmények között megállapított nyomtatási iránytól függő anyagi jellemzők a 3D nyomtatással (FDM eljárás) készült próbatestek esetén dinamikus terhelésekre is irányfüggő jellemzőket mutatnak, amely csillapítási jellemzők viszkoelasztikus anyagmodell alkalmazásával írhatók le.

2.3. Viselkedés ismétlődő terhelések hatására: kifáradási tulajdonságok

Polimerek esetén a kifáradási jellemzők meghatározása – különös tekintettel a viszkoelasztikus viselkedésükre, a terhelésre adott válaszfüggvényként megjelenő kúszási – relaxációs tulajdonságaikra igen összetett, ennek megfelelően különös körültekintést igénylő feladat.

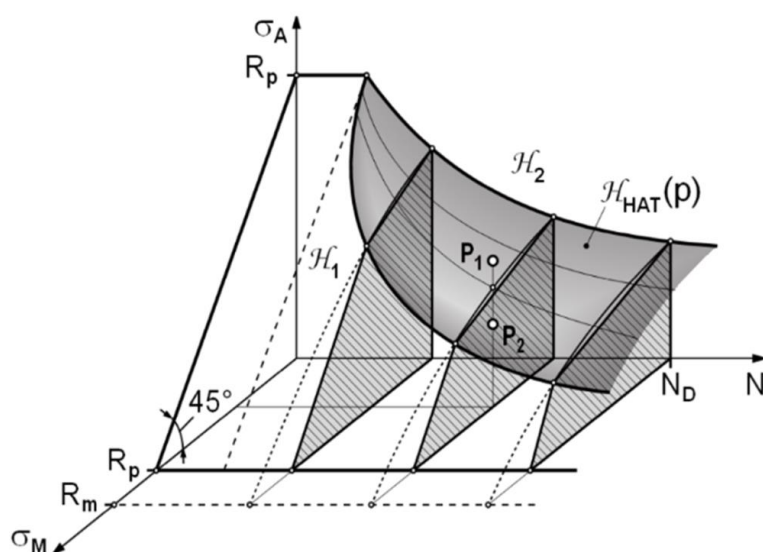
Különösen igaz a fenti megállapítás az additív gyártástechnológiával készített anyagokra. Miután ez a gyártási technológia gyakorlati bevezetése a 2000-es évek elejére tehető, a kifáradási jellemzők vizsgálati eredményei az irodalomban még nem állnak általánosan elérhető szinten rendelkezésre. A néhány elérhető publikáció [8] sem tartalmaz konkrét, méretezések alapjául szolgáló adatokat az egyes nyomtatható anyagfajták kifáradási jellemzőire, így azok meghatározása többnyire a felhasználó feladata.

A repedés terjedés folyamata leírható a Paris-Erdogan összefüggéssel [9], amelyet a 2.7. ábrán adunk közre:



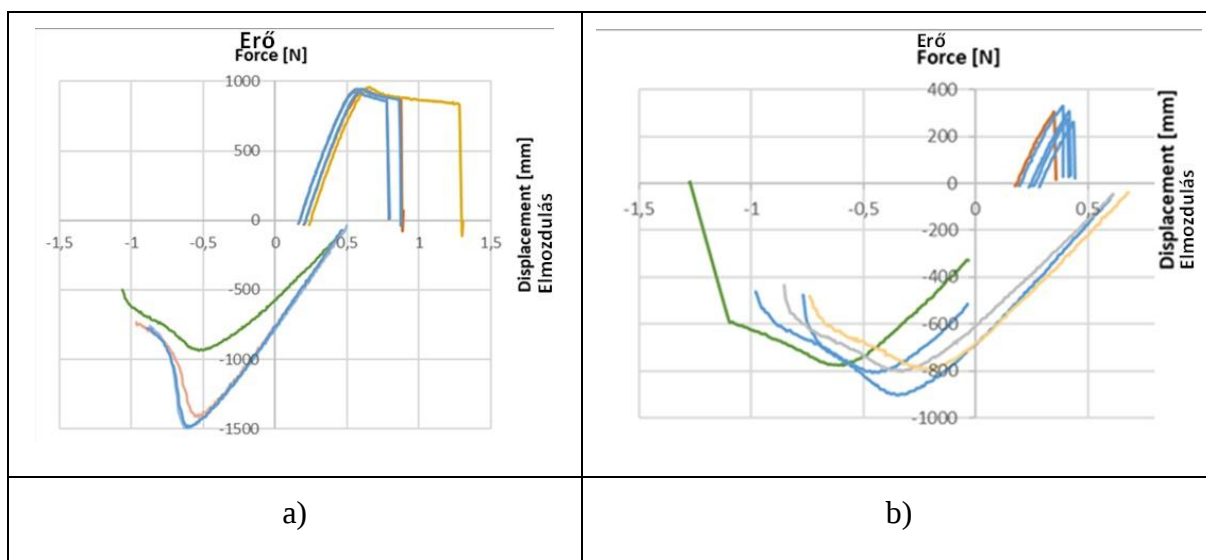
2.7. ábra
Repédésterjedés értelmezése Paris-Erdogan elmélet alapján [9]

A kifáradási határ vizsgálatát jelentősen a folyáshatár alatt terhelési kollektívával kell kezdeni (lásd 2.8. ábra), amelyhez a statikus határállapotok ismerete szükséges.



2.8. ábra
Határállapotok a kifáradási határ meghatározásához

Nulla középterhelésű alternáló (+/-) terheléssel indítjuk a vizsgálatot két különböző: fekvő x, valamint álló, z helyzet (2.1. ábra), irányban nyomtatott próbatesteken. A nulla közép feszültségű vizsgálatok húzó, valamint nyomóoldali eredményeit a 2.9. ábra (2.9. a) fekvő nyomtatott, (2.9.b) függőlegesen nyomtatott ábra mutatja.



2.9. ábra
PLA nyomtatott próbatest kifáradási határ jellemzői nulla középterhelés esetén
a) fekvő nyomtatott
b) függőlegesen nyomtatott

3. Következtetések

Additív gyártástechnológiával készült polimer (PLA) termékek esetén vizsgálatainkból az alábbi következtetéseket vonhatjuk le azok határállapotú jellemzőinek viselkedéséről:

Az anyagjellemzők nyomtatási irányfüggést mutatnak mind a statikus, mind a dinamikus, mind a kífáradási viselkedésük tekintetében:

- A statikus terhelési vizsgálatokból az anyagjellemzők ortotróp anyagtörvénnyel írhatók le.
- Dinamikus terhelések esetén a nyomtatási iránytól függő tulajdonságok viszkoelasztikus jellemzőket mutatnak, a csavarási és a hajlítási válaszfüggvényeik eltérőek.
- A kífáradási jellemzők nulla közép-terhelésen lefolytatott vizsgálatok esetén nyomtatási iránytól függőek, húzó – nyomó terhelések esetén különbözően viselkednek.

Köszönetnyilvánítás

- *A vizsgálatok az alábbi projektek támogatásával valósultak meg:* Lézertechnológiai és energetikai alapkutatás megvalósítása az Edutus Főiskolán, tudástranszfer, továbbá a vállalati kapcsolatok és a társadalmi szerepvállalás erősítését célzó tevékenységekkel kiegészítve. Projekt azonosító: **EFOP-3.6.1-16-2016-000**, valamint
- Egyénre szabott orvos-biológiai implantátumok és segédeszközök új generációs gyártási folyamatának kidolgozása additív technológiákra. Projekt azonosító: **NVKP-16-1-2016-0022**

Felhasznált irodalom

- [1] Nagy Erzsébet: Maradó feszültségek meghatározása. Miskolci Egyetem Anyag,- és Kohómérnöki Kar, Fémtani Tanszék. PHARE HU 9705-0201-0006. Gyakorlati útmutató, 2010.
- [2] Masing: Handbuch Qualitätsmanagement Gebundene Ausgabe – 14. Mai 2007 von Tilo Pfeifer (Herausgeber), Robert Schmitt (Herausgeber), V. átdolgozott kiadás, Carl Hanser Verlag München, 2007.
- [3] Borbás Lajos, Ficzer Péter, Falk György: Additív gyártástechnológiák: lehetőségek és kérdőjelek, ACTA PERIODICA 11. KÖTET EDUTUS FŐISKOLA KIADÁSA, www.edutus.hu, pp.: 30...44, ISSN 2063-501X
- [4] Ficzer Péter, Borbás Lajos :Gyors prototípus anyagok orvosi alkalmazásának lehetőségei, kérdései. CD kiadvány: Korszerű anyagok és gyártástechnológiák a gyógyászatban konferencia. EDUTUS Főiskola, Tatabánya, 2014. 05 30-31. , ISBN E 978-963-88981-2-8 (szerző szerinti keresés)
- [5] Ficzer, Péter, Orthotrop anyagmodell alkalmazása additív gyártástechnológiával előállított alkatrész méretezése során [Usage of orthotropic material law for additive manufacturing in part design], GÉP LXVII : 5-6 pp. 78-81. (2016)
- [6] BÁLINT ÁDÁM KOVÁCS, PETER FICZERE, LAJOS BORBÁS
EXPERIMENTAL DYNAMICAL ANALYSIS OF SPECIMENS' MATERIAL PROPERTIES MANUFACTURED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES
35TH DANUBIA ADRIA SYMPOSIUM ON ADVANCES IN EXPERIMENTAL MECHANICS. Sinai, Romania, 2018. szeptember 25...28. pp.: 49-50
https://www.dropbox.com/s/gnjlwidm95uecg/Proceedings%20DAS35_final.pdf?dl=1
ISBN 978-606-23-0874-2
- [7] Kovács Bálint Ádám: PLA anyagból additív gyártástechnológiával gyártott alkatrész dinamikai tulajdonságainak kísérleti modális vizsgálata. Záróvizsga előadás, Budapesti műszaki és gazdaságtudományi egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Járműelemek és Jármű-szerkezetanalízis Tanszék. 2018.
- [8] Edited by J M Hodgkinson: Mechanical testing of advanced fibre composites
Published by Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington
Cambridge CB1 6AH, England, 2000
First published 2000, Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC
© 2000, Woodhead Publishing Ltd, except chapters 6, 8, 11 and 15, Crown
copyright. The authors have asserted their moral rights.
www.woodhead-publishing.com
- [9] P.C. Paris, M.P. Gomez, and W.E. Anderson. A rational analytic theory of fatigue. The Trend in Engineering, 1961, 13: p. 9-14.
- [10] Borbás Lajos - Ficzer Péter: Kérdőjelek az additív gyártástechnológiákban (maradó feszültségek polimerek nyomtatásakor) . - In: Gép, ISSN 0016-8572 , 2017. (68. évf.), 2. sz., 5-10. p.