

## Matej Bily: Fémek ismétlődő alakváltozása és kifáradása

Az Elsevier kiadó gondozásában, a *Materials Science Monographs* sorozat 78. köteteként 1993. évben jelent meg Matej Bily szerkesztésében a *Cyclic Deformation and Fatigue of Metals* címmel összeállított 372 oldal terjedelmű könyv, amelyben a kifáradásra vonatkozó legújabb ismeretek kerültek összefoglalásra. A sorozat ezen legújabb kötete gyakorlatilag három tudományos iskola eredményeit ötvözi, nevezetesen az Institute of Physical Metallurgy of the Czechoslovak Academy of Sciences (Brno), Institute of Materials and Machine Mechanics of the Slovak Academy of Sciences (Bratislava) és az Institute for Problems of Strength of the Academy of Sciences of Ukraine (Kiev). Mindhárom intézet kutatási spektruma igen széles, eredményeik nemzetközi téren is igen figyelemre méltóak; mégis, ha röviden szeretnénk megfogalmazni tevékenységük fő irányait, akkor azt mondhatjuk, hogy az első intézmény alapvetően a kifáradás fizikai folyamatainak megismerésére, a második a rendszertelen terhelés feldolgozására, annak a kifáradási folyamatban játszott szerepének feltárására, míg a harmadik intézet a mechanikai vizsgálatokra, azok gyakorlati alkalmazására fekteti a fő hangsúlyt. ez a kissé sommás megállapítás igen jól tükröződik az öt fejezetre tagozódó könyv felépítésében is.

Az első, 77 oldal terjedelmű, a néhai M. Klesnil professzor, P. Lukas és J. Polák által összeállított fejezet a kifáradási folyamat fizikai aspektusait foglalja relatíve tömören össze. E szintetizáló részben a hangsúly a képlékeny alakváltozás diszlokációs folyamatainak azok rács szerkezeti sajátosságainak bemutatására került, rámutatva ezek szerepére a repedés kialakulását megelőző periódusban. A törés bekövetkezéséhez vezető út két, egymástól nehezen elválasztható legfontosabb periódus, a repedés keletkezése és terjedése külön-külön részben kerül ismertetésre, kiemelve egyrészt az anyagszerkezeti sajátosságok (egyfázisú- és többfázisú anyag, felületkezelés), másrészt a környezeti hatások (hőmérséklet, korróziós közeg) szerepét.

A 74 oldal terjedelmű második fejezet szerzői is a Klesnil professzor vezette iskola képviselői, akik a ciklikus fáradásra vonatkozó jelenlegi ismereteinket foglalják össze e részben. Ennek keretében a ciklikus alakváltozás-feszültség kapcsolata, valamint az ezzel együttjáró keményedési vagy lágyulási folyamat mechanizmusai, azok sajátosságai kerülnek ismertetésre. Az egyetlen terhelési ciklusban az anyagban elnyelt munkát reprezentáló hiszterézis hurok információtartalma, annak statisztikus jellege külön kerül bemutatásra. A szerzők kitérnek a változó terhelésamplitúdó szerepére, a vizsgálati hőmérséklet és a bemetszések okozta hatások figyelembevételének módszereire.

A harmadik, 72 oldal terjedelmű fejezet a V.T. Trshhenko professzor vezette kievi iskola képviselőinek, L. A. Khamaza, V. V. Pokrovskii munkája. E rész alapvetően a nagyciklusú fáradás problémakörével, annak ún. mérműki megközelítésével foglalkozik. Ennek keretében a ciklikus nem rugalmas alakváltozás sajátosságai, mechanizmusai, az így létrehozott károsodások mérműki leírásai módjai, az ezt befolyásoló külső paraméterek (hőmérséklet, terheléskép, feszültségi gradiens stb.) kerülnek tárgyalásra. A fáradásos törés bekövetkezéséhez tartozó alakváltozási és energetikai kritériumok létezése lehetővé teszi a kifáradási határ gyorsított meghatározását. Ezt több anyagon is meggyőzően igazolják a bemutatott kísérleti eredmények.

A 33 oldal terjedelmű negyedik fejezetet szintén a kievi intézet munkatársai állították össze. E részben azon eredmények töredéke lett összefoglalva, amelyet a fáradásos repedés terjedési körülményeinek megismerése, illetve ennek gyakorlati alkalmazása terén az utóbbi időben elérték. A fő hangsúly a környező közegnek a kifáradásra és a repedés terjedési körülményeire gyakorolt hatásának megismerésére lett fordítva. Ennek keretében a sóoldat, a levegő és a védőanyag szerepének kísérleti vizsgálatára került sor. Az eredmények gyakorlati alkalmazása a gázturbinalapátok élettartambecslési módszereinek kidolgozásában realizálódott.

Az ötödik, leghosszabb 103 oldal terjedelmű fejezetet a bratislavi intézet munkatársai M. Bily, J. Cacko és V. Klíman állította össze. E rész tulajdonképpen az üzemi terhelés során végbemenő, valamint a próbatesten végzett vizsgálat során lejátszódó kifáradás kapcsolatának kérdéseit taglalja. A kifáradás elkerülésére végzett mindenfajta tevékenység kiinduló, fundamentális pontja az, hogy az anyagvizsgálati eredmények hogyan adaptálhatók a konkrét szerkezetre. A szerzők ezen módszerekről, ezek problémáiról adnak áttekintést elemezve az üzemi terhelési spektrumok karakterisztikus paramétereit, a szimulációs vizsgálatok lehetőségeit, módszereit. Ezen ismeretek birtokában a random terhelés során lejátszódó energiaelnyelődés folyamatából következtetnek a kifáradási károsodás mértékére.

Összefoglalva az mondható, hogy az ismertetett mű igen jó összefoglalója a kifáradási folyamatra vonatkozó mai ismereteinknek, beleértve a fizikai folyamatokat és a vizsgálati eredmények gyakorlati alkalmazási lehetőségeit egyaránt. Természetesen nem lehet minden kérdésben a teljességre törekedni, hisz ennek igénye oly tetemesen növelné a terjedelmet, amely már könyvsorozatok eredményezne. Erre nincs is szükség, hisz maguk a szerzők korábbi könyveikben egy-egy részletre már részletesebben kifejtették, és pl. a *Materials Science Monographs* sorozatban is megjelentettek. Úgy hiszem a könyv ismeretanyag nagyon jól hasznosítható a különböző egyetemi oktatási anyagok összeállításában, a doktoranduszok képzésében, a szakmai továbbképző tanfolyamok tematikáinak kidolgozásában ugyanúgy, mint számos gyakorlati probléma megoldásában is.

Dr. Tóth László

## H. Blumenauer, G. Pusch: Műszaki törésmechanika

A törésmechanikával foglalkozó hazai szakemberek előtt bizonyára ismerősen hangzik az említett könyvcím, hisz ezzel a névvel, ezzel a szerzőpárossal jelent meg hazánkban az első törésmechanikai könyv, amely nem volt más, mint a második kiadás magyar fordítása. A most ismertetésre kerülő *Technische Bruchmechanik* című könyv, amelyet a Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (Leipzig, Stuttgart) jelentetett meg 1993. évben egy jelentősen átdolgozott harmadik kiadás. A néhai NDK törésmechanikai iskoláinak egyik meghatározó egyéniségei (Blumenauer professzor jelenleg is Magdeburgban oktat, míg volt munkatársa Pusch professzor Freibergben tett jelentős erőfeszítéseket az újabb iskola megteremtésére) új könyvükbe igyekeztek beépíteni mindazon ismereteket, amelyek az elmúlt periódusban napvilágot láttak, amelyek a gyakorlati alkalmazást segítik.

A 244 oldal terjedelmű, hat fejezetre tagozódó munka első, 26 oldalnyi része általános áttekintést ad a töréssel, annak módozataival, sajátosságaival, kutatásával kapcsolatban. Tárnyalja egyrészt az anyagok elméleti és gyakorlati szilárdságának nagyságrendi különbségét előidéző okokat, a repedések keletkezésének mechanizmusait, a törési módokat, a repedések megfigyelésének módozatait, azok korlátait. A törések kiküszöböléséhez kapcsolódó ismeretek bővülését, fejlődését – mint mindent a gyakorlati életben – a tapasztalatok jelen esetben a károsodásokra, törésekre vonatkozó – halmozódása gyorsította fel. A jelentős kárt okozó törések rövid összefoglalása mindenképpen elgondolkodtatható lehet nem csupán a terület kutatóinak, hanem még inkább a hallgatóknak, a kutatást finanszírozóknak.

A második, mindössze 13 oldal terjedelmű fejezet a ridegtörés kiküszöbölésének konvencionális módszereit foglalja össze. Ennek lényege az, hogy a szerkezetben repedés nem engedhető meg, a minimális, a ridegtörés veszélye nélküli üzemi hőmérsékletet az anyagok ridegtörési hajlama és a bekövetkezett károsodások tapasztalatai határozzák meg. E módszer alkalmazását példák illusztrálják.

A 33 oldal terjedelmű harmadik fejezet a törésmechanikai koncepciókat, elveket foglalja össze. Ennek megfelelően a kontinuummechanikailag egyszerűbben kezelhető, lineárisan rugalmas anyaggyenlet felhasználásával született eredmények áttekintése után a nem ideálisan rugalmas anyagmodellrel nyugvó ismereteket közli a könyv, kitérve az energetikai koncepciókra is. Röviden összefoglalásra kerülnek a kifáradás, kúszás és feszültségkorrózió hatására végbemenő repedés-terjedés leírásai lehetőségei, módszerei. A számos bizonytalansági tényező miatt egyre nagyobb jelentőségű a probabilisztikus törésmechanika, amelynek elveivel ugyancsak megismerkedhetünk, igaz definíció-szerűen.

A negyedik, 51 oldal terjedelmű fejezet a törésmechanikai anyagjellemzők meghatározási módszereit foglalja össze. Kiindulva a lineárisan rugalmas anyagmodell felhasználó törési szívósságtól, a  $J$ -integrálon, a  $K_{I,SCC}$ -n, a kifáradás és kúszás során terjedő repedés sajátosságait meghatározó anyagjellemző mérésén keresztül bemutatásra kerülnek a dinamikus vizsgálatok módszerei is. Rövid összefoglalás foglalkozik a repedés-terjedés leféléződésekhez tartozó anyagjellemzők vizsgálatával.

A konstruktőrök, az anyagtudománnyal és az anyagvizsgálattal foglalkozó szakemberek számára a könyv egyik legértékesebb része az 54 oldal terjedelmű 5. fejezet. Ez a legkülönbözőbb anyagok törésmechanikai anyagjellemzőit foglalja össze igen logikus csoportosításban. Főcsoportonként az acélok, öntöttvasak, könnyűfémek, polimereket, keramikum anyagokat, szálerezítéses anyagokat és az építőanyagokat tekintve olyan mélységű alcsoportokat képeznek a szerzők, amely az adott anyag típus felhasználásának

körét veszi figyelembe. Így az acélokban belül igen sok adatot tekinthetünk át a gépgyártásban használt anyagoktól a szerszámacélokig. Ha csupán a szélső tartományokat tekintjük, akkor azt mondhatjuk, hogy a törési szívósság tekintetében mindazon anyagokkal megismerkedhetünk, amelyeknek a  $K_{IC}$  értéke 1–450 MPa  $\sqrt{m}$  tartományba esik. Igen hasznos az a szemlélet, hogy a fátörés repedés terjedésével szembeni ellenállást tükröző anyagjellemzők mellett a külső paraméterek (hőmérséklet, közeg) hatása is nyomon követhető a közötti adatokon keresztül. Érdekesek és hasznosak azok az elemzések, amelyek a szövetszerkezeti sajátosságok és a különböző törési paraméterek között keresnek kapcsolatot. E megfontolások a tudatos anyagfejlesztés kiindulási pontjai, annak bázisai.

A 37 oldal terjedelmű 6. fejezet a törésmechanika gyakorlati alkalmazási lehetőségeit, annak módszereit foglalja össze. Ennek palettája az ún. „iskolai példák”-tól a műszaki előírásokban rögzített módszerekig terjed. Ez utóbbiaknál természetesen csupán az alapelvek kerülhetnek tárgyalásra a könyv kötött terjedelme miatt.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy egy rendkívül jó felépítésű, alapvetően „oktatás- és vizsgálattechnika-centrikus” könyv jelent meg Blumenauer és Pusch professzorok tollából. A tartalomban egyértelműen tükröződik az a kb. 30 éves oktatási tapasztalat, amellyel a szerzők rendelkeznek. A rövid áttekintésből az is egyértelműen kiderül, hogy a könyvet az anyagtudománnyal, az anyagvizsgálattal és a szerkezetek üzemeltetésével, felülvizsgálatával foglalkozó szakemberek is igen hasznosan forgathatják, munkájukhoz sok kiegészítő ismeretre tehetnek szert.

Végül e recenzió írójának sajnálattal kell megállapítania, hogy a magyar nyelvű szakkönyv megjelenése hazai szerzők tollából még mindig várat magára annak ellenére, hogy egyrészt e témában évente kb. 150–200 új könyv jelenik meg a világon, másrészt vannak nemzetközileg elismert szakemberei e kis országnak.

Dr. Tóth László

## V. V. Panasjuk: Anyagok kvázi-rideg törésének mechanikája

A Naukova Dumka kiadó (Kiev) gondozásában 1991. évben jelent meg Panasjuk akadémikusnak, a Fiziko-Mechanicheskij Institut (Lvov) igazgatójának a törésmechanikával foglalkozó immáron sokadik könyve *Mekhanika Kvazihrupkogo Razrushhenija Materialov* címmel. Az ukrán törésmechanikai iskola egyik vezető, meghatározó egyéniségének szakmai tevékenységéből nehéz lenne bármit is kiemelni anélkül, hogy jelentős területeket ne hagynánk el. Ezt az egyszerűsítést vállalva, figyelembe véve mondhatjuk azt, hogy a repedésűcsúcs környezetében ébredő viszonyok tisztázására, a kontinuummechanika alkalmazhatóságának biztosítására javasolt *Panasjuk-Leonov modell*, az ún.  $\delta$  modell a törésmechanikában új irányt nyitott. E modell egyik egyszerű esete az igen kiterjedten használt *Dugdale modell*. A 415 oldal terjedelmű munka 11 fejezetre tagozódik.

Az első, 43 oldal terjedelmű részben a törésmechanikával foglalkozó szakemberek átfogó képet kaphatnak a tudományterület fejlődésének történetéről. Ez rendkívül fontos legalább két szempontból. Az egyik az, hogy mai eredményeink értékeléséhez ismerni kell az ide vezető utat, azokat a személyeket, akik alapvetően befolyásolták a gondolkodás irányait, a másik pedig az, hogy a valóságot – nem pedig a különböző iskolák által kikiáltott vezető neveket, egyéniségeket – kell ismerni. Ilyen szempontból érdekes lehet számunkra pl. az, hogy *Weighard*, a Bécsi Műszaki Egyetem tanárának nevéhez fűződik a repedésűcsúcs környezetében ébredő viszonyok mechanikai leírása rugalmas anyagegyenlet esetén. Ő volt az aki először kimutatta az  $1/\sqrt{r}$  alakú szingularitást.

A második, szinte az elsővel azonos terjedelmű fejezet az anyagok szerkezetével és a törés fizikai aspektusaival foglalkozik. E részben alapvető hangsúlyt kapnak az anyagok felépítésével, ráccszerkezetével, a rácshibákkal – és azok hatásával – foglalkozó ismeretek mellett a repedés keletkezésének diszlokációs modelljei, a reológiai modellek, valamint az anyagok szilárdságának elméleti alapjai.

A harmadik, szintén 42 oldal terjedelmű fejezet a törésmechanika feszültség-és energetikai elveit foglalja össze. Itt kerül tárgyalásra a repedésűcsúcs környezetének alakváltozási, feszültségi, és energetikai állapota a különböző anyagegyenletek esetén, illetve ezek alapján a törési kritériumok kerülnek megfogalmazásra. Röviden bemutatásra kerülnek a vizsgálati módszerek is.

A 28 oldal terjedelmű negyedik fejezet a törés alakváltozási kritériumainak összefoglalására íródott. Ez már csak azért is igen fontos szemléletmód, mivel csak elmozdulás (út, megnyúlás) mérésére van lehetőségünk, mivel az alakváltozás és a feszültség származtatott mennyiségek. Külön rész ismerteti a méréses technikai lehetőségeket, illetve a törés ún. kétparaméteres alakváltozási kritériumát, amelynek helyessége kísérleti eredmények interpretálásával van alátámasztva.

Az ötödik fejezet 27 oldalnyi terjedelmében a kvázi-rideg jellegű törés síkbeli feladatainak megoldási módszereire felhalmozott kontinuummechanikai ismeretek kerültek rendszerezésre. Ennek kapcsán a szinguláris integrálegyenletek sajátosságai, azok megoldásának módszerei kapnak hangsúlyt a legkülönbözőbb repedés-konfigurációs esetén.

A 40 oldal terjedelmű hatodik fejezet a törésmechanika térbeli feladatainak megoldási módszereit foglalja össze, szinte kizárólagosan a rugalmas anyagegyenlet érvényességének bázisán. E tárgyalásban hangsúlyos szerepet kap a *Panasjuk-Leonov modell* alkalmazása is. Rendszerezésre kerülnek a több repedést tartalmazó anyagi rendszerek egyensúlyi feltételei, valamint a repedések geometriai jellegzetességeiből (kör, ellipszis alakú) adódó egyszerűsítési lehetőségek. A maradék feszültségek figyelembevételének kontinuummechanikai leírasi módszereinek bemutatására rövid paragrafus íródott.

A hetedik, 37 oldalnyi terjedelmű fejezet a véges méretű kontinuumokban levő repedések rugalmas-képlékeny feldatának közelítő megoldásaival foglalkozik alapvetően interpolációs módszerek alkalmazásával. Az általános elveket a következő feladatok megoldására használja: felületi repedéssel rendelkező tartó hajlítása, felületi félelliptikus repedést tartalmazó vastag lemez húzása, sarokrepedést tartalmazó prizmatikus rúd húzása, kompakt próbatest húzása. Az ismertetett másik közelítő megoldás a Leonov-Panasjuk modellen nyugszik. Ennek alkalmazhatóságát is több feladat megoldásával illusztrálja.

A könyv nyolcadik, 33 oldalnyi fejezetében a fátörés repedés terjedésének körülményeire vonatkozó ismeretek kerültek összefoglalásra. E rész kitér a repedések keletkezési körülményeinek tárgyalására mellett a terjedési feltételek empirikus leírására, az anyagjellemzők meghatározási módszereire, valamint az eredmények gyakorlati alkalmazási lehetőségeire is.

A 37 oldalnyi terjedelmű kilencedik fejezet a korrozív közegnek a repedések terjedési feltételeire gyakorolt hatását ismerteti mind kvázistatikus, mind pedig ismétlődő terhelés esetére. E részben hangsúlyos a felületi jelenségek leírására vonatkozó ismeretek, amelyek segítségével nem csupán kvalitatív, hanem kvantitatív következtetésekre is lehet jutni. A modellek alkalmazhatóságát számos mérési eredmény interpretálásával támasztja alá a szerző.

A tizedik, 32 oldalnyi rész a törés egy speciális lehetőségével, a hidrogén okozta törési folyamat kialakulásával foglalkozik. A Physico-Mekhanicheskij Institut tevékenységére döntően támaszkodó fejezetben a repedés kialakulásának mechanizmusára és időtartamára, valamint a repedés terjedésének körülményeire vonatkozó ismeretek kerültek összefoglalásra. Hangsúlyos szerepet kapnak a különböző modellekben a törésmechanikai paraméterek alkalmazási lehetőségei.

Az utolsó, tizenegyedik fejezet a törésmechanika gyakorlati alkalmazását illusztráló feladatok megoldásainak gyűjteménye. E részben acélművi hengerekben, tengelyekben, vasúti sínekben, vastagfalú csövekben, különböző gépjárművek szerkezeti részleteiben levő hibák veszélyességének megítélésére kialakított elvek kerülnek ismertetésre, mintegy annak igazolásaként, hogy a törésmechanika alkalmas a repedést tartalmazó szerkezetek megbízhatóságának becslésére, a megbízhatóság megítélésénél egyik komponensként.

Összefoglalva úgy ítélem, hogy Vladimir Vasilevich Panasjuk akadémikus könyve egy igen kiváló munka, amelyet mind az elméleti mechanikával, mind pedig a törésmechanika gyakorlati alkalmazásával foglalkozó szakemberek igen jól használhatják. Az előbbiekről azért, mert a különböző modellek, azok alapfeltételezései igen röviden, világosan vannak összefoglalva, amelyekre az elméleti mechanikával foglalkozó szakemberek könnyen építhetnek. Az utóbbi csoportot képviselőik pedig az elvek tudatában, azok helytállóságának, bizonytalanságainak, közelítéseinek ismeretében kezdenek hozzá a törésmechanika gyakorlati alkalmazásához, döntéseik megalapozottságának kockázatának, következményeinek mérlegeléséhez. A könyv minden egyes fejezetét bőveges irodalmi hivatkozás egészíti ki, amely egyben hasznos segítségére lehet mindazoknak, akik egy-egy speciális irányban további, részletes tájékozódásra törekvenek.

Dr. Tóth László