

E. M. Morozov – M. V. Zernin:

## A törésmechanika érintkezési feladatai

(Kontaktnye zadachi mekhanika razrushenija)

Egy igen időszerű és remek könyv jelent meg a *Masinosztroenie kiadó* (Moszkva) gondozásában 1999. év második felében. Az időszerűségét az adja, hogy a törésmechanika alapelvei napjainkra kialakultak és leiszultak, így ezek gyakorlati alkalmazási területeinek és korlátainak megkeresése, feltárása a szakemberek alapvető feladata. Ha figyelembe vesszük azt, hogy a gépalkatrészek, különböző erőátviteli mechanizmusok meghibásodásának több mint 80%-a tribológiai jellegű, akkor a csúszás, kopás, kipattogzás mechanizmusának minél alaposabb megismerése nem csupán elméleti, de nagyon is gyakorlati jelentőségű. E megismeréshez szolgálthat új eszközöket a törésmechanika, amely a kisméretű és makroszkopikus méretű repedések terjedési feltételeinek leírásával foglalkozik. Noha Hertz már 1881-ben a rugalmasságtani elvek alapján vizsgálta az érintkező testekben kialakuló feszültségek eloszlását, a növekvő terhelés hatására bekövetkező törés mechanizmusára nézve csupán az 1930-es évek közepétől kezdve találhatunk publikációkat a szakirodalomban. Mindez annak ellenére igaz, hogy az üvegbe nyomott golyó sugara és a kritikus terhelés kapcsolatát Auerbach már 1891-ben publikálta.

Az 543 oldal terjedelmű, 458 irodalmi hivatkozást felsorakoztató, 5 fejezetre tagozódó könyv anyaga nagymértékben támaszkodik a szerző 1988-ban hasonló címmel (Érintkezési törések mechanikája – Mekhanika kontaktnogo razrushenija) megjelent munkájára, kiegészítve azt a mechanika numerikus módszereinek alkalmazásával elért eredményekkel, illetve az azokból levonható következtetésekkel.

Az első, 119 oldal terjedelmű fejezet az érintkezési problémák összefoglalását adja. Az alapvetően kontinuum-mechanikai szemléletű fejezet első részében azok a sajátosságok kerülnek bemutatásra, amelyek az érintkezési feladatokat megkülönböztetik a kontinuum-mechanika, a szilárdságtan egyéb feladataitól. Ez adódik abból, hogy a rugalmasságtan, a képlékenységtan, a kúszás törvényszerűségeinek alkalmazása mellett figyelembe kell venni az anyagtulajdonságoknak bizonyos terhelési feltételek között bekövetkező változását is. A jelenségek mechanikai tárgyalási módját ugyancsak bonyolítja az, ha figyelembe kívánjuk venni a kopásállóság növelésére különböző technológiai eljárásokkal kialakított felületi rétegek viselkedését is. Mechanikai szempontból ugyancsak érdekes a növekvő terhelés mellett a rugalmas képlékeny alakváltozás hatására kialakuló érintkezési felület változó nagyságának és az ott lejátszódó folyamatok, feszültségi, kinematikai és hőmérsékleti peremfeltételeinek figyelembevétele. Igen sok esetben a dinamikai viszonyok tisztázása is szükséges. Ezzel a problémák csak sokasodnak és a megoldandó érintkezési feladatok egyre bonyolultabbá válnak. Az általános helyzet ismertetését követően az első fejezet összefoglalja az érintkezési feladatok megoldásában elért eredményeket az egyszerűbb esetektől a bonyolultabb irányába haladva, azaz a rugalmas, a rugalmas-képlékeny és a dinamikai sajátosságok figyelembevételével.

A második, 83 oldal terjedelmű rész az érintkezési kifáradás során lejátszódó károsodás és törés folyamatának leírasi módjaival foglalkozik. Ennek keretében először csokorba fűzi azokat a problémákat, amelyek megnehezítik azt, hogy a törésmechanikai elveket közvetlenül alkalmazhassuk a kontaktfáradás során kialakuló repedések terjedési feltételeinek leírására. Ilyen probléma például a repedésfront alakja, elhelyezkedése, növekedése, az ismétlődő igénybevétel paramétereire stb. E fejezetben kaphatunk áttekintést a törésmechanika alapelveiről, valamint ezek alkalmazhatósági feltételrendszeréről az érintkezési feladatok tárgyalásában. Ennek keretében olyan modell kerül bemutatásra, amely alkalmazható a felületi repedések kialakulásának és terjedésének leírására ismétlődő terhelések esetén. Külön figyelmet érdemel a jelenség statisztikus tárgyalási módja. Tekintettel arra, hogy mind a repedés kialakulását, mind pedig terjedését számos paraméter

egyidejűleg és kölcsönösen határozza meg (anyag, szerkezeti kialakítás, gyártástechnológia, üzemi körülmények és a gazdaságosság) az élettartambecsléseknél mindezen hatásokat figyelembe kell venni. Erre nézve kaphatunk rendszerező áttekintést mintegy 26 oldalon.

A 73 oldal terjedelmű harmadik fejezetben kerül tárgyalásra a szűrőszerszámnak a félvégtelen testbe való behatolása során lejátszódó folyamatok törésmechanikai leírásának lehetősége. Ez azért érdekes terület az érintkezési feladatok tárgyalásában, mert a kontaktfáradás meghatározó folyamata az az érintkezési feszültség, amely a két test között alakul ki. E részben kerülnek ismertetésre azon megfontolások, és törésmechanikai összefüggések, amelyek a benyomódó test geometriai paraméterei, a terhelés nagysága, a felületen mérhető repedések hossza és az anyag repedéssterjedéssel szembeni ellenállása, rugalmassági modulusa közötti kapcsolatot írják le mind kvázistatikus, mind pedig ismétlődő terhelés esetén.

A negyedik, 157 oldal terjedelmű fejezet a törésmechanikai elvek alkalmazhatóságával foglalkozik a kopás folyamatának leírásában. Ennek keretében részletesen kitér a felületi réteg kopása során végbemenő károsodási folyamatokra, azok kialakulásának mechanizmusaira, szakaszaira és jellemzőire, így a mikroforgácsolásra, a képlékeny kitérkedésre, a rugalmas behatolásra, az adhéziós kopásra és a nagyobb térfogatra kiterjedő, képlékeny alakváltozással járó károsodásra, repedés keletkezésére és terjedésére. E mechanizmusok térben és időben változnak, egymást váltják fel, következésképpen az látszik a legperspektivikusabb tárgyalási módnak, ha diszkrét, egy-egy lokális helyhez kötötten modellezik a folyamatot. Ebben a szemléletmódban helyet kaphat a statisztikus értékelés is, amely a diszkrét helyekből általánosít a teljes kopási folyamat pillanatnyi állására. Elemzi az egyzeres és ismétlődő terhelés során lejátszódó folyamatok közötti azonosságokat és különbségeket különös gondot fordítva az ismétlődő ütőterhelés sajátosságainak figyelembevételére. Vizsgálja azon lehetőségeket, amelyek biztosítják a törésmechanikai elvek alkalmazhatóságát a kopási folyamat leírásában. Itt igyekszik figyelembe venni a kicsiklusú – terhelési ciklusonként rugalmas-képlékeny alakváltozással járó – kifáradás jelenségének tárgyalásában alkalmazott általánosan elfogadott elveket. Ennek alapján modellt állít fel a felület alatti repedés keletkezési feltételeinek jellemzésére. Részletesen elemzi az abrazív kopás sajátosságait különös figyelmet fordítva az ismétlődő ütőterhelés szerepére, számos kísérleti eredményt bemutatva az anyagjellemzők és a felületi bevonatok hatásának érzékeltetésére. Külön pontokban elemzi az érintkező felületek relatív elmozdulása során végbemenő kopás sajátosságait, azok törésmechanikai tárgyalási módjának lehetőségeit mind a repedések keletkezésének, mind pedig terjedésének szakaszában. Tárgyalja a felületi réteg tulajdonságainak hatását mind a terhelési mód, mind pedig az érintkező testek közötti közeg sajátosságainak figyelembevételével. Ebben a szemléletmódban különös hangsúlyt kap a repedésűcsűs környezetének elemzése. A frettív fáradás, a kopás folyamatának leírásában a törésmechanikai elvek hangsúlyos alkalmazhatósága rejlik. Ezt meggyőzően igazolják a bemutatott példák.

Az utolsó, 80 oldal terjedelmű ötödik fejezet nem más, mint az ismertetett elvek gyakorlati alkalmazásának „példatára”. Ennek keretében először a síklócsapágyak viselkedését elemzi kitérve a feszültségeloszlás számítására, a felületi réteg szerepére, az anyagjellemzők hatására, a különböző paraméterek hatásának modellezhetőségére és az alkalmazható vizsgálati technikák sajátosságaira, a kapott eredmények értékelési módszereire. Másik gyakorlati példának a vasúti sín-kerék kapcsolatát vizsgálja. Ennek kapcsán bemutatja az érintkező testekben kialakuló, végeeselemes számításokkal meghatározott feszültség- és alakváltozás-mezőket különös tekintettel a fékezés folyamatára. Összefüggéseket közöl a feszültségintenzitási tényező számítására a felületi félléptikus repedés geometria paramétereinek figyelembevételével. Elemzi a sín felületi rétegének szerepét a kopás kialakulása szempontjából kiemelve a megvalósítás technológiai lehetőségeinek (hőkezelés, hidegalakítás) sajátosságait. Vizsgálja a fáradásos repedés terjedési feltételeinek leírására alkalmazható törésmechanikai elveket,

figyelembe véve azt, hogy a repedések többnyire a futófelület alatt keletkeznek és a sín belsejének irányába terjednek. A repedés terjedésében nem csupán a repedés síkjára merőleges, hanem az abban ható csúsztató feszültségeket eredményező terhelési komponens is szerepet kap.

**Összefoglalva** megállapítható, hogy E. M. Morozov és M.V. Zernin ismertett könyve a törésmechanika elveinek egy újabb alkalmazási területén elért eredményeket foglalja össze. A kvázistatikus és ismétlődő terhelésnek kitett érintkező testek károsodásának leírása igen bonyolult, hisz a terhelés paraméterein, az érintkező testek geometriai jellemzőin túl a testek anyagi sajátosságai, azok térbeli és időbeni változása és az érintkező testek közötti közeg, környezet egyaránt befolyásolja a lejá-

szódó folyamatokat. E károsodási folyamatoknak van azonban egy közös jellemzője, nevezetesen az, hogy repedés képződése és terjedése figyelhető meg. E közös mag adja a biztosítékát a törésmechanika újabb alkalmazási területére a tribológiai témakörben. Az ismertett könyvet messzemenően ajánlom a tribológiával elméleti és gyakorlati szinten foglalkozó szakembereknek, kutatóknak, oktatóknak és az egyetemi hallgatóknak. Sajnálatos a tény, hogy a témához kapcsolódóan teljesen hiányzik a magyar nyelvű szakirodalom. Amennyiben a törésmechanika gyakorlati alkalmazása témakörben magyar nyelven szakkönyv összeállítására kerül sor, úgy a leendő szerzőnek mindenképpen javaslom, hogy az érintkezési kifáradás és kopás témakörét is tárgyalja röviden.

**Wolfgang Seidel:**  
**Anyagismeret – Anyagok, tulajdonságok, vizsgálat, alkalmazás**

(*Werkstofftechnik – Werkstoffe, Eigenschaften, Prüfung, Anwendung*).

Ez évben jelentette meg a *Carl Hanser Verlag München–Wien* kiadó a könyvet a Műszaki Tankönyvek című sorozatban.

A 383 oldal terjedelmű 12 fejezetre tagozódó mű tipikusan olyan tankönyv, amely az anyagtudománnyal foglalkozó főiskolai és egyetemi hallgatók tananyagában, képzésében igen jól felhasználható.

Az első, 48 oldal terjedelmű rész a fémek szerkezetével és tulajdonságaival foglalkozik. Bemutatja a fémek kötések sajátosságait, a rács szerkezet jellemzőit, a rács hibákat, a kristályosodás, a rugalmas és képlékeny alakváltozás, az újrakristályosodás, valamint a termikusan aktivált folyamatok leírását. Az egyes témákat, valamint e fejezetet olyan kérdések zárják, amelyek megválaszolása igen nagy mértékben hozzájárul a tananyag megértéséhez, elsajátításához.

A könyv mindössze 20 oldal terjedelmű 2. része a fémek ötvözeteivel és fázisátalakulásaival foglalkozik. Ismerteti a lehülési görbék és a különböző kétalkotós állapotábrákat. E fejezetet is tesztkérdések zárják.

A 16 oldal terjedelmű 3. fejezet a vas-szén állapotábrával, annak egyensúlyi (Fe-C) és nem egyensúlyi (Fe-Fe<sub>3</sub>C) hűtésre vonatkozó változatával foglalkozik. Rövid áttekintést kaphatunk a jellegzetes szövetekről, azok tulajdonságairól. Mint minden egyes fejezet, ez is a tananyag elsajátítását segítő kérdésekkel zárul.

A 49 oldal terjedelmű 4. fejezet a vaslapú anyagok hőkezelését, annak elveit és gyakorlati kérdéseit tekinti át. Az ausztenitesítést követő hűtési sebességtől függően kialakuló szövetek sajátosságait, tulajdonságait elemzi az átalakulás időbeli lefolyásának függvényében. Ennek megfelelően ismerteti a folyamatos hűtésre és az izotermás átalakulásra vonatkozó C-görbéket. Bemutatja a hőkezelés hatására kialakuló maradó feszültségeket, illetve a különböző tulajdonságokat eredményező hőkezelési technológiákat, beleértve a teljes térfogatra és a felület módosítására kiterjedőket. Áttekintést ad a termomechanikus hőkezelésekről, illetve a felületötvöző kezelésekről is.

Az 5., mindössze 25 oldal terjedelmű rész az öntöttvasakkal, azok sajátosságaival foglalkozik, mind a szövetszerkezet, mind pedig a tulajdonság szempontjából. Bemutatja a tulajdonság befolyásolására alkalmas hőkezelések és ötvözések lehetőségeit. Nagy figyelmet szentel a műszaki gyakorlatban igen fontos gömbszemesített öntöttvasak ismertetésére. E részben tárgyalja a temperöntvényeket, valamint az acélöntvényeket is. Ismerteti a különböző öntvényhibákat.

Mindössze 18 oldalon kerülnek bemutatásra a 6. fejezetben a különböző ötvözetlen és ötvözött acélok jelzésrendszere, valamint az ötvözők hatása a különböző tulajdonságokra, illetve a legkülönbözőbb acélcsoportok. A fejezetet záró kérdések megoldásai a könyv végén megtalálhatók.

A 7. fejezet 29 oldalnyi terjedelemben összefoglalja a nemvas-fémeket, ezek jelölésrendszerét és tulajdonságait. Így az alumíniumötvözeteket (alakíthatók és önthetők, szinterelt alumínium anyagok), az ötvözők hatását az alumínium tulajdonságaira, a réz és rézötvözeteket, az ólmot és az antimonot és ezek ötvözeteit, a fehér fémeket, a titánt és a titánötvözeteket.

Az alig kilencoldalnnyi terjedelmű 8. fejezet ismerteti a szinterelt anyagokat, különös tekintettel a keményfémekre és a keramikus anyagokra.

A könyv a 9. fejezet 21 oldalnyi terjedelemben a korrózióval és a korrózióvédelemmel foglalkozik. Áttekinti a korrózió fajtáit, ezek sebességét befolyásoló külső – és az anyag sajátosságát tükröző – belső paraméterek szerepét. Röviden áttekintést kaphatunk a korrózióvédelemről és az ennek minőségét befolyásoló paraméterek hatásáról.

A 15 oldal terjedelmű 10. fejezet a kenő-, hűtőanyagokat tekinti át, azok jelölésrendszerével, tulajdonságaival, felhasználási területeivel ismerteti meg az olvasót. E fejezetet is a tanulást segítő kérdések zárják.

A műanyagokat a 34 oldal terjedelmű 11. fejezet foglalja össze. A műanyagok rendszerezését a szerkezet és a tulajdonságok összefoglalása követi. Érdekes áttekintő képet kaphatunk a műanyagokról, ha azok rugalmassági modulusait ábrázoljuk a szakítószilárdság függvényében. Néhány jó példát találhatunk az anyagválasztás szempontjaira is.

Az anyagvizsgálati módszereket, a roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokat a könyv utolsó, 12. fejezete foglalja össze. Az előbbiektől az anyagvizsgálat, a keménységmérések, az üthajlító vizsgálat és a fárasztóvizsgálat módszerei, az eredmények értékelési módjai vannak összefoglalva. A roncsolásmentes vizsgálatok közül a radiológiai, az ultrahangos, a mágneses valamint az örvényáramos vizsgálat fizikai elveiről, alkalmazási területeiről kaphatunk képet. A metallográfiai vizsgálat alapvetően a fénymikroszkópos eljárásra koncentrál és nagyon röviden említi az elektronmikroszkópos vizsgálatot. Igen röviden kitér a könyv az anyagválasztás elveire is.

Az ismertett mű tankönyv jellegét legjobban az a tény hangsúlyozza – és egyben a tananyag önálló elsajátítását is segíti –, hogy az egyes fejezetek végén felsorolt kérdésekre adott válaszok az utolsó, mintegy 14 oldal terjedelmű részben megtalálhatók.

**Összefoglalva** azt mondhatjuk, hogy a könyv rendszerezve tartalmazza mindazon ismereteket, amelyek a minket körülvevő anyagi világban való megbízható tájékozódáshoz, az alapelvek megértéséhez szükségesek.

Az előzőekben részletezett tartalom már önmagában is jelzi a könyv szerepét, helyét az anyagtudományban, anyagismeretben. Figyelembe véve a hazai oktatási (középfokú, főiskolai, illetve egyetemi képzést) azt lehet mondani, hogy a könyv jól használható a gépipari irányú szak- és középiskolai képzésben, a műszaki jellegű főiskolai képzésben és az anyagokkal, azok tulajdonságaival nem teljes mélységben foglalkozó egyetemi képzésben. A könyv ugyancsak hasznosan forgatható a döntően gépészmérnöki képzés induló szemeszterében is. Különösen jól használható segédkönyv a napjainkban egyre terjedő idegen nyelvű főiskolai, egyetemi képzésben, hisz a szakavatott szerző nem csupán a biztos szakmai ismereteket nyújtja a könyv használóinak, olvasóinak, hanem a teljes mértékben elfogadott német nyelvű terminológiákat is.

Aki az eredeti mű után érdeklődik, részletes felvilágosítást kaphat a **Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag**-tól (Naumburger Strasse 26a, D-04229 Leipzig, tel: 49-341-49034-0, fax: 49-341-4806220, honlap: <http://www.hanser.de>).

A rovatot írta:

**Dr. Tóth László**  
egyetemi tanár