

XII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2007. március 16–17.

ANYAGTULAJDONSÁG- ÉS TECHNOLÓGIAI PARAMÉTER-MEGHATÁROZÓ MÓDSZEREK ÉRTÉKELÉSE

Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő

Abstract

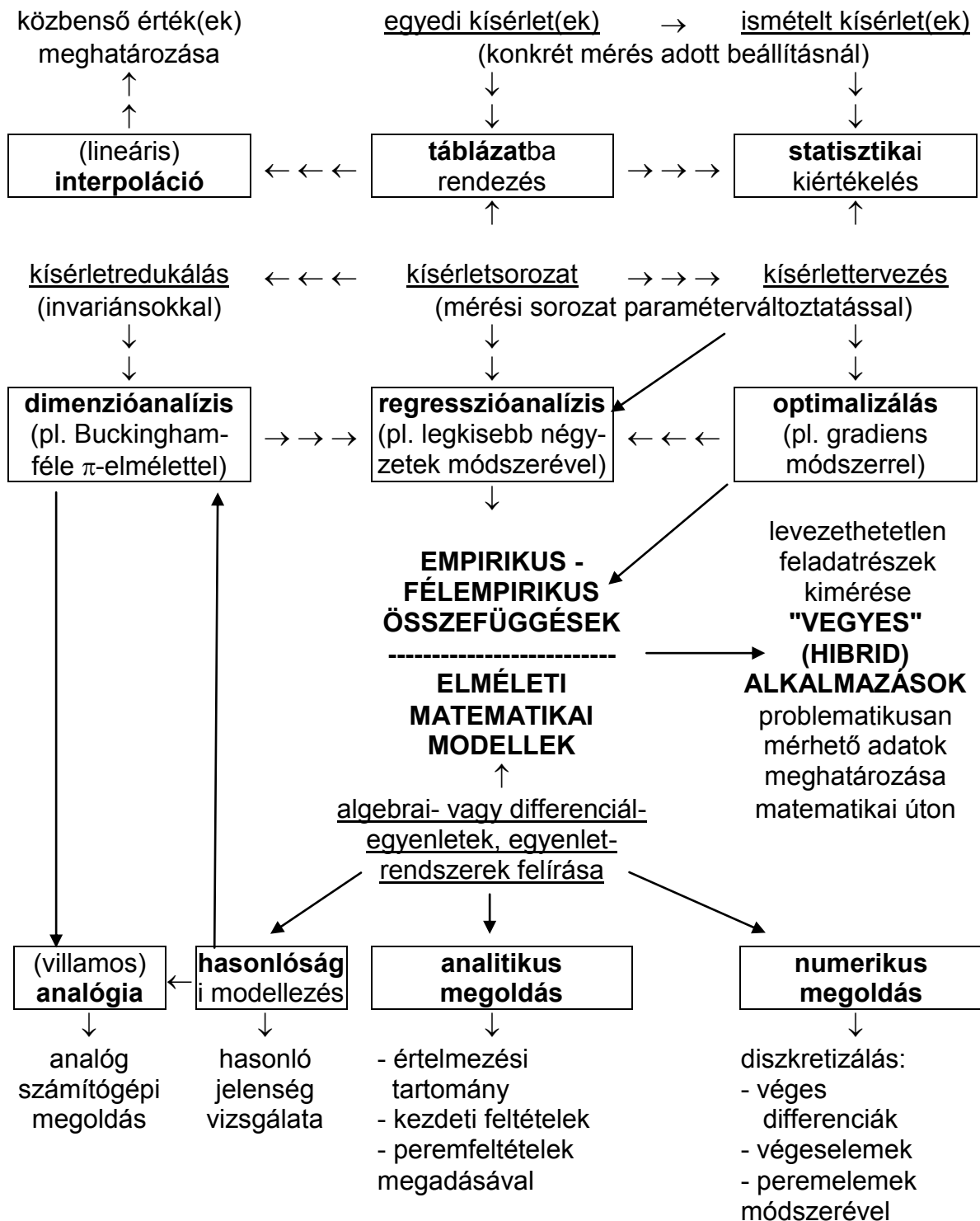
In the mechanical engineering practice focused primarily on the planning and manufacturing of engineering components, several advanced methods have been developed and proposed for the computerized material selection and the computer aided design of processing technologies. In this paper the various mathematical-physical models and computerized techniques designated to determine and predict the relationships between the materials properties and the parameters of technological processing methods are discussed and compared.

Összefoglalás

A gépalkatrészek tervezésére és gyártására irányuló gépészmérnöki gyakorlatban számos korszerű módszert fejlesztettek ki és javasolnak a számítógépes anyagkiválasztás és technológia tervezés céljára. Jelen cikkben azokat a különféle matematikai-fizikai modelleket és számítógépes módszereket elemezzük és hasonlítjuk össze, amely elsődlegesen az anyagtulajdonságok és a gyártástechnológiai paraméterek közötti összefüggések meghatározására és predikciójára hivatottak.

Az anyagkiválasztás és a technológiai tervezés folyamata a korszerű mérnöki gyakorlatban számítógéppel segített eljárások (CAE \equiv Computer Aided Engineering) során valósul meg, amelyeknek két nagy „területe” a számítógéppel segített (konstrukciós) tervezés (CAD \equiv Computer Aided Design) és a számítógéppel segített folyamattervezés (CAPP \equiv Computer Aided Process Planning). Ilyen eljárások hatékony és megbízható végrehajtásához szükség van informatikailag feldolgozható mérési adatokra, matematikai modellekre. Ezek célszerű felhasználása alkalmas lehet anyagtulajdonságok becslésére, technológiai paraméterek meghatározására egyaránt.

A jellegzetes, kutatást és tervezést egyaránt támogató módszerek [1–12] röviden értékelve a következők (1. ábra), melyek közé nem sorolhatók be a — gyakorlatban egyébként előforduló — véletlen próbálgatáson, paraméterek találmásra történő kiválasztásán alapuló „eljárások”:



1. ábra.
Anyagtulajdonság- illetve technológiai paraméter-meghatározás módszerei

1. A közvetlen kísérlet célszerűen kialakított próbatesteken vagy esetenként mintadarabon, sőt készterméken végzett konkrét mérés (pl. mechanikai anyagvizsgálati eljárás). Problémája, hogy bármely beállított paraméter megváltoztatása esetén új mérésre van szükség. Különösen anyagtulajdonságok vizsgálatakor a mérési eredményeket véletlenszerű hatások is befolyásolják. Ezek részben a mérőrendszer bizonytalanságaiból, részben az anyag illetve előállítás-technológiája inhomogenitásaiból adódnak, következésképpen a mérés többszöri megismétlése általában más-más eredményre vezet. Ilyen módon a mérési sorozat eredményeinek interpretálása a matematikai statisztika megfelelő eszközeivel és módszereivel lehetséges.
2. A klasszikusnak nevezhető kísérletsorozat külön-külön vizsgálja az egyes paraméterek hatását a kiszemelt jellemzőre, tulajdonságra vonatkozóan. Ez a módszer nagyszámú befolyásoló paraméter esetén igen hosszadalmas és költséges lehet. A mérési sorozatok optimalizálásának, a mérési adatok elemzésének jól bevált módszere a matematikai (modell)függvény-illesztés regresszióanalízis segítségével. A regressziós eljárás alkalmazásának célja azon paraméter-értékek megtalálása, melyek a modellt illetve azon keresztül a fizikai valóságot jellemzik a nem, vagy korlátozottan mért pontokban, paraméter-tartományban is.
3. A kísérlettervezés tulajdonképpen olyan célszerűen „redukált” kísérletsorozat, ahol a "médium" viselkedését valamennyi lényeges paraméter (tényező) egyidejű változtatásával vizsgálják és a mérési eredményeket statisztikusan (is) értékelik. Ezen az úton viszonylag rövid idő alatt sok információ nyerhető, az egyes tényezők változtatásának hatása (hatáserőssége) összehasonlítható, a tényezők kölcsönhatásának mértéke, jelentősége becsülhető. Gyakran alkalmazott eset a 2^n faktoros kísérleti terv, melynek során n db befolyásoló tényezőnek csak 2 célszerűen megválasztott szélső értékét állítják be és mérik a „reakciót”. Amennyiben konkrét optimalizálási feladatról is szó van, a kísérlettervezést támogató gradiens-módszer nyújt segítséget a globális vagy lokális „reakció”-optimum (minimum vagy maximum) minél kevesebb lépésben történő eléréséhez.
4. A kísérletsorozat(ok) egyszerűbb megtervezését és/vagy feldolgozását hivatott elősegíteni a dimenzióanalízis, ami feltételezi, hogy a megoldás (a keresett "reakció", a függő változó) a független változók (paraméterek) hatványszorzatának lineáris kombinációjaként állítható elő ill. adható meg. A kiválasztott (lényeges) változók dimenzióit elemezve megállapítható, hogy hány független dimenzió nélküli számot lehet képezni. A Buckingham-féle π -elmélet szerint a várható dimenziótlan csoportok száma a változók számának és az előforduló alapidimenziók számának különbsége. Ezen dimenziótlan számok függvénykapcsolata(i) kevesebb görbén

foglalhatók össze, így áttekinthetőbbé is válik a jelenség leírása. Kevesebb mérés szükséges, mivel a dimenziótlan számokban foglalt változók közül elég csak az egyiket változtatni, miközben maga a (rendszerint tört) szám széles intervallumot befut. A többi változó esetében csak az előfordulható szélső értékek beállítására van szükség.

5. Ha a vizsgált jelenséget, folyamatot befolyásoló változók (paraméterek) mellett ismert a köztük lévő kapcsolat differenciálegyenlet formájában, akkor meg lehet kísérelni annak analitikus megoldását. A térben megfelelően dimenzionált differenciális alakú egyenlet megoldásához (megoldhatóságához) szükség van egyértelműségi (unicitási) feltételek kijelölésére is. Ez a kezdeti és peremfeltételek illetve az értelmezési tartomány megadását jelenti.
6. Ha az analitikus megoldás nem vagy csak igen körülményesen, bonyolultan lehetséges, akkor a számítógéppel igen jól támogatott numerikus megoldások jöhetnek szóba. Ezek ún. diszkrétizáláson alapuló módszerek, amelyeknél térben és/vagy időben véges „lépéstávolságonként” (diszkrét részenként) számolnak:

A véges differencia módszer a differenciálegyenletben szereplő differenciálhányadosokat valamilyen alkalmas interpolációs polinom megfelelő differenciáhányadosaival közelíti illetve helyettesíti. Ezáltal a differenciálegyenlet megoldása egy lineáris algebrai egyenletrendszer megoldására vezethető vissza, melyet az ismeretlen (belső) csomóponti függvényértékekre felírt differencia-egyenletek alkotnak. Az egyértelmű megoldás előfeltétele a feladat korrekt kitűzése, az egyértelműségi feltételek megadása. A feladat akkor egyértelmű, ha ezen feltételek kismértékű megváltoztatása esetén a megoldásfüggvény is csak kismértékben változik.

A végeselem módszer (VEM) a véges differencia módszer általánosítása. A vizsgálandó objektumot diszkrét geometriai elemekre (vonal, síkidom, poliéder) bontja. Az elemekre felbontott alakzat képét szemléletesen hálónak nevezik. A hálós felbontásnak kötött szabályai nincsenek, a legtöbb ilyen célú számítógépi program ezt automatikusan elvégzi. Az egyes elemek csomópontokban érintkeznek, az objektum csomópontjain terhelések vagy kényszerek hatnak. A megadott feltételekből kiindulva, alkalmas matematikai eszközökkel meghatározható az objektum belsejében lévő csomópontok viselkedése. A terhelés alatt erő, hőmérséklet, elektromos potenciál stb. értendő. A kényszerek lehetnek megfogások, vagy egyéb kötöttségek. A vizsgált folyamatok lehetnek időben állandósultak, dinamikus jellegűek, vagy tranziens jelenségek. Az ilyen célra kifejlesztett programok, programrendszerek futtatásához definiálni kell a geometriát, az anyag lineáris vagy nemlineáris jellemzőit, a terheléseket, a peremfeltételeket és esetleg azt, hogy a térbeli feladat visszavezethető-e valamilyen egyszerűbbre. Szimmetria

feltételek (geometria, anyag, terhelés, peremfeltétel együttes vonatkozásában) teljesülése esetén elegendő (és gazdaságosabb) az objektum egy kisebb részét vizsgálni. A feladatok jó hatásfokú megoldását és szemléltetését a végelelemes rendszerekbe „épített” grafikus pre- illetve posztprocesszálas segíti elő. Ehhez illetve a számításokhoz azonban nagy mennyiségű adathalmazt kell előkészíteni illetve ellenőrizni, továbbá a kapott végeredményeket reprezentáló számhalmaz olyan megjelenítésének megszervezése szükséges, amelynek révén a számítás gyorsan és megbízhatóan értékelhető.

A peremelem módszernél az előzőhöz képest valamennyi — a test belsejében értelmezett — csomópont hiányzik. Fontos, hogy az adott feladatra létezzen a tartomány belső pontjaiban teljesülő analitikus megoldás. Előnye, hogy végtelen tartományokat, továbbá szingularitásokat (pl. folytonossági hiányok környezetét) egyszerűbben lehet segítségével vizsgálni.

7. Hasonlósági modellezéssel lehetővé válik, hogy kísérlettel „oldják meg” a differenciálegyenletet. Ehhez szükség van eltérő adatokkal, de ugyanazzal a differenciálegyenlettel leírható másik „jelenség” vizsgálatára is. Ha a két jelenség hasonló, akkor az egyik változói kifejezhetők a másikkal. Az így kapott változókkal felírt differenciálegyenlet és az eredeti differenciálegyenlet azonosságának feltételezéséből invariáns dimenziótlan számok származtathatók. Amennyiben az egyértelműségi feltételek is megfelelnek egymásnak, azaz a hasonlósági kritériumok számértéke egyenlő, a két jelenség a hasonló jelenségek csoportjába tartozónak tekinthető. Hasonló jelenségek esetében az invariánshoz tartozó változók hatványszorzata megegyezik. Az egyenlet ezután dimenzióanalízisnek megfelelő kísérletsorozattal megoldható. Elegendő csak a dimenziótlan invariáns értékét változtatni bármely benne szereplő változó módosításaival és általában nem szükséges a többi változó értékét is variálni.

8. Analógia alkalmazásakor olyan jelenséget keresnek, amelyet megfelelően tudnak mérni, és így a mérési eredményekből az eredeti jelenséget leíró megoldás kapható. Szükséges, hogy az adott és a mérhető jelenség hasonló legyen. Megfelelően kiválasztva az egyértelműségi feltételeket, a mérhető jelenség kimérése megadja az eredeti jelenség egyenletének megoldását minden olyan esetre, amikor az egymásnak megfeleltetett dimenziótlan számok megegyeznek. Legkényelmesebb és legpontosabb mérést biztosít, sőt talán a legelterjedtebb a villamos analógia, amelynél ellenállásokból (R), kapacitásokból (C) és induktivitásokból (L) összeépített modell (analóg számítógép) által produkált jelek (extenzív és intenzív jellemzők ill. változásaik) méréséből megfelelő transzformációval az eredeti egyenlet megoldásához lehet jutni. A peremfeltételek könnyen változtathatók, a megoldás igen rövid idő alatt leolvasható. Gyakori, hogy a megoldást diagram alakjában, oszcilloszkóp képernyőn vagy

nyomtatón jelenítik meg. Megjegyzendő, hogy ezen módszer alkalmazása a nagy teljesítményű digitális számítógépek és szimulációs programok megjelenésével erősen háttérbe szorult.

A fenti empirikus és elméleti feladat-megoldási módszerek, eljárások közül nem lehet kizárni illetve nem is lehet univerzálissá kikiáltani egyetlen megoldást sem, hiszen bizonyos szituációkban mindegyik alkalmazhatóságát mérlegelni kell, vagy akár többet kombináltan „egymással ötvözve” célszerű használni.

Irodalom

- [1] Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2006
- [2] Szűcs Ervin: *Hasonlóság és modell*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972
- [3] Kemény Sándor - Deák András: *Mérések tervezése és eredményeik kiértékelése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990
- [4] Főszerkesztő: Szabó Imre: *Gépészeti rendszertechnika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- [5] M. A. Mihejev: *A hőátadás gyakorlati számításának alapjai* Tankönyvkiadó, Budapest, 1987
- [6] E. A. Metzbower: *Penetration Depth in Laser Beam Welding*. Welding Journal, August 1993, p. 403-407.
- [7] Palotás Béla - Borhy István: *Hegesztési folyamatok matematikai modellezése*. Hegesztéstechnika, VII. évfolyam, 1996/2
- [8] M. Gergely - S. Somogyi - T. Réti - T. Konkoly: *Computerized Properties Prediction and Technology Planning in Heat Treatment of Steels*. ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating, ASM International, USA, 1991.
- [9] Váradai Károly: *A CAD numerikus módszerei*. BME Mérnöktovábbképző Intézet, Budapest, 1989
- [10] Párczelt István: *A végeelem módszer szerepe a gépészmérnök munkájában*. Gép XXXVIII. évfolyam, 1986. 7. szám, Július, 254-257. o.
- [11] Balla Mihály: *Kétdimenziós stacionárius és tranziens hővezetési feladatok megoldása végeelemes módszerrel*. Gép XXXIX. évfolyam, 1987. 6. szám, Június, 212-216. o.
- [12] Erwin Kreyszig: *Advanced Engineering Mathematics*. John Wiley & Sons, Inc., 1993

Dr. Bagyinszki Gyula, főiskolai tanár
 BMF, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai
 Mérnöki Kar, Anyag és Alakítástechnológiai
 Szakcsoport, Budapest 1081 Népszínház u. 8.
 tel: (+36-1) 666-5304; fax: +36-(06)-1-666-5494
 bagyinszki.gyula@bgk.bmf.hu;

Dr. Bitay Enikő, tudományos főkutató
 Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kutatóintézet
 Ro-400009 Kolozsvár, Jókai / Napoca u. 2-4.
 tel, fax: (+40) 264-595-176
 bitay@eme.ro