

GÉP

A GÉIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA

- TERVEZÉS
- KUTATÁS
- FEJLESZTÉS
- KIVITELEZÉS
- ÉRTÉKESÍTÉS
- VÁLLALKOZÁS
- GÉIPARI HÍRADÓ
- GAZDASÁGOSSÁG
- NEMZETKÖZI KITEKINTÉS
- TECHNIKATÖRTÉNET
- KÖNYVISMERTETÉS
- REFERENCIÁK
- CÉLSZÁMOK
- HIRDETÉSEK
- VÉLEMÉNYEK
- KIÁLLÍTÁSOK
- PIACI HÍREK

1992/7

44 OLDAL
XLIV. ÉVFOLYAM

Tartalom

- Czitán G.: Vizsgálatok tanusítása német piacra** 3
A szerző a cikkében a németországi, nyugat-európai piacra szállító, szolgáltatást végző vállalatok, vállalkozók figyelmét hívja fel a bizalmat is erősítő, nemzetközi értékű tanúsítások szükségességére, és megszerzésének lehetőségére.
- Dr. Szabó O.: Ultraprecíziós CNC esztergalaboratórium telepítése és alkalmazása** 5
A gép- és műszeralkatrészek megmunkálásánál egyre gyakoribb követelmény a μm körüli vagy nagyobb pontosság és a tükrös felület. Ilyen alkatrészeket a hagyományos gépekkel előállítani nem lehet. Az ME Gépészmérnöki Karán telepítésre került egy ultraprecíziós eszterga. Ez megfelelő szerszámokkal és környezeti feltételek mellett képes ilyen alkatrészeket előállítani. A publikáció a telepítési követelményekről, pontossági jellemzőkről és alkalmazási lehetőségekről ad áttekintést, külföldi tapasztalatok figyelembevételével mellett.
- Dipl. Ing. E. Hajas: Az „Ausztriai Draht”** 8
*Ausztria egyik legnagyobb drótygyára. A cikk a gyártmányi összetételt, a piaci munkát mutatja be számszerűsítve.
A cikk aktualitását az is adja, hogy a D.4.D. valószínű vásárlója, tulajdonosa lesz a közeljövőben az A. D.*
- Gajdos G.: Társaink a háztartásban és a magyar műszaki alkotók** 12
*A szerző az 1990. szeptember 21.–1991. február 3. között rendezett, a címen megadott témájú kiállítás alapján mutatja be a magyar műszaki alkotók munkásságát.
A cikknek különös jelentőséget ad a közelgő Expó is.*
- Dr. Kulcsár T.: Kettősmodulusú anyagi viselkedés a rugalmasságtanban** 17
A szerző irodalmi áttekintést ad a húzás-nyomás esetén eltérő rugalmassági modulussal rendelkező anyagok mechanikai viselkedését leíró modellekről. Kontinuummechanikai elvek alapján ismerteti az anyagtörvényt, s bemutatja, hogy határesetben a modell visszaadja a jól ismert Hooke-törvényt.
- Farkas-Galántai-Jármai: Hegesztett rácsos csőszerkezetek optimális méretezése** 23
Az optimális méretezés célja meghatározni a K-rácsoszerű, párhuzamos övű, hézaggal kialakított csomópontú, négyzetes és körös szelvényű rudakból hegesztett rácsos tartó optimális szerkezeti magasságát és az optimális rúdszelvény-méreteket. Folytonos változók az öv- és rácsrudak szélessége és vastagsága. A célfüggvény a teljes tartó térfogata (súly). A méretezési feltételek a nyomott rudak kihajlására, a hegesztett csomópontok statikus szilárdságára és geometriai korlátozásokra vonatkoznak. Az illusztratív számpéldában a szekvenciális kvadratikus programozási módszerre Zhou és Tits által kidolgozott szoftver, valamint a Hillclimb módszer került alkalmazásra.
- Dr. Kadocsa Gy.: A Szerszámgépipari Művek a privatizáció útján** 26
*Van-e még Magyarországon szerszámgépipar?
Ez a kérdés naponta hangzik el. A cikk erre igyekszik választ adni a SZIM társaságok bemutatásával a piacképes illetve fejleszhető termékcsaládok, a szakmai képesség, adottság meglétére alapozva. Mint írja: a lehetőség ma még nem tűnt el.*
- Horváth F.-né dr.: Feszültségintenzitási tényezők numerikus számítása** 31
A cikk röviden ismerteti a lineárisan rugalmas törésmechanikában alkalmazott feszültségintenzitási tényezők numerikus számítási lehetőségeit síkbeli feladatokra, melyet egy konkrét példa bemutatásával illusztrál. Összefoglalásként megállapítható, hogy a végeelem módszer alkalmazásával a repedés-csúcs környezetében kialakuló mechanikai állapot vizsgálatán kívül lehetővé válik a repedés törésmechanikai szempontból történő értékelése is.
- Dr. Horváth S.–Dr. Palásti Kovács B.: Speciális érdességi és hullámossági jellemzők** 36
Működő felületek leírása és matematikai meghatározása a hazai minőségellenőrzési gyakorlatban még kevésbé ismert. Szerzők foglalkoznak a francia autóiparban használt felület-egyenetlenségek mérésének ismertetésével. A felület kiértékelésének alapja a torzítatlan profiljel. A tapintórendszer megválasztásának meghatározó jelentősége van. Foglalkoznak a szerzők a motíffokkal és azok kombinációival, definiálják a fogalmakat, elemzik a profil jellegzetességeit kimutató függvényeket. Ismertetik a hannoveri egyetemen kidolgozott felületi paramétereket is.

Hegesztett rácsos csőszerkezetek optimális méretezése

Dr.Farkas József* Dr.Galántai Aurél** Dr.Jármai Károly***

1. Bevezetés

Az optimális méretezés szintézis, amely az analitikai eredmények és gazdaságossági szempontok együttes figyelembevételével lehetővé teszi a szerkezettervező számára, hogy a legalkalmasabb szerkezetvariánst kiválassza és matematikai módszerekkel érjen el súly- és költségmegtakarítást.

Az optimális méretezés objektív alapot ad a szerkezetváltozatok összehasonlítására. Az optimáló program fő részét képezi a szerkezettervezési szakértői rendszereknek.

E tanulmány célja az optimális méretezés alkalmazásának bemutatása egyszerű szerkezetmodellen, a Zhou és Tits (1991) által kifejlesztett új szekvenciális kvadratikus programozási módszer segítségével.

A korszerű gyártástechnológia lehetővé teszi olyan vékonyfalú szelvények gyártását, amelyek helyi horpadásra is ki vannak használva és így jelentős súlycsökkenést eredményeznek. A vékonyfalú szelvények közül főként a zárt kör-, négyzet- és négyszögcsövek alkalmazhatók előnyösen teherviselő szerkezetekben, mert jobbabb a stabilitási tulajdonságaik.

A csőszerkezetek fő alkalmazási területei: tengeri olajfúró állomások szerkezetei, magasépületek vázai, rácsos térlefedő szerkezetek, rácsos hidak, járművázak, oszlopok, tornyok. Különösen a tengeri platformok és az épületvázak tekintetében végeztek az utóbbi időben igen sok kísérleti és elméleti vizsgálatot és ma már korszerű nemzetközi tervezési irányelvek teszik lehetővé a biztonságos méretezést.

A rácsos szerkezetek igen sok típusa tervezhető a legváltozatosabb topológia, geometria, rúdszelvények, csomópontok, anyagkombinációk, gyártástechnológia alkalmazásával. Az alkalmazási terület szerint sokféle terhelés veendő figyelembe, főként a statikus és a váltakozó igénybevétel különböztetendő meg.

A Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding - IIW/XV. bizottsága - hegesztés-tervezés-keretében igen aktívan működő XV-E albizottság (csőszerkezetek) kidolgozta a csőszerkezetek tervezési irányelveit. Statikus terhelésű szerkezetekre részletes tervezési szabályokat tartalmaz a *Design Recommendations* (1989), melynek fő részei szerepelnek az *Eurocode 3* (1990) európai acélszerkezeti szabványtervezetben is.

*egyetemi tanár, a műszaki tudomány doktora, Miskolci Egyetem, Szállítóberendezések Tanszéke

**egyetemi docens, intézeti igazgató, a matematika tudomány kandidátusa, ME, Matematikai Intézet

***egyetemi docens, a műszaki tudomány kandidátusa, ME, Szállítóberendezések Tanszéke

A váltakozó igénybevételű szerkezetekre is állítottak össze tervezési irányelveket (*Recommended fatigue design*, 1985), ezek továbbfejlesztése folyamatban van. A köröcsövekből hegesztett szerkezetek csomópontjainak tervezési irányelveit statikus terhelésre a TÜV Rheinland kiadásában három nyelven publikálták (Wardenier 1991) és további füzetek megjelentetését tervezik a Csőszerkezetek Nemzetközi Fejlesztési Bizottsága (CIDENT - Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire) szerkesztésében.

Az IIW XV-E albizottság már négy nemzetközi csőszerkezeti konferenciát rendezett (Boston 1984, Tokio 1986, Lappeenranta 1989, Delft 1991), de a csőszerkezetek más konferenciákon is jelentős szerepet kapnak, pl. a tengeri szerkezetek (offshore structures) konferenciáin és igen sok tanulmány jelenik meg a szerkezettervezési folyóiratokban (Zhin-walled Structures, Computers and Structures, Journal of Structural Engineering USA, Journal of Constructional Steel Research, Engineering Structures stb.)

Az optimális méretezés során olyan szerkezeti megoldást keresünk, amely minimálja a célfüggvényt és kielégíti a méretezési feltételeket.

Az optimális méretezés három főfázisa: 1. előkészítés, analízis, a szerkezetvariánsok megválasztása, a méretezési feltételek és célfüggvény(ek) megfogalmazása; 2. matematikai korlátozások függvényminimálás; 3. értékelés, összehasonlítások, tervezési irányelvek, szakértői rendszerek kidolgozása.

A célfüggvény kifejezheti a költséget, súlyt, térfogatot, keresztmetszet-területet. A súlyminimálás egyszerűbb, mint a költségminimálás, mert a költség tényezők erősen változnak országok és gyárak szerint is. A súlyminimálás volt a kiinduló fázisa az optimális méretezésnek a repülőgépszerkezetek területén. Ma is alapvető szerepe van a súlyminimálásnak, de fontos a költségminimum keresése is a gazdaságosság szempontjából a többi iparágban is. Pl. a hegesztési költségek jelentős szerepet kapnak a bordázott lemezek gazdaságos tervezésénél.

A méretezési feltételek szilárdsági, stabilitási, fáradási, rezgési korlátozások, továbbá gyártási korlátozások, pl. méretkorlátozások, geometriai megkötések.

A rácsos csőszerkezetek optimális méretezésénél több speciális szempontot kell figyelembe venni. Rácsos tartók optimalálásánál általában a rudak keresztmetszeti területeit vesszük ismeretleneknek. A csőszerkezeteknél ez nem megfelelő, mert speciális geometriai és méretkorlátozási feltételeket (érvényességi tartományokat) kell kielégíteni, amelyek az egyes szelvényméretekre (átmérő, szélesség, vastagság) vonatkoznak. Ezért a köröcsö-

veknél az átmérő és vastagság, a négyzetcsöveknél a szélesség és vastagság szerepel ismeretlenként.

A rácsos tartók optimalizálásának további specialitása, hogy nem célszerű minden rudat más szelvényűre tervezni, mert ez túlságosan bonyolulttá tenné a gyártást. Ezért a szerkezetet olyan blokkokra bontjuk, amelyekben a rudak szelvényei azonosak. Így csökken az ismeretlenek száma és egyszerűsödik a gyártás.

Az alkalmazandó szelvények gyártott méreteit több szabvány írja elő, legcélszerűbb az ISO 4019 nemzetközi szabványt alkalmazni.

Az optimalizálás során a szelvényméretek az ismeretlenek, de a rácsos tartó geometriáját illetve topológiáját is lehet optimalizálni, így pl. a párhuzamos övű tartók szerkezeti magassága is lehet ismeretlen.

A szelvényméretek lehet folytonos vagy diszkrét változókként kezelni. E tanulmányban folytonos függvényeket kezelő programozási módszert alkalmazunk. Az így kapott nem kerek ill. nem járatos méretű szelvényeket kerekítés nélkül használjuk pl. összehasonítási célokra, viszont a gyakorlati tervezéshez utólag kerekíteni kell ezeket pl. az ISO 4019 által megadott szelvények szerint. E tanulmányban nem térünk ki a kerekítésre, amely utólagos diszkrétizáló programrészsel végezhető el.

2. Az FSQP optimalizálási programcsomag leírása

Az FSQP 2.3. verziószámú FORTRAN nyelven írt programcsomag JIAN L. ZHOU és ANDRE L. TITS (Electrical Engineering Department and Systems Research Center. University of Maryland, College Park, MD 20742) munkája.

Az FSQP (Feasible Sequential Quadratic Programming) v. 2.3. programcsomag olyan egy és többcélú (minimax) programozási feladatok hatékony megoldását teszi lehetővé, amelyekben általános egyenlőtlenség alakú és lineáris egyenlőség alakú feltételek fordulnak elő.

2.1. Az FSQP programcsomaggal megoldható feladatok

Az FSQP programcsomag lényegében két fajta feladat megoldására alkalmas. Az alapfeladat alakja a következő:

$$(P) \quad \min \max \{f_i(x)\} \\ x \quad i \in I^f \\ b \leq x \leq b_u \\ g_j(x) \leq 0, \quad j=1, \dots, n_j \\ g_j(x) = \langle c_{jn_j}, x \rangle - d_{j-n_j} \leq 0, \quad j=n_1+1, \dots, n_t \\ \langle a_j, x \rangle = b_j, \quad j=1, \dots, e.$$

ahol $I^f = \{1, \dots, n_f\}$, $x \in R^n$ megengedett tartomány, $b \in R^n$ alsó korlát, $b_u \in R^n$ felső korlát, $a_j \in R^n$, $b_j \in R$, $j=1, \dots, e$, az $f_i: R^n \rightarrow R$ ($i=1, \dots, n_f$) célfüggvények simák,

a $g_j: R^n \rightarrow R$ ($j=1, \dots, n_j$) feltételei függvények nemlineárisak és simák, $c_j \in R^n$, $d_j \in R$, $j=1, \dots, n_t$.

A másik feladattípus, amely az FSQP programcsomaggal megoldható, lényegében az első (P) feladat variánsának tekinthető:

$$(PL_{\infty}) \quad \min \max \{f_i(x)\} \\ x \quad i \in I^f \\ b \leq x \leq b_u \\ g_j(x) \leq 0, \quad j=1, \dots, n_j \\ g_j(x) = \langle c_{jn_j}, x \rangle - d_{j-n_j} \geq 0, \quad j=n_1+1, \dots, n_t \\ \langle a_j, x \rangle = b_j, \quad j=1, \dots, e.$$

Mint látható itt csak a célfüggvényben van változás. A (P) optimalizálási feladat az f_i célfüggvények maximumát (felső burkolóját) minimalizálja. A (PL_{∞}) feladat pedig tkp. a célfüggvények abszolút értékének maximumát (felső burkolóját) minimalizálja.

2.2. A FSQP eljárás

Az eljárás matematikai alapjait E.R. Panier és A.L. Tits (1989) cikke alapján ismertetjük az előző szakaszban ismertetett feladatnál egyszerűbb

$$(P) \quad \min f(x) \\ x \in X = \{x: x \in R^n, g_j(x) \leq 0, j=1, \dots, m\}$$

esetre, hol $f: R^n \rightarrow R$, $g_j(x): R^n \rightarrow R$ ($j=1, \dots, m$) sima függvények. Ezt egészítjük ki később azokkal a továbbfejlesztésekkel, amelyek az FSQP v. 2.3. programcsomagban kerültek alkalmazásra. Hesse-mátrixának (H) egy szimmetrikus és pozitív definit becslése az x_k helyen. A szekvenciális kvadratikus programozás egy iterációja ekkor a következő:

$$\text{Először számítsuk ki a } d^0 \text{ irányvektort a} \\ \min \frac{1}{2} \langle d^0, H d^0 \rangle + \langle \nabla f(x_k), d^0 \rangle$$

$g_j(x_k) + \langle \nabla g_j(x_k), d^0 \rangle \leq 0, \quad j=1, \dots, m$ kvadratikus programozási feladat megoldásaként.

Minimalizáljunk a d^0 irány mentén.

Olyan x_{k+1} új közelítést keresünk, amelyre teljesül, hogy

$$x_{k+1} \in X, \quad f(x_{k+1}) \leq f(x_k).$$

A most vázolt eljárásnak két komoly nehézsége van: az egyik a $g_j(x_k) + \langle \nabla g_j(x_k), d^0 \rangle \leq 0, \quad (j=1, \dots, m)$ feltételek lehetséges inkonzisztenciája, a másik pedig az iránymenti minimalizálás (kilépési feltételeinek) alkalmas megválasztása. Az f a d^0 irányában csökkenő az x_k pontban. Előfordulhat azonban az is, hogy d^0 nem megengedett irány az x_k pontban, mert az aktív feltételekre $\langle \nabla g_j(x_k), d^0 \rangle = 0$ fennállhat. Ha d^0 megengedett, de a minimumhely közelében vagyunk, akkor előfordulhat, hogy nem lehetséges egy teljes lépést tenni. Ez az eljárás (szuperlineáris) konvergenciáját rontja le.

A szekvenciális kvadratikus programozás előbbieken jelzett nehézségeit oldja meg Tits és munkatársainak az FSQP programokban megvalósított eljárása.

Algoritmus

Paraméterek: $\alpha \in (0, 1/2)$, $\beta \in (0, 1)$.

Adatok: $x_0 \in H$, $H_0 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ szimmetrikus és pozitív definit.

0. lépés: Legyen $k = 0$.

1. lépés: A kutatási ív meghatározása.

1. Számítsuk ki a d^0 irányt a

$$\min_{d^0} \langle d^0, H_k d^0 \rangle + \langle \nabla f(x_k), d^0 \rangle$$

$$g_j(x_k) + \langle \nabla g_j(x_k), d^0 \rangle \in 0, \quad j = 1, \dots, m$$

kvadratikus programozási feladat megoldásaként.

Ha $d = 0$, akkor stop.

ii. Legyen $d = d^1(x_k)$, $p_k = p(d)$ és $d_k = (1-p_k)d + p_k d^0$

iii. Legyen $d_k = d(x_k, H_k)$.

2. Lépés: Imenti kutatás (minimálás). Számítsa ki az első $t_k \in \{1, \beta, \beta^2, \dots\}$ számot, amelyre teljesül

$$f\{x_k + t_k d_k + t_k^2 d_k\} \leq f(x_k) + \alpha t \langle \nabla f(x_k), d_k \rangle$$

és

$$g_j(x_k + t_k d_k + t_k^2 d_k) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m.$$

3. lépés: Update. Számítsuk ki az $L(x, \lambda)$ Lagrange-függvény egy új, szimmetrikus és pozitív definit H_{k+1} közelítését. Legyen $x_{k+1} = x_k + t_k d_k + t_k^2 d_k$ és $k = k+1$ Menjünk az 1. lépésre.

2.3. Az FSQP programcsomag rövid leírása

A programcsomag az előző szakaszban leírt, meglehetősen bonyolult algoritmust valósítja meg számos továbbfejlesztéssel. Ezek közül az alábbiakat kell kiemelni.

Ha az x kiinduló közelítés nem megengedett megoldás, akkor a program generál egy megengedett induló megoldást úgy, hogy minimálja a feltételi függvények maximumát.

Az előző szakaszban az iránymenti keresés olyan Armijo-Goldstein típusú keresés volt, amely az $f(x_{k+1}) \leq$

$f(x_k)$ monoton csökkenést írja elő. Ezt valósítja meg az FSQP-AL nevű eljárás.

Az FSQP-NL nevű eljárás nem monoton típusú iránymenti keresést tesz lehetővé (Grippo-Lampariello-Lucidi féle keresés). Ennek lényege az, hogy a függvény csökkenését legfeljebb négy iterációs lépésen belül írja elő.

Mindkét esetben az eljárás konvergenciája szuperlineáris.

Az FSQP programcsomag a kvadratikus programozási (rész) feladatok megoldására K. Schittkowski QLD nevű kvadratikus programcsomag az FSQPD.FOR és a QLD.FOR programokból áll. A programcsomagot felhasználó program szerkezete (egy programot feltételezve) a következő kell, hogy legyen

PROGRAM Programnév

CALL FSQPD

END

Célfüggvényeket megadó szubrutin

Feltételek értékeit megadó szubrutin

Célfüggvények gradienseit megadó szubrutin

Feltételi függvények gradienseit megadó szubrutin

Főprogram vége

Az FSQPD rutin automatikusan meghívja a QLD rutint. Az FSQPD programnak van olyan opciója is, amikor a célfüggvények, illetve afeltételi függvények deriváltjait numerikusan számolja. A D betű a dupla pontosságú verzióra utal. Az FSQPD.FOR FORTRAN forrásnyelvű rutin hossza mintegy 2080 sor (77KB), a QLD.FOR eljárás hossza pedig 1170 sor (32 KB). Az FSQPD programcsomagot SUN 4/SPARCstation 1 gépen tesztelték UNIX operációs rendszer alatt.

Az eljárás működik MS-DOS operációs rendszerben a szerényebb teljesítményű IMB PC XT/AT 386 gépeken is az MS FORTRAN 5.0 fordító programmal. A nagy fordítási idő miatt azonban célszerű object fájlkat készíteni az FSQPD.FOR és QLD.FOR programokból és az FL/... főprogram.for FSQPD OBJ QLD.OBJ opciót használni.

(Folytatjuk)