FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2003. március 21-22.

ÖNTVÉNYEK DERMEDÉSÉNEK VÉGES-ELEMES SZIMULÁCIÓJA

Molnár Dániel

Abstract

The computer simulation has become a more and more applied tool of casting fabrication and design in the past few years. The current casting programs are different from each other in creating of geometries, in calculation methods, in evaluation of results and in technology supporting methods. The engineer planning programs can quicken and make reliable the work with the part tasks (e.g. planning of gating and cooling systems) but couldn't substitute the simulation programs which can check the results. The paper reviews the purpose of simulation, the justification of the using of Finite Element Method, the thermophysical basics of Finite Element Method and by an example, shows the simulated solidification of a casting.

A számítógépes szimuláció az utóbbi években a korszerű öntvénygyártás és -tervezés egyre nagyobb mértékben alkalmazott segédeszkövévé vált. Az öntészetben elterjedt programrendszerek az öntvény- és formageometria létrehozásában, a számítási feladat megoldási módszerében, a kapott eredmények kiértékelésében és a technológiai feladat megoldását elősegítő szolgáltatásokban lényegesen különböznek egymástól. A mérnöki tervezőprogramok használata a részfeladatok megoldásával (pl. a beömlő, vagy hűtőrendszer tervezése) meggyorsítja és megbízhatóvá teszi a technológiai tervezést, de nem helyettesíti az ezeket kiegészítő és a kapott eredményeket ellenőrző szimulációs programok alkalmazását. A dolgozat ismerteti a szimuláció célját, a véges-elemes szimuláció alkalmazásának indoklását, a véges-elemes számítási rendszer hőfizikai hátterét és egy példán keresztül bemutatja egy adott öntvény dermedésének szimulációját.

A szimuláció célja

A szimulációs modellek kidolgozása és az azokon végzett kísérletek alkalmasak létező, vagy hipotetikus dinamikus rendszerek vizsgálatára, amelynek során a vizsgált rendszer egyes aspektusait számokkal vagy szimbólumokkal reprezentálhatjuk oly módon, hogy azok könnyen kezelhetők legyenek és elősegítsék a rendszerek tanulmányozását és kiértékelését.

Ha az alábbi feltételek adottak, akkor az olvadt fém kísérleti iterációját szignifikánsan lehet csökkenteni, és elsőrendűen lehet alkalmazni folyamatok jóváhagyásához.

A formatöltés és a dermedés modellezésének az alábbi céljai lehetnek: előre jelezni a beömlő, tápfej és öntési design hatását a kialakuló áramlásra, előre jelezni az oxid-besodródást és az egyéb áramlás okozta hibákat, előre jelezni a hőmérséklet eloszlást az öntés közben és után a sokkal pontosabb dermedési analízishez, előre jelezni a dermedési morfológiát, előre jelezni a zsugorodási üreget és az azt kísérő egyéb hibák kialakulását, előre jelezni a dermedési időt és előre jelezni az erő-feszültség viszonyokat.

A formatöltést ún. primer programmal lehet szimulálni. Ekkor első közelítésben a Navier-Stokes áramlási egyenletet alkalmazzuk, mellyel egy kétegyenletes turbulencia modell írható le. Ez a közelítés az összes fontos áramlási karakterisztika számítására alkalmas (pl. viszkozitás, sűrűlódás, Reynolds szám stb.). Ezen algoritmusnak a kontinuitás, az időtényező megőrzése és az energia egyenlete képezi az alapját. [1]

A véges-elemes szimuláció alkalmazásának indoklása

A geometriai alak pontos közelítése érdekében véges-elemes módszert (FEM) alkalmazunk, ami alapvetően fontos a szimuláció pontossága szempontjából. A modellezés során a programnak számításba kell vennie olyan jelenségeket, mint pl. a sarkok fokozott mértékű felhevülése, és minden egyéb olyan termikus hatás, amely a formaüreg geometriájából adódik. A másik modellezési lehetőség a véges különbség módszere (FDM). A FEM-mel ellentétben olyan egységnyi térfogatokkal közelíti a geometriai alakzatot, amelyek mérete változtatható, de alakjuk nem. Az egyedi csomópontok és vonalak helyzete finomításkor nem változtatható meg. A lépcsőzetes felületi kontúr, és a falvastagság megfelelő meghatározásához szükséges nagy számú véges különbség elem miatt az FDM módszer öntészeti célokra alkalmatlanabb, mint a FEM módszer. A szimulációs program számítási időszükséglete a felhasznált egységnyi térfogatok számától függ. Például vékonyfalú öntvények esetén a véges-elem módszer kevesebb elemmel történő (ezáltal gyorsabb), mégis pontosabb hálógenerálása az 1. ábrán jól látható. [2]

1. ábra

A véges különbség (FDM) és a véges-elemes (FEM) módszerek térkitöltésének összehasonlítása

A szimuláció hőfizikai alapjai

Ha egy testben a hőmérséklet eloszlást számítjuk, a valós hőátadási folyamat közben lejátszódó körülményeket matematikai modellel közelítjük. Az alkalmazott modell a Fourier féle hővezetési egyenleten alapul.

A Fourier egyenlet matematikai levezetése a termodinamika II. főtételeből indul ki. E szerint a hő mindig a magasabb hőmérsékletű helyről adódik át az alacsonyabb hőmérsékletű helyek irányába. A szilárd testek belsejében - hasonlóan a kontinuuméhoz - a Newton féle lehűlési törvény alapján

$$q = -grad(\lambda T) \tag{1}$$

határozható meg a hőáram, illetve ennek megfelelően két tetszőleges belső pont között átadott hőmennyiség. Az x irányban vezetéssel a vizsgált térfogat elembe vitt hőmennyiség a hőmérséklettől független értékű hővezetési tényező feltételezésével:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} dydzd\tau. \tag{2}$$

A térfogategység hőtartalmának megváltozása az x irányú hőterjedés hatására az alábbi kifejezésből képezhető:

$$dQ_x = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy dz d\tau \tag{3}$$

Azonos módon írva fel az y és z irányú hőáramlásból adódó hőmennyiség változást, a térfogatelem hőmennyiségének teljes megváltozása:

$$dQ = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dV d\tau. \tag{4}$$

Másfelől a ρdV tömegű test felé közölt hő a termodinamika I. főtétele szerint a belső energia megváltozásával arányos, így felírható az alábbi összefüggés:

$$dQ = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} dv d\tau. \tag{5}$$

A 4. és az 5. kifejezésekből adódik az alábbi hővezetési alapegyenlet, melyet Fourier féle hővezetési egyenletnek nevezünk. [3]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \tag{6}$$

Adott öntvény dermedésének szimulációja

A SIMTEC/WinCast® véges-elemes szimulációs szoftver a beolvasott CAD geometria alapján, a véges-elemes hálógenerálás elvégzésével, a megadott anyagtulajdonságok és peremfeltételek figyelembevételével végzi el a dermedés szimulációját. A 2. ábrán a programmal készített dermedési képek láthatók, melyek segítségével elvégezhető az öntvény vizsgálata és módosítása. [4]

2. ábra

Adott öntvény szimulációjának hőmérsékletmező képei a likvidusz-szolidusz hőmérsékletközben

A, B, C: a dermedés 10. másodpercében; D: a dermedés 5. másodpercében

Irodalomjegyzék

- [1] Tony Midea, David Schmidt: **1999 Casting simulation software survey**, Modern Casting, 1999 may. p. 47-51.
- [2] www.rwp-simtec.de —> FEM vs. FDM
- [3] Kapros Tibor: **Műszaki Hőtan**, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1997. p. 86-87.
- [4] SIMTEC WinCast® Version 2001 / User's Manual

Molnár Dániel / Okleveles kohómérnök, Ph.D. hallgató

Miskolci Egyetem, Anyag és Kohómérnöki Kar, Öntészeti Tanszék

3515 Miskolc-Egyetemváros

(06-36) 20/495-5928

ontmdani@uni-miskolc.hu