MAGMA5.3 – УНИВЕРСАЛЕН И ЕФИКАСЕН ИНСТРУМЕНТАРИУМ ЗА ОПТИМАЛНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ В ЛЕЯРСТВОТО

Доц. д-р Георгиев, Г. Евт.
Институт по металознание, съоръжения и технологии с център по хидро-аеродинамика, "Акад. А. Балевски"
Българска Академия на Науките, България, g.georgiev@ims.bas.bg

Резюме: Представени са новите инструменти и възможности на последната версия на програмния пакет MAGMA5.3 за симулиране на все по-широк кръг от явления и процеси, които са съществени при формирането на качествата на отливките от различни сплави – феро-сплави, алуминиеви сплави, магнезиеви сплави и др. Акцентирано е върху широкия кръг от леярски методи, поддържани от програмата, както и на новият инструментариум за автоматична оптимизация на леярските технологии.
Ключови думи: компютърна симулация, металолеене, оптимизация на леярските технологии

MAGMA 5.3 - UNIVERSAL AND EFFECTIVE TOOL FOR OPTIMAL FOUNDRY TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

Assoc. Prof. G. Evt. Georgiev, PhD
Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydroaerodynamics Centre "Akad. A. Balevski"
Bulgarian Academy of Science, Bulgarian, g.georgiev@ims.bas.bg

Abstract: The new tools and capabilities of the latest version of the software package MAGMA5.3 are presented. Increasingly wide range of phenomena and processes that are important for the quality of castings of various alloys - ferro-alloys, aluminum alloys, magnesium alloys and others are treated and optimized. Emphasis is on the wide range of casting processes supported by the program, as well as new tools for automatic optimization of casting technology.
Key words: computer simulation, casting formation, optimization of casting technologies

1. Увод

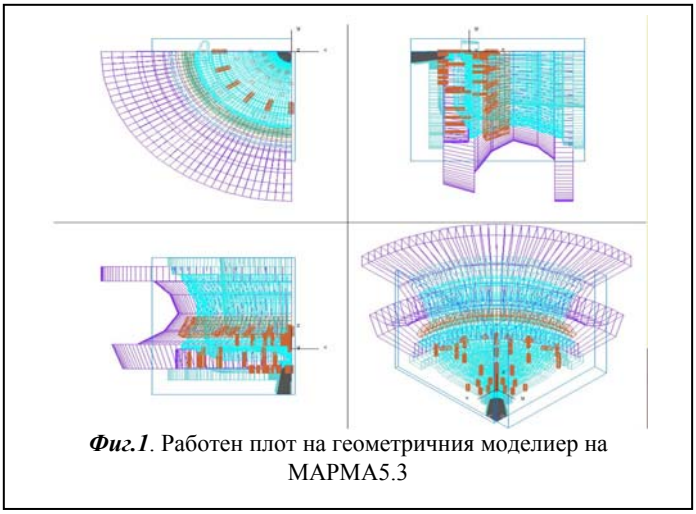
MAGMASOFT е един от световно известните софтуерни пакети за компютърна симулация и оптимизация на широк кръг от леярски технологии. Той отдавна се е превърнал в неразделна част от научно-изследователската, проектантската и развойната дейност, свързана с прецизирането и оптимизирането на леярските технологии, създаването на отливки с високи експлоатационни качества, снижаване на разхода на метал, реализирането на енергетични икономии, рязко съкращаване на времето за цикъла проектиране-реализация, бърза и точна, качествена и количествена диагностика на широка гама от евентуални дефекти[1].

Създаден от фирмата MAGMA Giessereitechnologie със седалище гр.Ахен, Германия[2]. Пакетът се развива и обогатява непрекъснато от сътрудниците на фирмата, посредством разработката на множество научни проекти с различни звена на водещи немски институти като Института по леярство в гр. Ахен, Макс Планк институт и др. Математическите модели, заложени в програмата, се обновяват непрекъснато като в тях биват отразявани повечето от най-съществените научни разработки в областта на материалознанието, били те обект на докторски дисертации или научни публикации. Разширяват се и се усъвършенстват както математическите модели, обхващайки все по-широк кръг от явления и процеси, така и базата данни, която позволява третирането на все по-широк кръг от материали и сплави, а така също и методите на леене. Общопризнат факт е, че MAGMASOFT няма конкуренция по отношение на вградената база от данни в пакета. По такъв начин, тя успешно се конкурира с най-известните и мощни програми от бранша, като ABBACUS, PROCAST, ANYCASTING, NOVACAST, 3D-FLOW, LM-FLOW, PATRAN и др.

В нашата страна и по-точно в Института по металознание при БАН "Акад. А. Балевски" (Имет-БАН) в гр. София се разполага с MAGMASOFT от повече от 10 години. От 2005 година насам, ИМСТЦХА-БАН е изключителен и официален дистрибутор на програмните продукти на MAGMA GmbH за България и разполага с последните им версии. Той е оторизиран както да продава лицензи за ползване на програмите, така и да сключва договори за оказване на технологична помощ и реализиране на конкретни проекти с извършване на симулации и оптимизации на конкретни леярски технологии. Настоящото изложение има за цел да представи най-новите възможности на последната версия на софтуера MAGMA5.3 за компютърна симулация и оптимизация на леярските технологии.

2. Усъвършенствания в геометричния моделиер

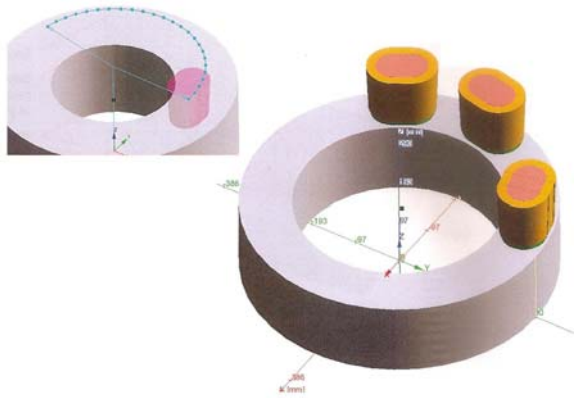
Последното издание на софтуера - MAGMA5.3 поддържа вече почти всички използвани формати за 3D проектиране като са създадени възможности за импортване на геометрични обекти създадени с CAD продукти като ProE, STEP, IDEAS, CATIA, NX, Solid Works и др. – Фиг1.



Фиг.1. Работен плот на геометричния моделиер на MAPMA5.3

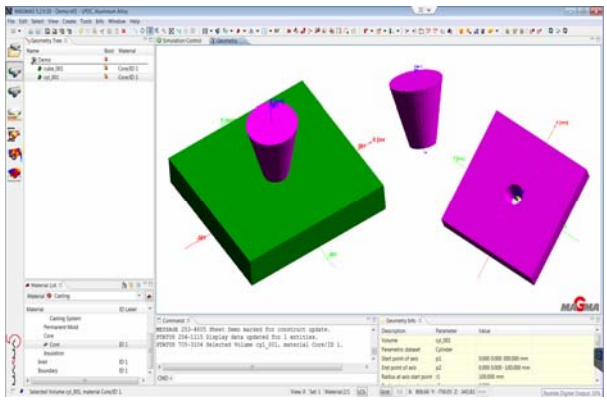
Освен традиционните инструменти за формиране на повърхнини и тела със сложна геометрия, версията предлага функции за бързо

и удобно мултиплициране и/или скалиране на еднакви или подобни обекти по произволни криви и повърхнини (Фиг2), които могат да бъдат зададени както числено (в табличен вид), така и с аналитични формули.



Фиг.2. Мултиплициране на обекти по крива

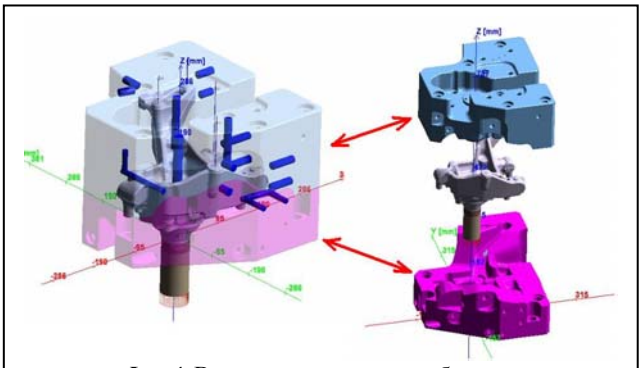
Геометричният моделиер е снабден и с всички видове булеви операции с 3D обекти, давайки възможност за бързо и лесно изграждане и формиране на нови обекти – Фиг.3.



Фиг.3. Булеви операции

Главните преимущества на геометричния моделиер включват:

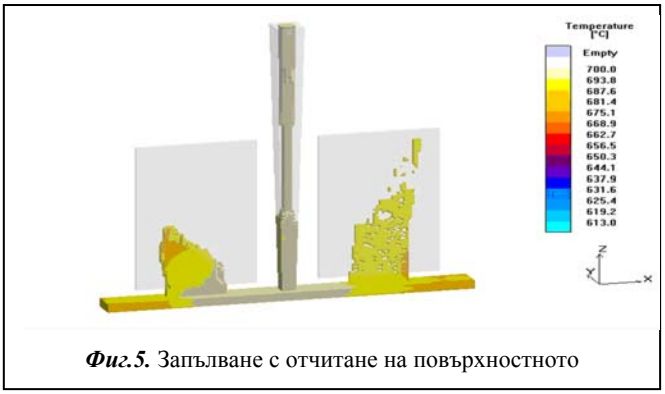
- Визуализация в стила на водещите CAD програми;
- Възможност за работа с булеви операции при геометричните обекти;
- Възможност за четене и експортиране на геометричните обекти;
- Граничното условие на входа на леяковата система се генерира заедно с точките на инструмента "Tracer" автоматично;
- Задаване на контролни точки относно дадена равнина;
- Възможност за създаване на собствена геометрична база от тела и обекти;
- Лесен и удобен достъп до геометричните бази данни на FOSECO;
- Богат инструментариум за оперираане с геометричните обекти: ротации, екструдиране, сечения, мултиплициране и много други.
- Проверка за разглобяемост на инструменталната екипировка, индикация за геометрични грешки и визуализация на разглобяването – Фиг.4
- Предоставя се възможност, геометрий, приготвени на продукти като STEP, IDEAS, ProE и CATIA да се импортват бързо и лесно в геометричния моделиер на MAGMA5.



Фиг.4. Визуализация на разглобяемост

3. Нов, по-усъвършенстван солвер за запълването

В MAGMA5.3 е добавено усъвършенстване на модела на запълването, при което става възможно да се отчитат силни турбулентности, струйни течения и влиянието на повърхностното напрежение при формиране на фронта на течението. На Фиг.5 са



Фиг.5. Запълване с отчитане на повърхностното

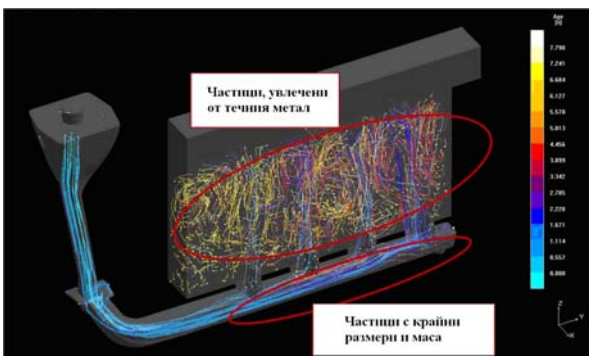
Представени за сравнение са два типа формиране на фронта на запълване:

- Запълване с отчитане на повърхностното напрежение – пластината в ляво;
- Запълване без отчитането му – пластината в дясно.

Добре се вижда, че отчитането на повърхностното напрежение води до по-компактен фронт на запълване, което е и по-типично за течението на реалните стопилки.

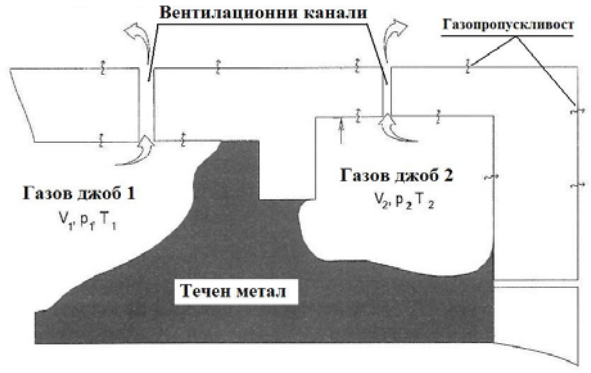
В MAGMA5.3.0.7 е включен и специален модул за запълване на формата, наречен SOLVER5. Като негови основни достойнства следва да се отбележат:

- Подобрено описание на турбулентностите;
- По-реалистично описание на струйни течения;
- Симулиране на движение на частици в стопилката с крайни геометрични размери и маса – Фиг.6.



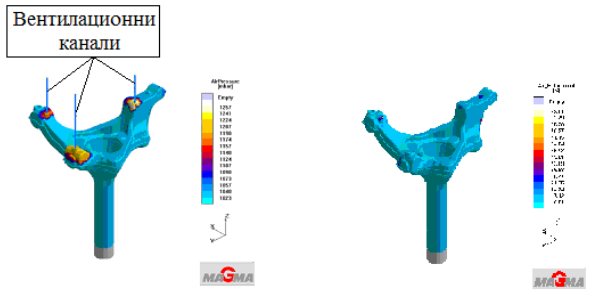
Фиг.6. Инструмент "Tracer" за частици с крайни размери и маса

Солверът на запълването решава както задачата за запълването на кухината на формата едновременно с температурната задача, така и газо-динамичната задача за евакуацията на газа от леярската форма. Третират се както газопропускливостта на пясъчните форми, така й евакуацията на газа чрез вентилационни канали при метални кокили и прес-форми. Схематично третираните процеси са показани на Фиг7.



Фиг.7. Схема на евакуация на газа от кухината на леярската форма. Обща постановка.

При затруднена евакуация на газа могат да се формират нежелани газови джобове, които нарушават хубавата повърхност на отливката и водят до сериозни дефекти и повишен брак. MAGMA5.3 предлага визуализация на газовото налягане и евентуални дефекти от затваряне на въздух в кухината на формата посредством критериите "Air Pressure" и "Air Entrapment" – Фиг.8.



Фиг.8. Локализация на зони, застрашени от затваряне на въздух. Оптимизация посредством вентилационни канали.

Използвайки инструментариумът на софтуера могат да се локализират както подходящите места на вентилационните канали, така и да се оразмерят техните сечения, така че да се постигне отстраняване на дефектите.

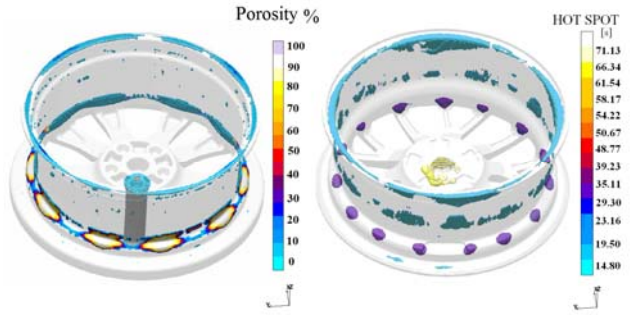
6. По-съвършено описание на кристализацията, прогнозирането на структурата и механичните свойства на отливките

При симулиране на процеса на кристализация MAGMA5.3 освен, че получава температурното поле във всяка точка на системата отливка-форма, симулира редица съпътстващи кристализацията процеси, които са съществени за формиране на структурата, свойствата и качествата на отливките[5,6,7]. Такива са термичната и концентрационната конвекция в течната фаза, дифузията на компонентите в твърдата фаза, фазовите превръщания, възникващите напрежения и деформации, както и много други.

MAGMA5.3 предлага и пресмята специализирани критерии за прогнозиране на качествата (респективно дефектите) на формираната отливка[3,4]. В повечето случаи това са феноменологични критериални функции, които представляват различни комбинации от производни на температурното поле. В най-общ вид те могат да бъдат представени с формулата

$$K = C_0 \left[(\nabla T)^{\alpha} . (\frac{\partial T}{\partial t})^{\beta} . \tau^{\gamma} \right]^{\delta}.$$

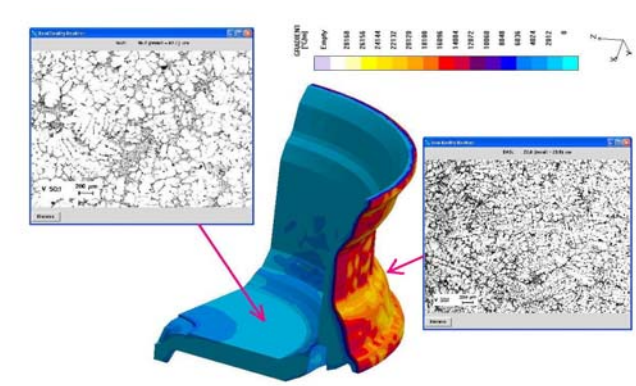
Различни набори на параметрите C_0, α, β, γ, и δ формират конкретна критериална функция.



Фиг.9. „Porosity" ***Фиг.10***. "HotSpot"

Някои от по-известните от тях са показани на Фиг.9 и Фиг.10. Критерият "Porosity" локализира зоните, застрашени от поява на газова пористост Фиг.9). Критерият "HotSpot" (Фиг.10) прогнозира местата, в които следва да се очаква масов дефицит по време на кристализацията.

На Фиг.11 е представен критерият "GRADIENT", който тясно корелира със едрината на формираната структура. Ниските му стойности обуславят формиране на едрозърнеста структура с понижени механични показатели, докато обратно, високите значения водят до издребняване на структурата и по-високи якостни показатели.

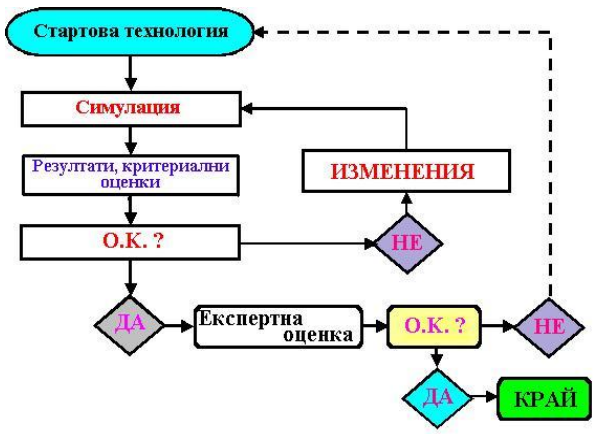


Фиг.11. Критерий „GRADIENT"

7. Автоматична оптимизация

MAGMA5.3 пръв от софтуерните продукти за симулация на леярските технологии предлага освен класическия подход за тяхната оптимизация чрез интерактивно - итеративен процес компютър – оператор, осъществяването на автоматично оптимизиране на компонентите на системата отливка-форма, както и на технологичните параметри. Това се осъществява по схемата, показана на Фиг.12. Тя представя алгоритъмът, по който може да се реализира оптимизация на леярския технологичен процес. Той стартира с евристичен вариант на технологията, преминава през вътрешен цикъл на автоматична оптимизация, осъществяваща отнапред поставени от оператора цели и се

затваря от итеративен кръг, включващ преценката на специалиста – технолог.



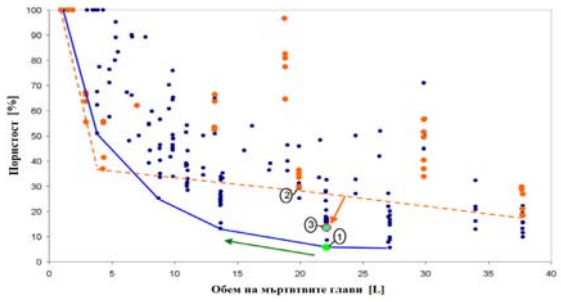
Фиг.12. Оптимизационен алгоритъм

За целите на автоматичната оптимизация е създадена възможност геометричните обекти, както и техните материални свойства да бъдат параметризирани. По този начин се създава възможност софтуерът да варира тези параметри в отнапред зададени интервали – Фиг.13



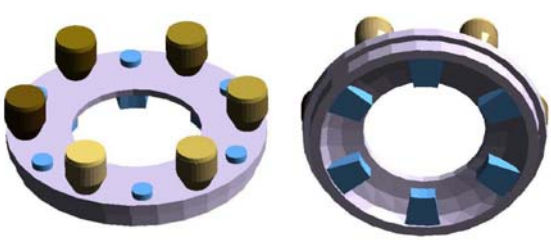
Фиг.13. Вариране на размера на мъртвите глави

При това вариране, софтуерът следи за достигането на поставените цели пред оптимизацията. Например, за случая, показан на Фиг.13, измежду всички разиграни варианти на размера на мъртвите глави, са намерени тези с най-малка пористост в отливката – Фиг.14.



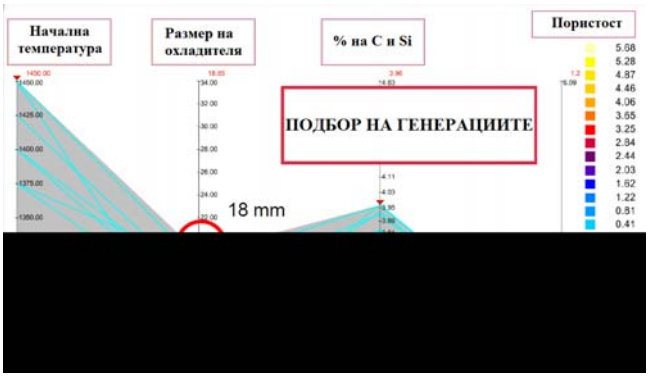
Фиг.14. Минимизиране на критерий "Porosity"

На Фиг.15 е представен подобен случай на примера на друга отливка.



Фиг.15. Отливка „Пръстен"

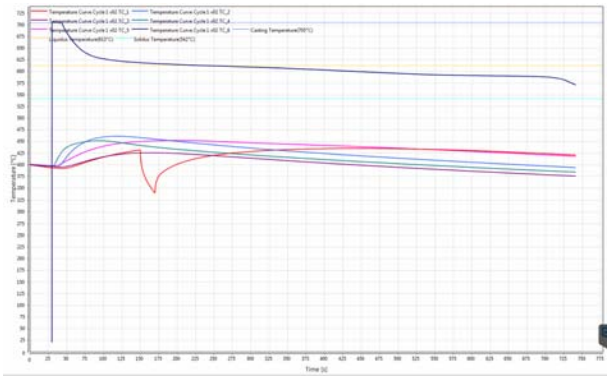
В този случай е вариран броя на охладителите, използвани в технологията. Получените резултати за критерия "Porosity" са представени на Фиг.16.



Фиг.16. Оптимизация на охладителите за отливка "Пръстен"

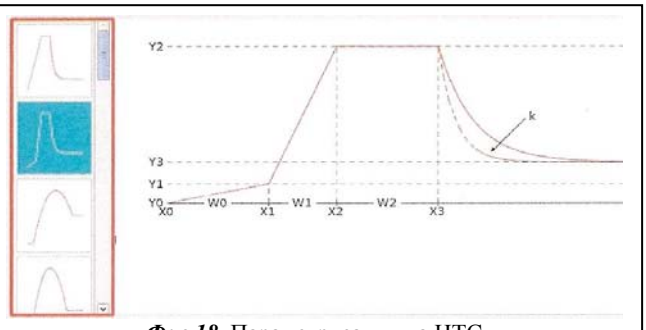
По подобен начин с MAGMA5.3 могат да се решават различни обратни задачи или задачи за идентификация на параметри и функционални зависимости. Така, например, коефициентите на топлопренос между отливка и формообразуващите се явяват сложни функции на температурата и механичното им взаимодействие. Тези коефициенти са много трудни за пряко измерване. Ето защо, задачата за тяхната идентификация придобива важно значение и намира широко приложение.

Отправна точка за решаване на задачата са измерени време-температурни криви в точки от системата отливка-форма. Една такава е показана на Фиг.17.



Фиг.17. Измерени температури

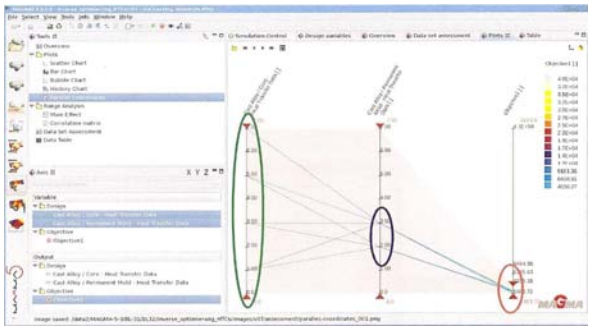
Следва параметризация на коефициента на топлопренос от вида, показан на Фиг.18.



Фиг.18. Параметризация на HTC

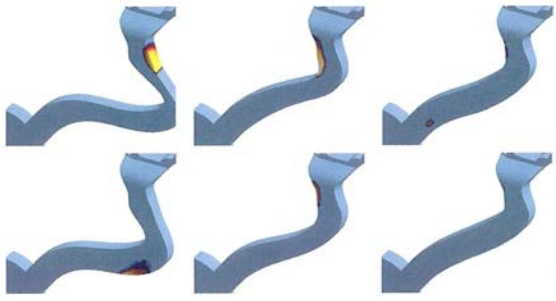
След подходящо вариране на параметрите на кривата от Фиг18, следвайки алгоритъмът от Фиг.12, софтуерът минимизира сумата от най-малките квадрати от разликите между моделните и

експерименталните данни за температурите, както е показано на Фиг.19.



Фиг.19. Идентификация на HTC

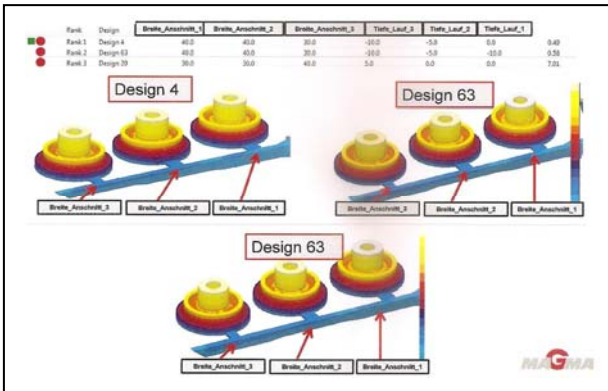
На оптимизация подлежи и леяковата система. Нейните компоненти също могат да бъдат параметризирани и тяхната геометрия варирана. На Фиг.20 е показан пример на оптимизация на питател.



Фиг.20. Оптимизация на питател

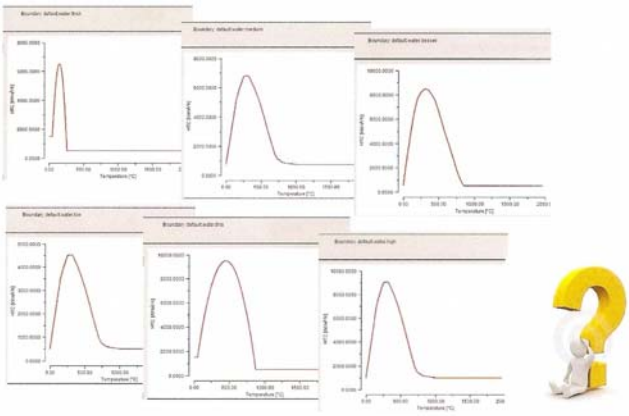
Показана е поредица от геометрични решения, като за всеки от тях е визуализиран "Erosion Criteria". Добре се вижда, че при последния вариант (дясно долу) е елиминирана опасността от ерозия на формата.

Друг подобен пример за оптимизация на леякова система в пясъчна форма е показан на Фиг.21.

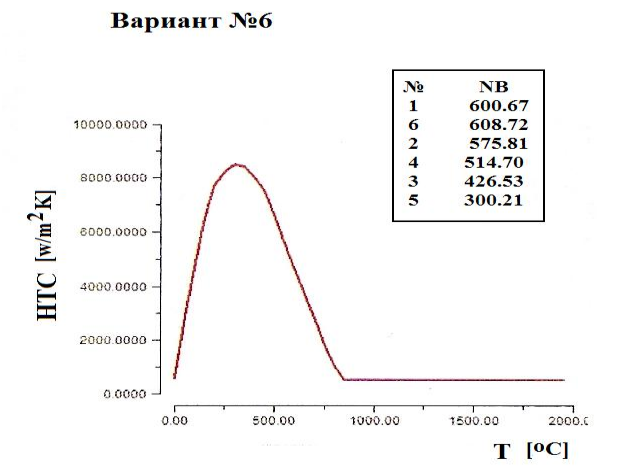


Фиг.21. Оптимизация на леякова система

MAGMA5.3 предлага компютърна симулация на процесите на термообработка за почти всички видове сплави. Тя може да се осъществи както за самостоятелен процес, така и като процес след изваждане на отливката от формата. Включва решаване на температурната задача, пресмятане на напреженията и деформациите по време на процеса, прогнозиране на фазовите разпределения и механичните свойства, формирани след осъществяването на процеса. Тя също подлежи на оптимизация. На Фиг22 са показани варираните режими на закаляване, а на Фиг.23 – намереният оптимум.



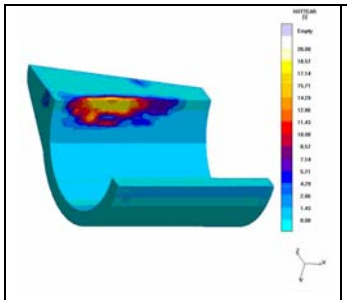
Фиг.22. Варианти на закаляване



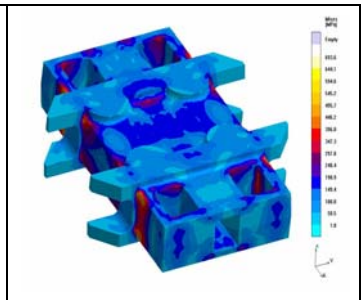
Фиг.23. Оптимален вариант

8. Симулиране на напрежения и деформации

Голяма част от дефектите при отливките се дължат на възникналите по време на формирането им напрежения и деформации. Ето защо, адекватното описание на напрегнато--деформируемото състояние на системата отливка-форма е от първостепенно значение. MAGMA5.3 предлага пластичен и еласто-пластичен модел за описание на напреженията в двуфазната зона (температури между ликвидуса и солидуса на сплавта). На базата на този модел е предложен специален "HOTTEAR" критерий за локализация на зоните, застрашени от горещи пукнатини - Фиг.24. Напреженията под температурата на



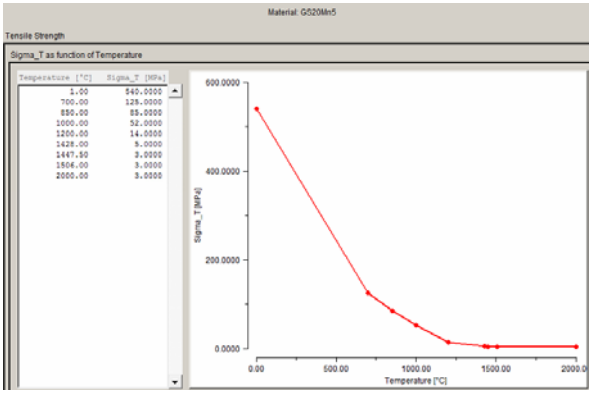
Фиг.24. Критерий "*HOTTEAR*"



Фиг.25. Напрежения в твърдо състояние

солидуса могат да предизвикат студени пукнатини, когато надминат якостта на опън – Фиг.25. Като критерий за появата на

риск от пукнатини следва да се ползва поведението на якостта на опън като функция от температурата. За всеки от материалите от базата данни на MAGMA5.3 тази зависимост е приведена както в табличен, така и графичен вид. Една такава зависимост за конкретен вид стомана е приведена на Фиг.26 за илюстрация.



Фиг.26. Якост на опън за стомана GS20Mn5

В допълнение, софтуерът предлага информация и за остатъчните напрежения в отливката. Нови придобивки в последната версия на пакета в това отношение са:

- Анимиране на напреженията по време на кристализацията и охлаждането до стайна температура;
- Анимиране на деформациите по време на кристализацията и охлаждането до стайна температура;
- Симулиране на контакта на отливката с твърди форми и деформируеми сърца;
- По-съвършен модел на пластичността;
- Възможност за описание на напреженията в зависимост от машинната обработка;

8. Отчитане на допълнителни ефекти

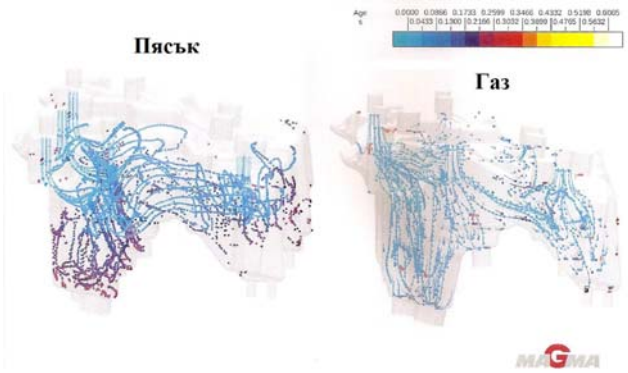
Значително подобрение и повишаване на точността е направено при отчитане на радиационния топлообмен. Това е особено важно при стоманолеенето. Както се вижда от Фиг.27 радиационната компонента има съществено



Фиг.27. Радиационен топлообмен при кокилно леене на стомана

участие в топлообмена както към околната среда, така и между кокилите. Ето защо, правилното й отчитане е от съществено значение за точното симулиране на процеса на формиране на отливките. Тя разбира се, е само компонент в ефективния коефициент на топлопренос към околната среда, заедно с естествената конвекция и евентуален контактен топлопренос.

Към софтуера е добавен и нов иновативен модул, симулиращ формирането на пясъчни сърца по метода с изстрелване. На Фиг.28 е показан инструмента “Tracer”, описващ движението на пясъчните частици и въздуха по време на този процес.



Фиг.28. Симулация на формирането на пясъчни сърца

9. Заключение

Програмният пакет MAGMA5.3 се основава на най-съвременни математически модели на физическите процеси, протичащи при формирането на отливките, което го прави изключително полезно средство за:

- формиране на висококачествени отливки;
- прогнозиране на структурата и механичните качества на изделията;
- оптимизация на широк кръг от леярски технологии;
- оценка и контрол на качеството на произвежданата продукция;
- повишаване на икономическата ефективност на леярските технологии.

Авторът е убеден, че новото поколение на софтуера ще бъде изключително полезен в усилията за подобряване на ефикасността на леярските технологии чрез формиране на изделия с високо качество при минимални материални, енергийни и човешки ресурси.

10. Литература

1. Flemings, M.C., Solidification Processing, NY, Massachusetts Inst. of Technology,1974.
2. Sahm P. R., P. N. Hansen, Numerical Simulation and Modelling of Casting and Solidification Processes for Foundry and Cast-house”, CH-8023, Zurich, CIATF, 1984.
3. Huang, H., J., T. Berry, T.S. Pivonka, The use of Criteria Functions to predict Porosity in aluminum Alloy Investment Castings, 40-th Annual Technical Meeting, Investment Casting Institute, (1992).
4. Popov J. Criteria Functions for Porosity Prediction in Low-Pressure Aluminum Alloy Castings. Journal of Material Science and Technology, No.1, (2002).
5. Стефан Бушев, Анна Манева, Иван Георгиев, Възможност за управление на фазово превръщане при леене “NDT DAYS”„Дни на безразрушителния контрол 2014”, ISSN 1310-3946, гр. Созопол, 14-17 юни, стр.108-109, 2014.
6. Georgiev Georgi Evt., N. Tonchev, Iv. Georgiev, P. Petrov, V. Videv, Computer Optimization of a Technology for Forming a Steel Casting, Engineering Sciences, ISSN 1312-5702, LII, № 2, pp.73-80, 2015.
7. Стефан Бушев, Теоретичен модел на структурообразуване при леене, XXII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE „FOUNDRY 2015”, ISSN: 1310-3946, гр. Плевен, 16-17 април, стр.60-63, 2015.