



## **An Interactive Approach for the Optimization of a Technology for Auto Wheel Formation by Means of Computer Simulation**

Georgi Evt. GEORGIEV, Lenko STANEV, Ana MANEVA,  
Mihail GEORGIEV, Sergei STANEV

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies  
with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. A. Balevski”  
Bulgarian Academy of Sciences, 67 Shipchenski Prohod Blv., Sofia 1574, Bulgaria,  
phone: +359 24626268, e-mail: [g.georgiev@ims.bas.bg](mailto:g.georgiev@ims.bas.bg)

### **Abstract**

A common approach for optimization of casting technologies is presented. The approach is illustrated on an example of the technological solution for the formation of automotive wheel using gas counter pressure casting method (CPC method) but it could be applied with success in die-casting too. For this purpose the latest version of the world-famous software package MAGMA5.3.1 of MAGMA GmbH based in Aachen, Germany is used. The method consists of a series of purposeful changes in the geometry of the casting or moulds, as well as the cooling channels that leads to the reduction of the defects registered with the tools of the software. The process starts with a heuristic solution of technology and after a series of iterations leads to a technological solution with minimal defects according to the criteria functions of the software. It consists of series of computer simulations of filling and crystallization of the casting, which is accompanied with targeted changes in technology based on the analysis and evaluation of the results. A concept of “natural” simulation is introduced. The influence of main technological factors and parameters are studied and analysed. As a result, a technology forming free of defect casting is obtained.

**Keywords:** optimization, casting formation, computer simulation

## **Интерактивен подход за оптимизация на технология за формиране на автомобилна джанта с инструментариума на компютърното симулиране**

Георги Евт. ГЕОРГИЕВ, Ленко СТАНЕВ, Ана МАНЕВА,  
Михаил ГЕОРГИЕВ, Сергей СТАНЕВ

### **1. Увод**

Математическото моделиране и неговата алгоритмизация във вид на компютърно симулиране на сложните процеси, протичащи при формиране на отливки посредством различни леярски методи, бележи вече над тридесет годишна история [1,2,3,4]. Освен основните процеси на запълване на кухината на формата с течен метал [5] и фазовият преход от течно в твърдо състояние [6], компютърното моделиране напоследък все по-често се използва за разработване и получаване на нови материали и сплави [7,8].

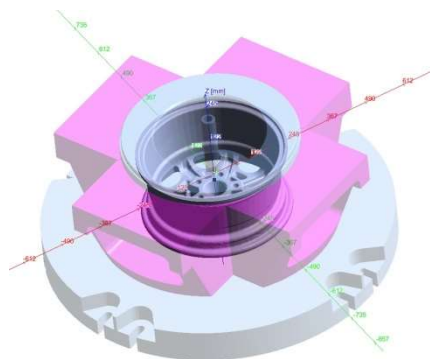
В статията, на базата на разработен авторски подход за оптимизация на леярските технологии [9], е представено изследване на възможностите за редуциране на дефектите на една евристично създадена технология за формиране на автомобилна джанта по метода за леене с газово противоналягане. За целта е използвана последната версия на софтуерния пакет MAGMAsoft, който 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].

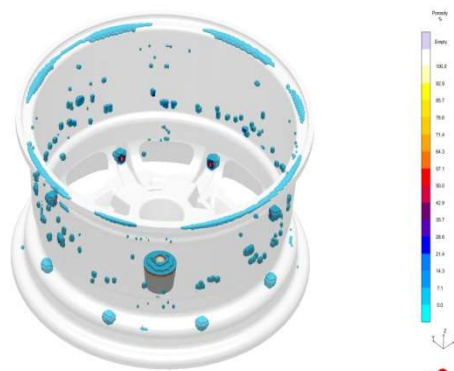
Създаден от фирмата MAGMA GmbH със седалище гр. Ахен, Германия [2]. Пакетът се развива и обогатява непрекъснато от сътрудниците на фирмата, посредством разработката на множество научни проекти с различни звена на водещи немски институти като Института по леярство в гр. Ахен, Макс Планк институт и др. Математическите модели, заложи 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 също така 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.

## 2. Натурална симулация

Под „натурална“ симулация [9] ще разбирате симулация на формирането на отливката във форма с проста геометрия. При нея най-често формата се предполага куб, паралелепипед или прав цилиндър. В последната версия на MAGMAsoft – MAGMA5.3.1 тя се генерира с инструмента „Automatic mold“. Резултатите от такъв тип симулация дават представа за характера на запълването на кухината на леярската форма с течен метал и вида на кристализацията, произтичаща главно от геометрията на отливката. Те очертават и основните евентуални дефекти, дължащи се на геометричните особености и свързаното с тях разпределение на масите в отливката. На базата на анализа на тези резултати се предприемат и първите промени в технологията с цел елиминиране на дефектите. В разглеждания случай вече разполагаме с евристично конструирани форми. Ето защо натуралната симулация е реализирана с тях без използването на допълнителни средства, като например охлаждания.



Фиг.1. Евристична леярска екипировка

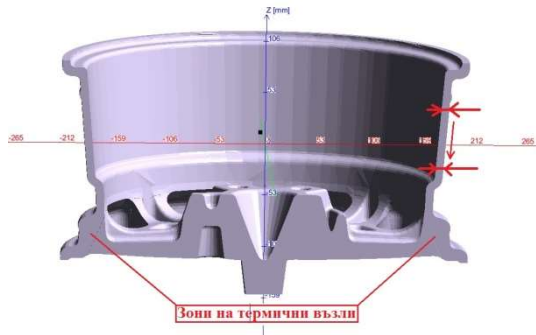


Фиг.2. Критерий “Porosity” при натурална симулация

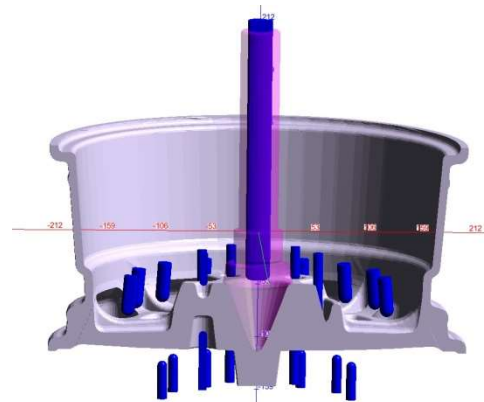
На Фиг.1 е представена отливката и леярската екипировка в 3D. Тя включва плочата на леярската машина, четири странични вложки, долно и горни сърца от стомана X40CrMoV5\_1. Процесът на запълване и кристализация на отливката е симулиран с MAGMA5.3.1 в един цикъл при начални температури 715°C за сплавта на отливката и 350°C за формообразуващите.

Полученият резултат за критерия “Porosity” е представен на Фиг.2. Добре се вижда, че главните проблеми са съсредоточени в термични възли там, където спиците срещат рима и сериозна разпределена пористост в самия рим. Първите са обусловени от разпределението на масите в отливката, а вторите от липсата на монотонно нарастващо сечение на рима от периферията към спиците, което да осигури насочена кристализация в същата посока. Последното добре се вижда на Фиг.3, където е показано сечение на отливката по оста на ротационна симетрия.

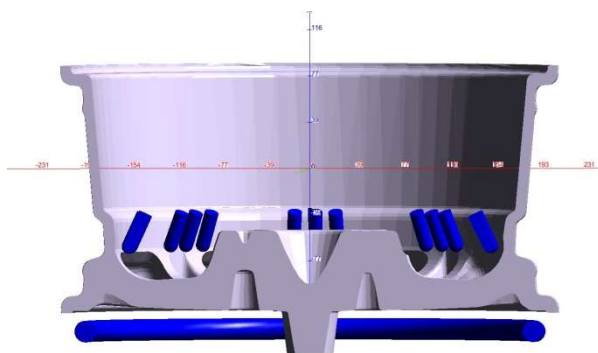
Евристично предвидените от технолозите охлаждания, показани на Фиг.4 имат зони на въздействие напълно различни от проблемните, очертани от Фиг.2. Ето защо при следващ вариант на екипировката бяха въведени допълнителни охлаждания, атакуващи зоните на термични възли, изобразени на Фиг.5.



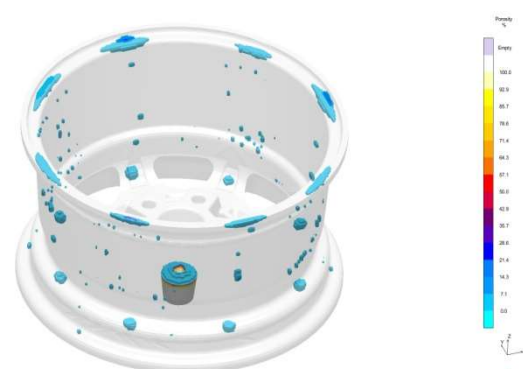
Фиг.3. Сечение на отливката



Фиг.4. Евристично проектирани охлаждания



Фиг.5. Допълнителни водни охлаждания



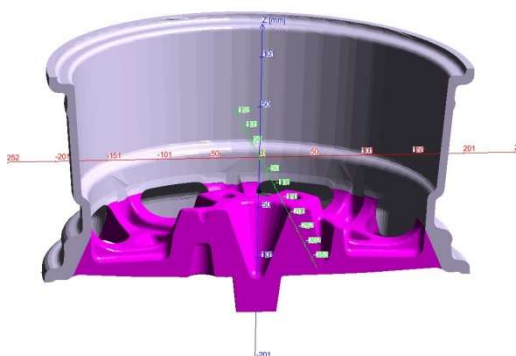
Фиг.6. Критерий “Porosity” при вариант с допълнителни охлаждания

### 3. Вариант с нови охлаждания

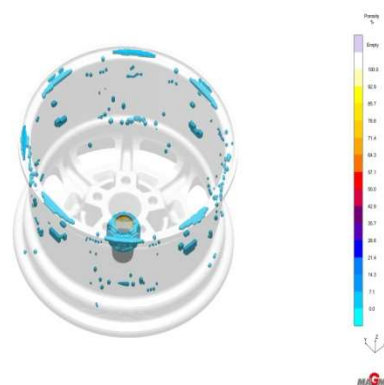
Симулацията с MAGMA5.3.1 на този вариант показва, че допълнителните охлаждания преместват термичните възли в желаната посока (към центъра), въздействат в правилна посока, така че те издребняват, но не са преодоленни – Фиг.6. Тъй като използваните охлаждания са с максимален интензитет, то търсенето на ефикасно решение продължи в друго направление.

### 4. Вариант с диференцирано разпределение на обмзката

При този вариант, новите охлаждания бяха запазени, но бе използван друг ефикасен инструментариум за въздействие върху посоката на кристализацията. Той се състои в нанасянето на различни по топлопроводност и дебелина обмзки по различни части на формообразуващите. Бе осъществен вариант, при който формообразуващите, контактуващи с рима са обмазани с тънка топлопроводна обмзка (например графит), а тези в контакт със сплиците и главината на дгантат с по-дебела, топлоизолационна обмзка. Частите на отливката, взаимодействащи с формообразуващите с различна обмзка са представени на Фиг.7.



Фиг.7. Диференцирано обмазване на формообразуващите

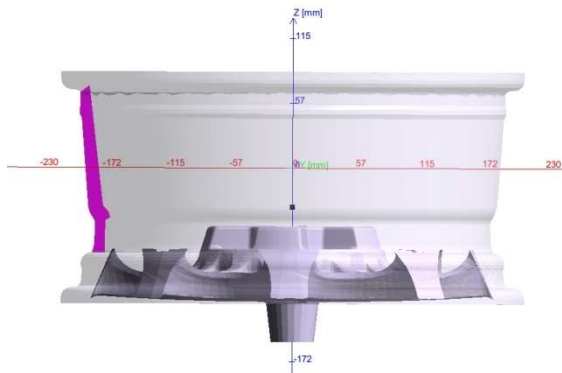


Фиг.8. “Porosity” при диференцирано обмазване на формообразуващите

Разпределението на пористостта в този случай, е показан на Фиг.8 чрез критерия “Porosity”. Добре се вижда, че термичните възли са елиминирани.

### 5. Вариант с корекция на рима

За да се реши проблемът с пористостта в рима бе направена корекция на неговото сечение с добавка, показана на Фиг.9. На Фиг.10 е представен резултатът за критерия “Porosity”, получен с MAGMA5.3.1 за този случай. Добре се вижда, че пористостта в рима е редуцирана почти на 100%.



Фиг.9. Корекция на рима

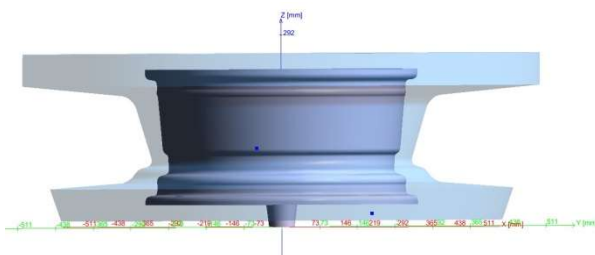


Фиг.10. "Porosity" в резултат от корекцията на рима

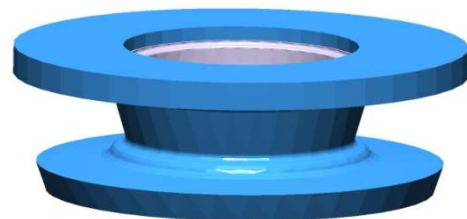
Все пак прави впечатление, малките зони на пористост в горния край на рима нямат ротационна симетрия. Това обстоятелство навежда на мисълта, че липсва ротационна симетрия на охлаждането към формообразуващите в тази зона. Единствените елементи на системата отливка-форма, които нямат такава симетрия са страничните вложки. Ще напомним, че те са представени на Фиг.1 по-горе. Така естествено възниква идеята да се провери какъв би бил ефектът, ако страничните вложки имат ротационна симетрия.

## 6. Вариант със странични вложки с ротационна симетрия.

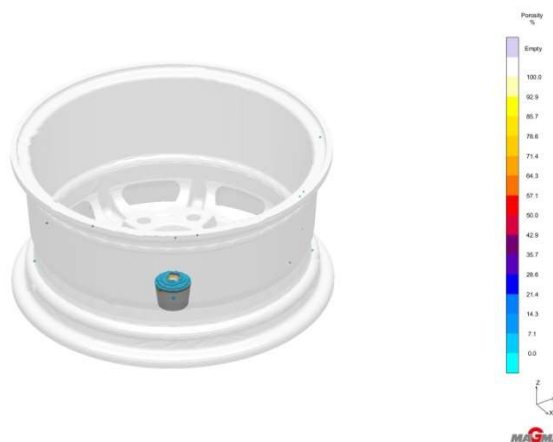
Видът на вложките при този вариант са показани на Фиг.11 и Фиг.12.



Фиг.11. Ротационни странични вложки. Поглед 1



Фиг.12. Ротационни странични вложки. Поглед 2



Фиг.13. Критерий „Porosity“ след влагане на странични вложки с ротационна симетрия

При конкретното технологично решение те биха могли да бъдат реализирани посредством две половини или четири четвъртини. Както се вижда от Фиг.11 големите маси са разпределени срещу зоните, които се нуждаят от по-интензивно охлаждане, а по височината на рима е осъществено възходящо нарастване на масата по височина, което благоприятства насочената кристализация от горе надолу.

Резултатът за критерия “Porosity” в този случай е представен на Фиг.13. Добре се вижда, че с тези промени са елиминирани последните дефекти в отливката.

## 7. Заключение

Авторите се надяват, че с изложеният по-горе подход са илюстрирали достатъчно убедително силата и ефективността на математическото моделиране и компютърното симулиране при усъвършенстването и оптимизацията на леярските технологии. При това оптималното решение е намерено само с цената на няколко виртуални варианта и с разход на не повече от 10-15 часа процесорно време. Разходите за всичко това са на порядъци по-малки в сравнение със случая, когато тези същите варианти биха били разиграни на принципа проба-грешка с конкретни конструкторски решения и реални леярски експерименти.

## 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. Bushev S.M., I.S. Georgiev, V. Valkov. Choice of models to describe the structure of centrifugal casting austenitic alloy. “NDT DAYS” Дни на безразрушителния контрол 2016, June, 2016, Sozopol, 2016, pp.229-232, ISSN 1310-3946.
4. Bushev S. Casting – Micro-models. Proceedings of the XXIV International Scientific and Technical Conference “FOUNDRY 2017”, April 2017, Pleven, Bulgaria, Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering, Industry 4.0, 2017, Vol. 1, Issue 1, pp.68-70, ISSN 2535-017X (Print), 2535-0188(Online).
5. Bushev S. Casting – Micro-models. Proceedings of the XXIV International Scientific and Technical Conference “FOUNDRY 2017”, April 2017, Pleven, Bulgaria, Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering, Industry 4.0, 2017, Vol. 1, Issue 1, pp.68-70, ISSN 2535-017X (Print), 2535-0188(Online).
6. Bushev S. Industrial mathematics – phase transition, scattering, structures. Proceedings of the 11th Annual Meeting of Bulgarian Section of SIAM “BGSIAM’16”, 2016, pp.17-19, ISSN: 1313-3357.
7. Stanev L., L. Drenchev. Advanced light metal matrix composites with homogeneous, graded or local distribution of reinforcement. Proceedings of the 1st VAST-BAS workshop on science and technology, Ha-Long – Vietnam, 2014, pp.173-200, ISBN:978- 604-913-304-6.
8. Sobczak J., L. Drenchev, Metallic Functionally Graded Materials: A Specific Class of Advanced Composites. Journal of Materials Science & Technology, 29, 2013, pp.297-316.
9. Georgiev, G.E. A Method Based on Computer Simulation for Optimization of Casting Technologies, J. of Material Sci. and Technology, Vol. 25, No. 1, 2017, pp. 27-36, ISSN 0861-9786.