

ПРЕСМЯТАНЕ И АНАЛИЗ НА
ОСТАТЪЧНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ
В ЛЯТА ГРЕДА ЗА ЗАДЕН МОСТ НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ

CALCULATION AND ANALYSIS OF THE HEAVY VEHICLE REAR AXLE
CAST BEAM RESIDUAL STRESS AND DEFORMATIONS

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В
ЛИТОЙ БАЛКИ НА ЗАДНЮЮ ОСЬ ГРУЗОВИКА

гл.ас. д-р инж. Николов Н., доц. д-р инж. Лазов Л.
Технически университет – София

Abstract: In this article the residual stresses and residual deformations in heavy vehicle rear axle cast beam are shown and analyzed. These parameters are calculated by computer simulation using the finite element method. It is shown that the residual stresses are higher only in some areas that are labeled and explained. It is also shown that the residual deformations are under the permissible limit. Major source of residual stresses are metal coolers of flanges and the bases of the feeders. An overall heat treatment to remove stresses in the finished product is recommended.

KEYWORDS: STEEL CASTING, RESIDUAL STRESS, RESIDUAL DEFORMATION, FINITE ELEMENT METHOD, COMPUTER SIMULATION.

1. Въведение

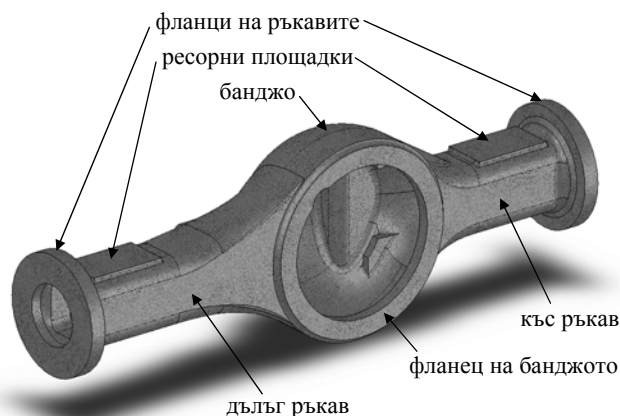
Тежкото автомобилостроене е отрасъл, който поставя големи предизвикателства пред лаярската промишленост. За неговите нужди се произвеждат множество отливки, които се отличават с големи маса и размери, тънки стени и сложна геометрична форма. Тъй като тези отливки влизат в състава на отговорни и тежко натоварени сглобени единици, към тях се поставят високи изисквания от различно естество.

В условията на засилваща се конкуренция на световния пазар, от решаващо значение за всяко успешно производство е достигането на високо качество при минимална цена. Това налага технологиите за производство непрекъснато да се усъвършенстват, като се използват най-новите достижения на науката и техниката.

На фиг.1 е показана отливка, която се произвежда серийно в нашата страна – греда за заден мост на тежкотоварен автомобил. Отливката се състои от централна кухня за главно предаване и диференциала – банджо; къс и дълъг ръкав, през които минават полуосите; фланци на ръкавите – за захващане на колелата; фланец на банджото – за захващане на капак; ресорни площадки. Формата е усложнена от допълнителни опори, част от които се виждат на фиг.1 и 2.

Гредата се отлива гравитационно в пясъчна форма. Разположението на отливката във формата е показано на фиг.2. Отливката 2 се състои от две греди, свързани с обща леякова система. Металът към всяка греда се подава през два питателя. Металът е нисколегирана стомана, която се налива при температура 1580 °C.

Всяка греда има по седем мъртви глави. Шест от тях са закрити (по три на ръкав), а седмата (на банджото) е открита.



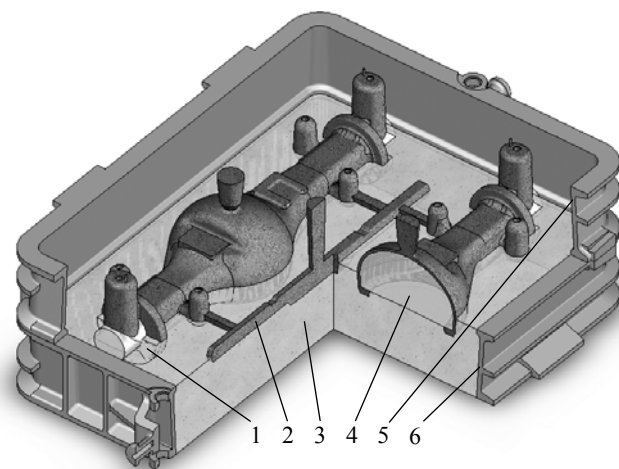
Фиг. 1 Общ вид на готовото изделие

Мъртвите глави са означени и номерирани на фиг.3.

Използват се две леярски каси – горна 5 и долна 6 (фиг.2), запълнени с формовъчна смес 3, която се състои от кварцов пясък и свързващи вещества. Кухините в отливката се оформят с помощта на две леярски сърца 4. За да се избегнат леярските дефекти в сравнително масивните фланци на ръкавите, всеки от тях контактува с метален охладител 1.

Специфичната форма на тази отливка поражда опасност от възникване на разнообразни леярски дефекти – всмукнатини, шупли и пори, пукнатини, изкривявания и др. В хода на дългогодишното производство, проблемите, свързани със структурата на метала, до голяма степен са решени с използването на голям брой мъртви глави и добавянето на метални охладители, които спомагат за постигане на насочена кристализация. В отливката обаче са получават големи остатъчни напрежения, които понякога довеждат до недопустими отклонения от формата и размерите, или до появата на пукнатини.

Компютърното симулиране на леярския процес дава възможност да се получи разпределението на остатъчните напрежения и да се проиграват различни варианти за борба с тях. Днес компютърните симулации се използват масово в леярската практика, като обикновено се употребяват специализирани комерсиални програми [1]. Най-често се симулират процесите на наляване, кристализация и охлаждане на отливката, с цел да се усъвършенства наливната система и системата от мъртви



Фиг.2 Общ вид на отливката и разположение в леярската каса

1 – охладител; 2 – отливка; 3 – формовъчна смес; 4 – сърце; 5 – горна каса; 6 – долна каса

глави. Малка част от тези програми имат модули за пресмятане на остатъчните напрежения и деформации, но цената им е много висока, а възможностите за адаптиране към специфични задачи не винаги са достатъчни [2,3]. Поради тази причина съществуват и многобройни разработки, при които изследователите използват универсални програмни пакети за инженерни анализи, в които създават необходимите изчислителни модели. В настоящото изследване ще бъде използвано едно такова решение [4], при което остатъчните напрежения и деформации се пресмятат с програмен пакет ANSYS, по метод на крайните елементи (МКЕ).

Моделирането на остатъчните напрежения и деформации, които се формират в метална отливка при нейното изстиване е много сложна задача. За точното ѝ решаване трябва да се отчетат голям брой фактори, за които не винаги има достатъчна експериментална информация. Задачата допълнително се усложнява при отливки с големи размери и сложна форма, при които се получава изчислителен модел, съставен от стотици хиляди крайни елементи. Всичко това прави симулацията тежка за пресмятане, дори и с мощна съвременна изчислителна техника.

За да бъдат тези симулации удобни за работа и приложими в лезарското производство, пресмятанията трябва да се извършват сравнително бързо и с наличната техника, което би позволило за кратко време да се проверят различни варианти и да се достигне до оптималното решение. За целта в изчислителните модели трябва да се внесат редица опростявания. Необходим е опит с компютърните симулации и МКЕ, за да се направят необходимите опростявания и идеализации, като в същото време се постигне задоволителна точност. Обикновено се варира с началните и граничните условия, сложността на геометричния модел, гъстотата на мрежата от крайни елементи, дискретизацията на решението по време. Особеностите при моделирането на гредата за мост на товарен автомобил и възможностите за опростяване на задачата са разгледани в [5].

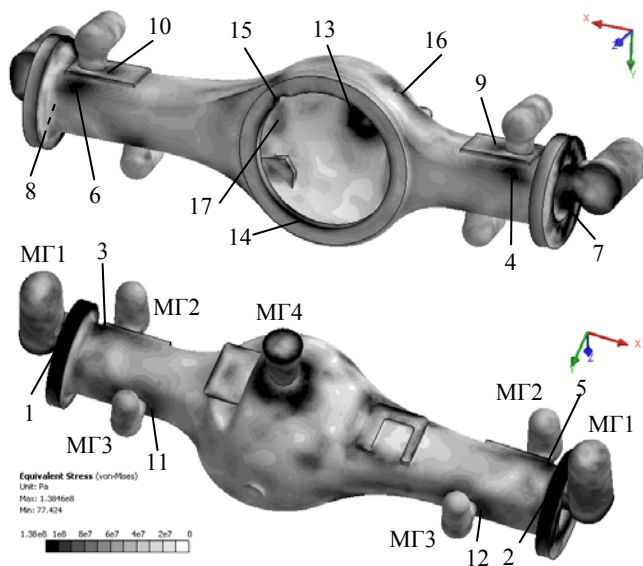
2. Анализ на остатъчните напрежения

Еквивалентните остатъчни напрежения σ_{eq} , които се получават в отливката след окончателното ѝ охлаждане, са показани на фиг.3. На тази фигура са номерирани някои характерни области с високи стойности на напреженията, както и мъртвите глави. За по-добро разбиране на вида на напрегнатото състояние и механизмите на формиране на напреженията, на фиг.4 са показани трите главни напрежения.

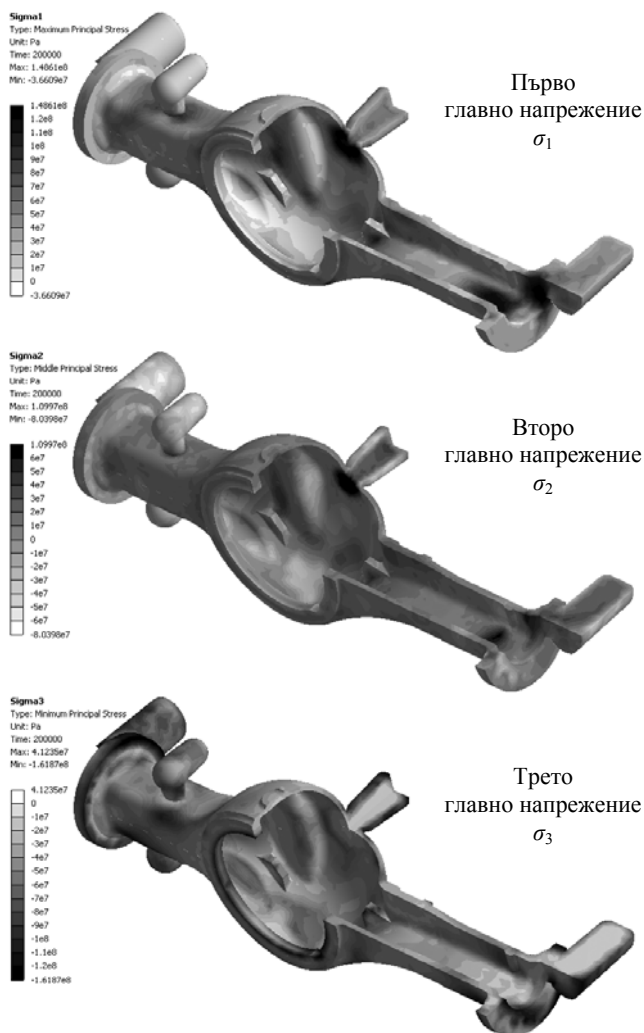
Ако се изключат ръбовете и преходите, получени от опростяването на геометрията, са налице 16 характерни области с високи стойности на напреженията, както следва:

- Периферия на горната половина на фланците – зони 1 и 2 на фиг.3. Еквивалентните напрежения в тези области достигат 120 МПа. Напрегнатото състояние е близко до едномерното (натиск), като стойностите на σ_1 и σ_2 са под 10 МПа. Високите стойности на σ_{eq} в тези зони се дължат на съвместното влияние на охладителите и големите мъртви глави МГ1. След наливане на метала долната част на фланците се охлажда много бързо и сравнително равномерно, а горната остава гореща продължително време, с изключение на периферията, която контактува с формовъчната смес. В резултат периферията се охлажда и свива първа, а впоследствие противодейства на свиването на съседния метал и в нея се формира натиск.

- Основа на мъртвите глави – зони 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13. В тези области напрегнатото състояние е сложно. Напреженията са преобладаващо опъновни, като от вътрешната страна на отливката и трите главни напрежения са по-големи от нула (σ_1 и σ_2 имат значителна големина). Това се дължи на факта, че в тези зони металът се охлажда последен, когато околните обеми имат значителна коравина и противодействат на неговото свиване. Еквивалентните напрежения са от порядъка на 130 МПа в основата на МГ4, и 90-100 МПа в основата на МГ2 и МГ3. От вътрешната страна на фланците в близост до МГ1 (зони 7 и 8) напреженията имат стойности около 125 МПа. Напрегнатото състояние е сложно, с три положителни главни напрежения.



Фиг. 3 Еквивалентни остатъчни напрежения σ_{eq} . Означени и номерирани са мъртвите глави и характерни зони с високи стойности на напреженията.



Фиг.4 Главни напрежения

- Преходи от фланците към ръкавите – зони 3, 4, 5, 6. Типичен концентратор, но изпълнен с голям радиус на закръгление. Високи стойности на напреженията се наблюдават не точно в закръгленията, а по посока на ръкавите. Влияние върху напреженията в тези зони оказват също ресорните площадки и МГ2. Стойностите на еквивалентните напрежения са около 105 МПа. Напрегнатото състояние едномерно (натиск).

- Фланец на банджото. Зоните с високи стойности на остатъчните напрежения са две – дъговидния изрез 15, както и ръбовете 14 срещу него. Еквивалентните напрежения са около 120 МПа. Напрегнатото състояние е едномерно (чист натиск).

- Други. Концентрация на напреженията се наблюдава в редица други преходи, закръгления и остри ръбове. Те няма да бъдат разгледани, тъй като поради опростяване на геометрията получените стойности в тези зони са неточни.

3. Анализ на остатъчните деформации

Съществен фактор при деформиране на отливката е свиването на метала при неговото охлаждане, което води до намаляване на размерите по всички направления. Получените стойности на скъсяването по оста на гредата съответстват добре на експериментално измерените, което показва, че коефициентът на линейно разширение на метала е зададен правилно.

Остатъчните деформации на отливката са показани на фиг.5, с 40-кратно увеличение (с изключение на деформациите по ос x, които са показани само като стойности). Поради асиметрията на отливката, следва да се очакват известни изкривявания, каквито се наблюдават и в действителност. Както се вижда от фигурата обаче, като големина те не са съществени. Наблюдава се известна склонност на ръкавите да се извиват по посока на ос Y, което води до изкривяване на оста на гредата с около 1,5 мм, което е в границите на допустимите отклонения. Наблюдава се и известно изместване на двете греди една спрямо друга, което се дължи на изкривяване на лежковата система.

Като цяло, симулацията не показва съществени изкривявания, които да налагат корекция във формата на отливката. В реалното производство понякога се наблюдават значително по-големи отклонения, които надхвърлят допустимите стойности. Те се дължат на случайни величини – отклонения от нормалния технологичен процес.

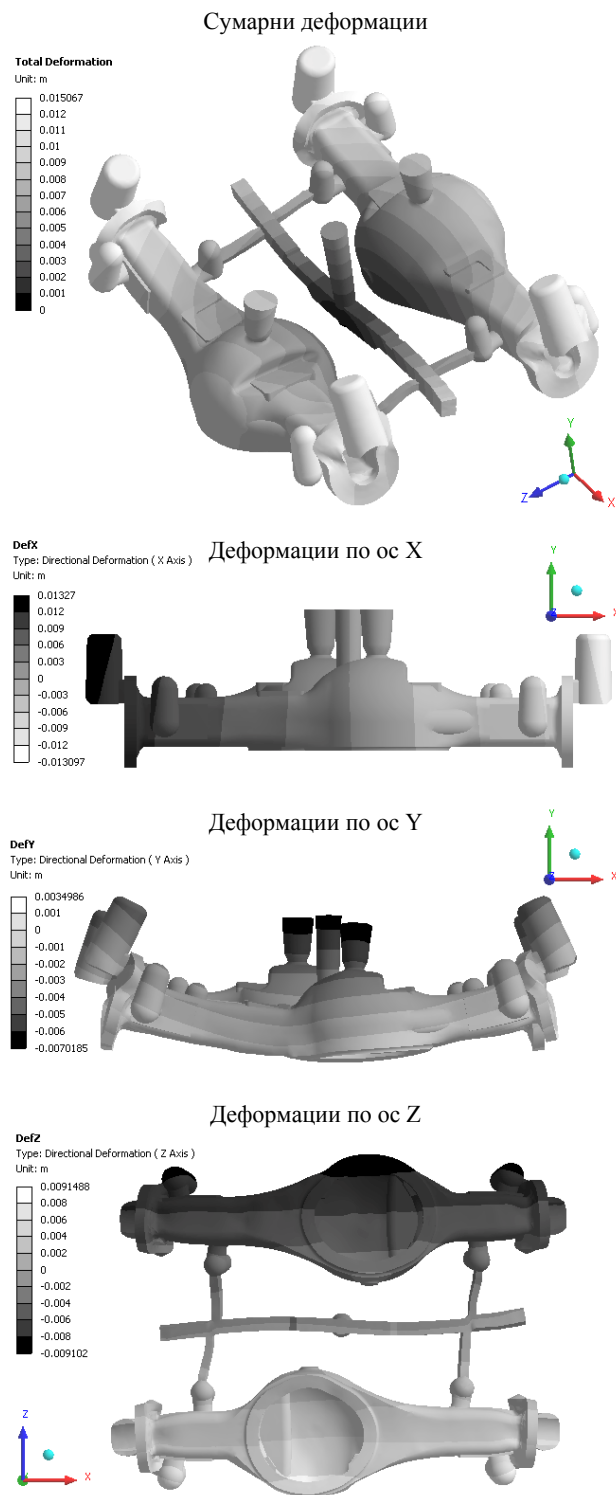
4. Изводи и заключение

Направените пресмятания на остатъчните напрежения в лята гредата за мост на товарен автомобил показват, че в ограничени обеми от отливката се наблюдават напрежения със стойности до 148 МПа. Тези стойности са значително по-ниски от опасните за материала напрежения при стайна температура. Във фланците на ръкавите и банджото максималните напрежения са на натиск, което е по-благоприятния вариант от гледна точка на експлоатацията. Независимо от това, тези зони подлежат на механична обработка и в следствие на големи динамични експлоатационни натоварвания. Наложително е гредата да се подложи на цялостна термична обработка за премахване на остатъчните напрежения.

Направените пресмятания на остатъчните деформации показват, че те са в рамките на допустимите отклонения. Наблюдаваните понякога в реалното производство недопустими изкривявания се дължат на случайни фактори, които не са отчетени в настоящата симулация.

5. References

- [1] P. Beeley, Foundry Technology. Second edition. Butterworth-Heinemann, ISBN-0-7506-4567-9, 2001.
- [2] A. Paine et al., Validation of stress prediction during solidification of cast components, Solidification Processing 07 Conference, University of Sheffield, UK, 23-25 July 2007, p. 1-6.
- [3] A. Egner-Walter, M. Kothen, Using stress simulation to tackle distortion and cracking in castings, Metal-lurgical science and technology, Vol.24 No.2, Teksid Aluminium, Italy, 2006.
- [4] N. Nikolov, Calculation of the residual stresses and deformations in castings by the finite elements method using the ANSYS software package. "Fundamental Sciences and Applications" – Journal of TU-Sofia, branch Plovdiv, vol. 14, 2009, p. 197-202.
- [5] N. Nikolov, Particularities in calculations of a heavy vehicle rear axle cast beam residual stress and deformations. "BulTrans-2009" Proceedings, Sozopol, Bulgaria, 24-26 September 2009, p. 149-152.



Фиг. 5 Деформации в отливката