

International virtual journal  
for science, technics and  
innovations for the industry

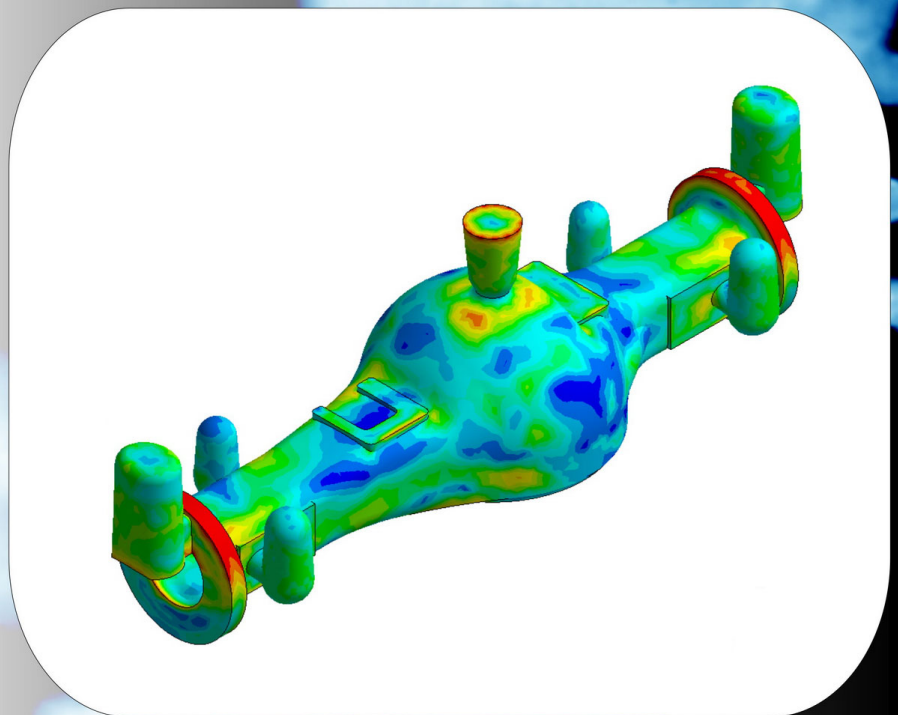
**MTM**

**MACHINES**

**TECHNOLOGIES**

**MATERIALS**

**YEAR IV**    **Issue 1-2** / 2010    **ISSN 1313-0226**



Published by  
Scientific-technical  
**Union of Mechanical Engineering**

# ВЛИЯНИЕ НА НЯКОИ ТЕХНОЛОГИЧНИ ФАКТОРИ ВЪРХУ ОСТАТЪЧНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ В ЛЯТА ГРЕДА ЗА ЗАДЕН МОСТ НА ТОВАРЕН АВТОМОБИЛ

## EFFECT OF SOME TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE RESIDUAL STRESSES IN HEAVY VEHICLE REAR AXLE CAST BEAM

### ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИТОЙ БАЛКИ ЗАДНЕГО МОСТА ГРУЗОВИК

гл.ас. д-р инж. Николов Н.

Факултет по транспорта – Технически университет-София

**Abstract:** *This article has examined the influence that have the following technological factors on the distribution of residual stresses in casting: the addition / removal of ribs, the addition / removal of coolers, self-casting mold / establishment of the cluster of two casts. It compares the values of residual stresses (von Misses) in specific areas. It is shown that in the case with heavy vehicle rear axle cast beam distribution of stress at different options are similar, but the values of stresses in considered areas ranged within  $\pm 20\%$ .*

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

#### 1. Увод

Температурните и остатъчните напрежения и деформации които възникват в хода на охлаждане на всяка отливка, са нежелателни и пораждат редица проблеми в лярското производство. В някои случаи при охлаждането те могат да доведат до появата на горещи или студени пукнатини. В други случаи те могат да предизвикат разрушаване по време на механичната обработка на изделието, или да намалят неговата експлоатационна якост и надеждност, тъй като се сумират с работните напрежения. Освен това, остатъчните деформации често водят до изкривявания, които могат да надвишат допустимите стойности. В този случай се стига до допълнителни механични въздействия или до бракуване на отливката. Всичко това налага да се вземат мерки за намаляване на остатъчните напрежения и деформации.

При стоманените отливки е широко разпространена цялостната термообработка. При нея остатъчните напрежения практически се премахват напълно [1]. Остава обаче опасността от поява на дефекти преди термообработката. Освен това, термообработката е свързана с голям разход на енергия и оскъпява изделието. Понякога термообработката се прилага трудно, а в някои случаи е излишна. Налага се добро познаване на механизмите на формиране и разпределение на остатъчните напрежения, за да може да се вземат правилните мерки за борба с тях.

При избора на технология за леене се обръща особено внимание на избягването на лярските дефекти, свързани със структурата на метала – нееднородности, пори, шупли, всмукнатини. Често се прибегва до промени в геометрията на отливката и лярската форма – добавят се лярски ребра, технологични удебеления, варира се с броя, мястото формата и размерите на мъртвите глави, варира се с дебелината и податливостта на формата, добавят се метални охладители във формата. Освен това се варира с броя и разположението на отливките, които се отливат едновременно в една каса, формата и размерите на лярковата система и др. Така съществено се влияе на топлообмена и скоростите на охлаждане в отделните части на отливката, а от там и върху остатъчните напрежения и деформации. Най-лесно това влияние може да бъде оценено с помощта на компютърни симулации.

В наши дни компютърните симулации се използват често в лярската практика. С тяхна помощ, в търсене на

оптималното решение се проверяват различни варианти за производството на дадена отливка и се намалява необходимостта от отливането на пробни отливки.

Компютърното симулиране на лярския процес е сложна задача, която изисква специален софтуер. Обикновено лярните закупуват специализирани програми, с който се симулира наливането на метала и неговото охлаждане до пълната му кристализация. Някои от тези програми имат и модули за пресмятане на остатъчните напрежения и деформации. Тези модули имат висока цена, трудно се адаптират към специфични задачи и не винаги дават удовлетворителни резултати.

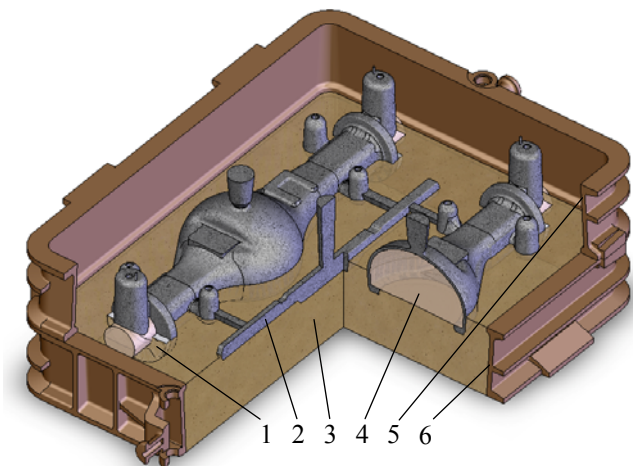
Друг вариант е използването на изчислителни модели, разработени за решаването на конкретна задача, върху платформата на универсални софтуерни продукти за инженерни анализи. Такава платформа е ANSYS, който извършва пресмятания по метод на крайните елементи. Този тип модели имат значително по-ниска цена, позволяват добър контрол върху входните и изходните параметри на решението, създадени са за конкретна задача и не се нуждаят от допълнително адаптиране. В настоящото изследване ще бъде използван такъв модел, подробно описан в [2].

Целта на настоящото изследване е с помощта на компютърна симулация да се провери влиянието на някои от изброените по-горе фактори върху остатъчните напрежения и деформации в конкретна отливка.

#### 2. Обект на изследване

Обект на настоящото изследване е отливката, показана на фиг.1. Тя се състои от две греди за заден мост на товарен автомобил, свързани с обща ляркова система 2 и отляти гравитационно в обща пясъчна форма 3, съставена от горна и долна полуформа, разположени в горна и долна каса (5 и 6). Металът е нисколегирана стомана, която се налива гравитационно при температура 1580 °C. Всяка греда има по седем мъртви глави, една от които е открита (на кутията за диференциала – т.нар. “банджо”). Кухините се оформят с помощта на лярски сърца 4. Във формата са заложени четири метални охладителя 1.

Сложната форма на тази отливка е предпоставка за възникване на лярски дефекти – всмукнатини, шупли и пори, пукнатини, изкривявания и др. През годините на производство проблемите, свързани с тези дефекти, до



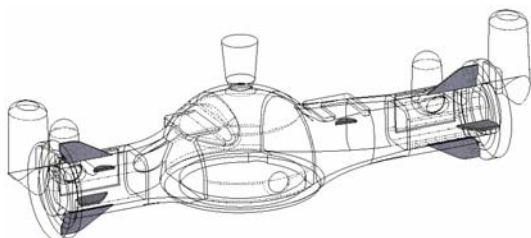
Фиг. 1 Общ вид на отливката и разположение в леярската каса

голяма степен са решени с използването на голям брой мъртви глави и добавянето на метални охладители, които помагат за постигане на насочена кристализация. В отливката обаче са получават големи напрежения, които и досега понякога водят до недопустими отклонения от формата и размерите, или до появата на пукнатини. Налага се да се търсят допълнителни решения, с които да се намалят остатъчните напрежения и деформации.

Добра възможност за намаляване на остатъчните деформации и повишаване качеството на отливките е добавянето на леярски ребра. Такъв вариант на отливката реално се произвежда. Използваните в този случай ребра са показани на фиг. 2. Добавянето на ребра вкоравява ръкавите на гредата. Тъй като ребрата са тънки, те се охлаждат първи и променят значително топлообмена в околните обеми. Не е ясно как това се отразява на остатъчните напрежения. Затова в настоящото изследване ще бъде направено сравнение на напреженията, които се получават при наличие и при отсъствие на леярски ребра.

Една от възможните причини за големите стойности на напреженията са металните охладители на фланците, които в първите моменти след наливането на метала пораждат големи температурни градиенти. Съществуват варианти на това производство без тези охладители. В настоящото изследване ще бъде проверено влиянието на металните охладители върху остатъчните напрежения.

Друг фактор, влияещ на големината и разпределението на остатъчните напрежения, е броят и разположението на гредите в касата, както и връзката им чрез общата леякова система. За това влияние няма налична информация, тъй като разглежданата отливка се произвежда само във вариант два броя греди с обща леякова система, както е показано на фиг. 1. За да се оцени влиянието на броя греди в касата, ще бъде направено сравнение с хипотетичен случай, при който в касата има само една греда, при това без леякова система (приема се, че наливането става през откритата мъртва глава).



Фиг. 2. Разположение на леярските ребра.

### 3. Резултати и дискусия

На фиг.3 е показано типично разпределение на остатъчните напрежения, което се получава в отливката след нейното охлаждане [3]. Избрани и номерирани са 17 характерни точки с високи стойности на напреженията. Тези точки ще бъдат използвани за сравнение и оценка на напреженията в различните разгледани конфигурации. На същата фигура са означени и мъртвите глави (с МГ). Еднаквите по форма мъртви глави имат еднакво означение.

На фиг.4 са дадени тримерни геометрични модели на четирите разгледани конфигурации на изследваната отливка:

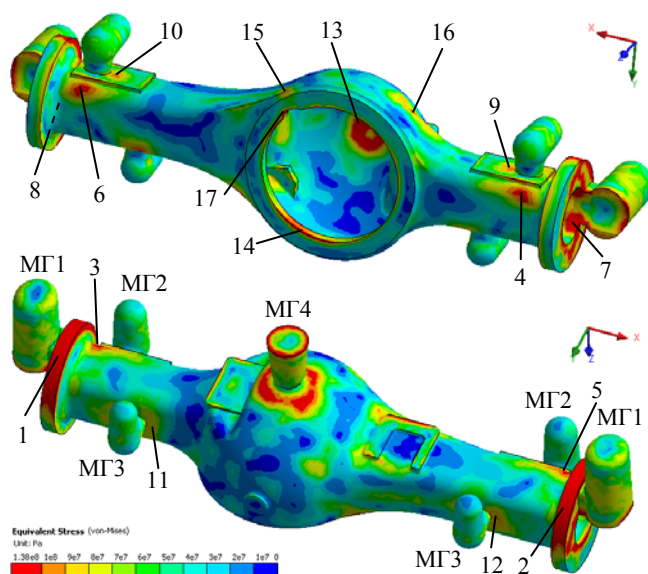
- на фиг.4а – две греди, наличие на метални охладители;
- на фиг.4б – две греди, наличие на метални охладители и леярски ребра;
- на фиг.4в – две греди, без охладители и ребра;
- на фиг.4г – една греда, с метални охладители, без леякова система и без ребра.

На фиг. 5 а-г са дадени остатъчните напрежения по фон Мизес, които се получават след охлаждане на отливката от съответната конфигурация. Вижда се, че напреженията имат сходно разпределение, но в едноименните точки се различават като стойности. Стойностите на напреженията в тях за всяка от четирите конфигурации и всяка от 17-те точки са дадени в таблица 1.

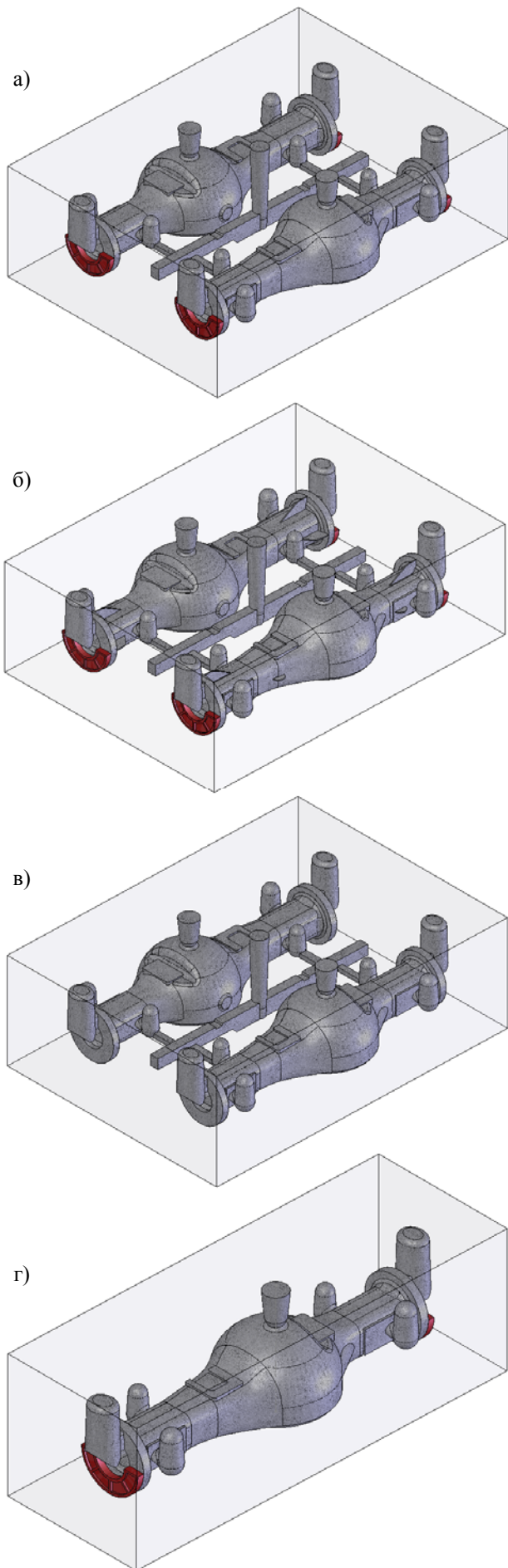
#### 3.1. Влияние на наличието на ребра върху остатъчните напрежения в отливката

За оценка на това влияние се сравняват фигури 5а и 5б, както и съответните им колони в таблица 1.

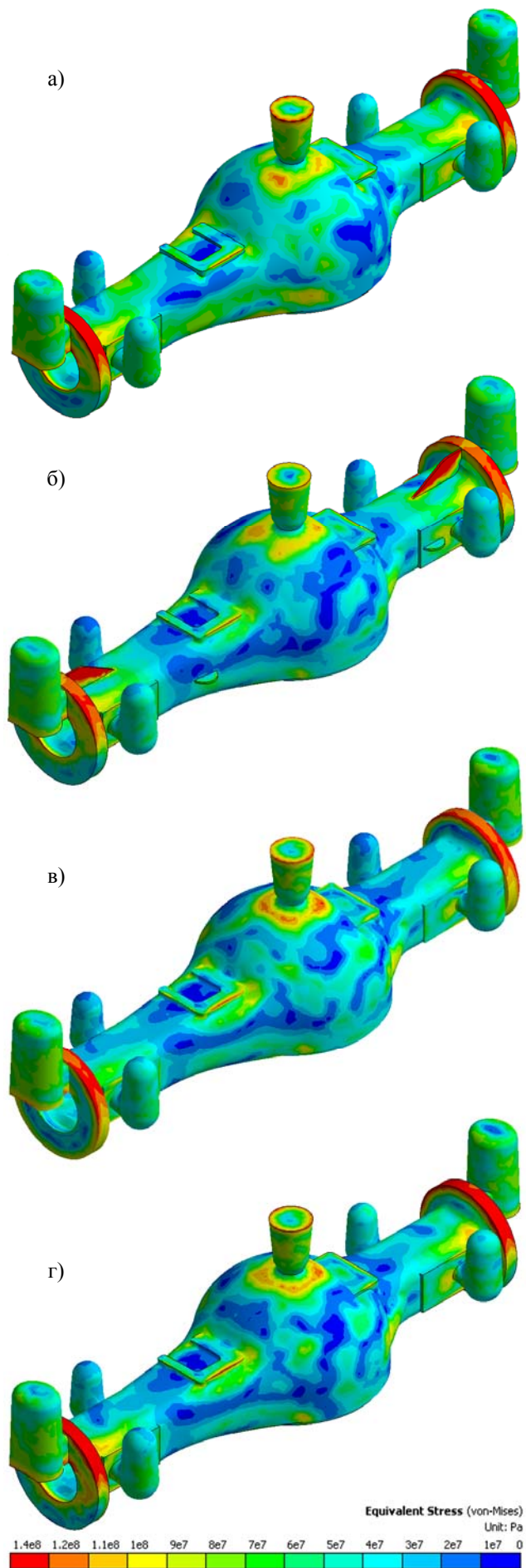
Ребрата оказват най-ясно изразено влияние върху остатъчните напрежения във фланците (точки 1 и 2). При конфигурацията със ребра напреженията имат с около 10% по-ниски стойности, отколкото при отсъствие на ребра. Основната причина за този благоприятен ефект е в охлаждащата роля, която имат ребрата в началните моменти след наливането на метала. Както се вижда от фиг.5, напреженията имат големи стойности в горната част на фланците (в близост до масивните мъртви глави МГ1) и малки стойности в долната част на фланците, които контактуват с металните охладители и се охлаждат



Фиг. 3 Еквивалентни остатъчни напрежения.



Фиг.4 Конфигурации на разглежданата отливка



Фиг.5 Еквивалентни напрежения по фон Мизес

Таблица 1. Напрежения в характерни точки при четирите конфигурации

Точка №	Описание	Еквивалентни остатъчни напрежения в точка, МРа			
		Две греди със охладители без ребра (фиг.5а)	Две греди със охладители със ребра (фиг.5б)	Две греди без охладители без ребра (фиг.5в)	Една греда със охладители без ребра (фиг.5г)
1	Фланец, къс ръкав, горе	121	111	115	121
2	Фланец, дълъг ръкав, горе	122	115	115	122
3	Преход фланец-къс ръкав, горе	107	103	90	109
4	Преход фланец-къс ръкав, долу	103	98	84	104
5	Преход фланец-дълъг ръкав, горе	103	103	79	104
6	Преход фланец-дълъг ръкав, долу	101	100	90	104
7	Фланец, къс ръкав, отвътре	120	120	96	129
8	Фланец, дълъг ръкав, отвътре	118	120	100	125
9	МГ2, къс ръкав	96	90	92	92
10	МГ2, дълъг ръкав	95	100	91	93
11	МГ3, къс ръкав	90	97	91	93
12	МГ3, дълъг ръкав	101	97	102	103
13	МГ4, в банджото	124	132	132	131
14	Банджо, ръб на отвора	129	122	121	122
15	Банджо, изрез	124	125	123	124
16	Разширение на късия ръкав	83	88	90	85
17	Преход към дългия ръкав, в банджото	78	78	78	78

сравнително равномерно. Горната част на фланците се охлажда първо по периферията и със закъснение в близост до шийката на МГ1, когато периферията вече има значителна коравина. Поради това в периферията възникват остатъчни натискови, а в околност на шийката – остатъчни опънови напрежения. Наличието на ребро срещу МГ1 има два благоприятни ефекта. Първо, то способства за намаляване на температурния градиент по време на охлаждането в периферията и основата на фланца. Второ, поради разположението си, реброто е натоварено на опън. Тъй като в периферията, която контактува с него, се формират натискови остатъчни напрежения, сумарните остатъчни напрежения в близост до това ребро намаляват.

*3.2. Влияние на наличието на метални охладители на фланците върху остатъчните напрежения в отливката*  
За оценка на това влияние се сравняват фигури 5а и 5в, както и съответните им колони в таблица 1.

Като цяло, отсъствието на метални охладители намалява остатъчните напрежения в обозначените точки с 5-20%. Това се обяснява лесно с по-малките температурни градиенти в началните етапи на охлаждането, а от там – с по-малките температурни напрежения и деформации. Видимо този ефект най-лесно може да се проследи при фланците. При тях остатъчните напрежения са по-равномерно разпределени и с по-малки максимални стойности, отколкото при изходния вариант, показан на фиг. 5а.

Добавянето на метални охладители във формата цели постигането на насочена кристализация и избягване на дефекти в структурата на метала. Цената на този положителен ефект очевидно е известно покачване на остатъчните напрежения.

*3.2. Влияние на броя отливки в една каса върху остатъчните напрежения в отливката*

За оценка на това влияние се сравняват фигури 5а и 5г, както и съответните им колони в таблица 1.

Разликата в стойностите на напреженията в избраните 17 точки е пренебрежимо малка. Визуално, при варианта от фиг.5г полето на напреженията е по-симетрично, например в областта около основата на МГ4, което може да се обясни с отсъствието на леякова система от едната страна на отливката. Тези разлики обаче са от порядъка на няколко МРа и са несъществени.

Може да се заключи, че намаляването на броя отливки в една каса от две на една и премахването на леяковата система няма да окаже положително влияние върху остатъчните напрежения. Тъй като вариантът с две отливки в една каса е икономически много по-целесъобразен, той трябва да бъде предпочетен.

#### 4. Заключение

Разгледаната отливка има големи габарити и специфична форма. Ребрата и металните охладители контактуват с ограничени области от ръкавите и фланците, които са далеч от централните части (банджото). Леяковата система взаимодейства с отливката чрез двата питателя, които имат сравнително малко напречно сечение. Затова разгледаните три технологични фактора влияят слабо върху остатъчните напрежения. Четирите конфигурации имат сходни по стойности и разпределение полета на напреженията. За производство следва да се предпочете икономически най-изгодният вариант, който трябва да се подбере по други съображения.

#### 5. References

1. Beeley P., Foundry Technology. Second edition. Butterworth-Heinemann, ISBN-0-7506-4567-9, 2001.
2. Nikolov N., Calculation of the residual stresses and deformations in castings by the finite elements method using the ANSYS software package. In: "Fundamental Sciences and Applications" journal, vol. 14, 2009, p.197-202.
3. Nikolov N., Lazov L., "Calculation and analysis of the heavy vehicle rear axle cast beam residual stress and deformations". In: "trans&MOTAUTO '09", Sunny beach, 17-19 September 2009, vol. 2, pp. 52-54.