

## ЧИСЛЕНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО, КОЕТО ОКАЗВА ЛЕЯКОВАТА СИСТЕМА ВЪРХУ ОСТАТЪЧНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ В МАСИВНА СТОМАНЕНА ОТЛИВКА

Николай Николов  
[nyky@tu-sofia.bg](mailto:nyky@tu-sofia.bg)

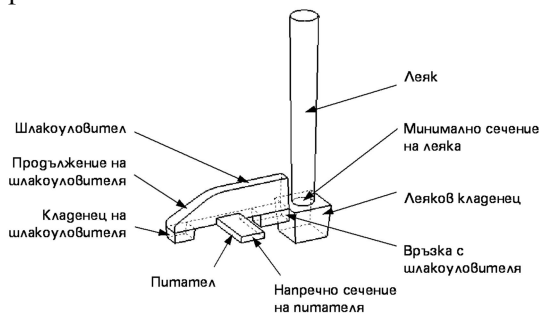
*В тази статия с помощта на компютърна симулация са получени остатъчните напрежения в спирална шайба за асансьор, отлята от стомана в пясъчна форма. Пресмятанията са направени с два различни варианта леякови системи и са сравнени с хипотетичен случай на отливка без леякова система. Установено е, че леяковата система влияе слабо върху разпределението и стойностите на остатъчните напрежения, с изключение на зоните, разположени в близост до питателите.*

**Ключови думи:** леякова система, метод на крайните елементи, остатъчни напрежения, стоманена отливка

### 1. Въведение

Един от факторите, които оказват влияние върху остатъчните напрежения при всяка отливка, е конфигурацията и разположението на леяковата система. Освен че променя значително формата на отливката, тя съдържа големи обеми метал, които след наливане се охлаждат с отделяне на значително количество топлина. При това се подгрива както самата отливка, така и формовъчната смес в околност на леяковата система и намалява скоростта на охлаждане в тези области. Така леяковата система влияе на температурните градиенти и скорости на охлаждане в близко разположените обеми от отливката, а с това – и върху формирането и разпределението на временните температурни напрежения и остатъчните напрежения.

Примерна схема на леякова система за масивна стоманена отливка е показана на фиг.1.



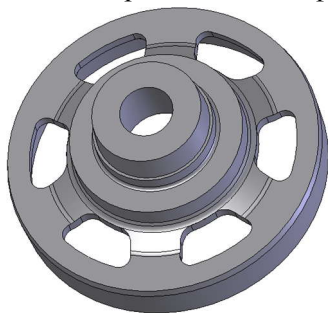
фиг.1 Схема на леякова система

Тя се състои от няколко задължителни и няколко допълнителни елемента, които се включват и оформят по технологични съображения. Най-съществено влияние върху температурното поле при изстиването на отливката оказват:

- шлакоуловителят – обикновено е близко разположен до отливката и има сравнително голям обем;
- питателите – те контактуват с отливката, явяват се зони на интензивен топлообмен и концентрация на напреженията; от дължината им зависи разстоянието между отливката и останалите елементи на леяковата система;
- леякът и леяковият кладенец – от значение са формата, обемът и близостта до отливката.

## 2. Постановка на задачата

Обект на настоящото изследване е реално произвеждано изделие – спирачно колело за асансьор, показано на фиг.2.



фиг.2 Спирачно колело

Колелото се отлива от нисковъглеродна стомана, по метода гравитационно леене в пясъчна форма. Брутната маса на отливката (с леякова система и мъртви глави) е около 120 кг.

Поставя се задачата да се пресметнат, сравнят и анализират остатъчните напрежения, които се формират при охлаждане на отливката от температурата на наливане на метала (1580°C), до стайна температура, като се използват следните варианти на леякова система:

- Хипотетична конфигурация на отливка без леякова система (фиг.3А). Този вариант представлява идеализация, която ще помогне да се оцени как влияе доба-

вянето на леякова система върху остатъчните напрежения;

- Леякова система с един питател (фиг.3Б). Тази леякова система се характеризира с къс шлакоуловител и минимално разстояние между леяка и колелото. Оптимизирана е от гледна точка икономия на метал.

- Леякова система с три питателя (фиг.3В). Това е класическа схема, проектирана в максимално съответствие с предписанията в специализираната литература [1,2]. За нея е характерен дългият шлакоуловител с голям обем, с издължено продължение без кладенец. Леякът е значително по-далеч от колелото, отколкото в предишния случай.

И при трите варианта е използвана конфигурация с една основна мъртва глава (на фланеца) и шест спомагателни мъртви глави (на спиците). Всички мъртви глави са покрити с екзотермични втулки на фирмата FOSECO. Отливката е разположена във форма от кварцов пясък, която контактува от всички страни с атмосферния въздух.

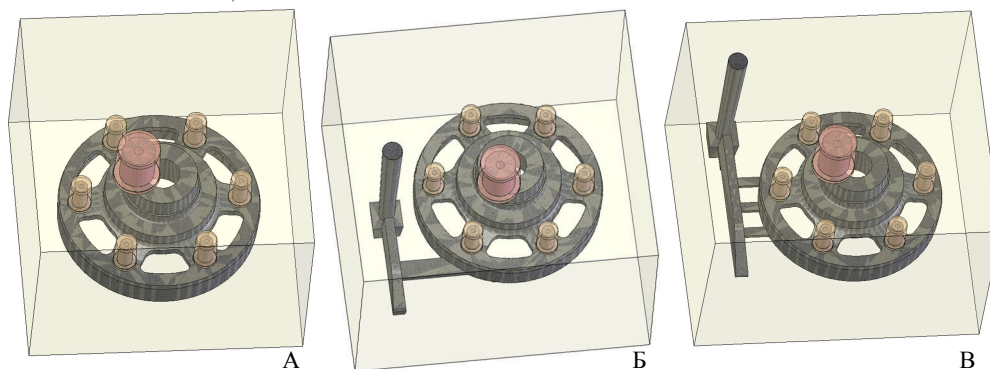
Изчисленията са направени с ANSYS – универсален софтуерен продукт за инженерни анализи по метод на крайните елементи. Използваният компютърен модел е описан подробно в [3].

## 3. Остатъчни напрежения в отливката при отсъствие на леякова система

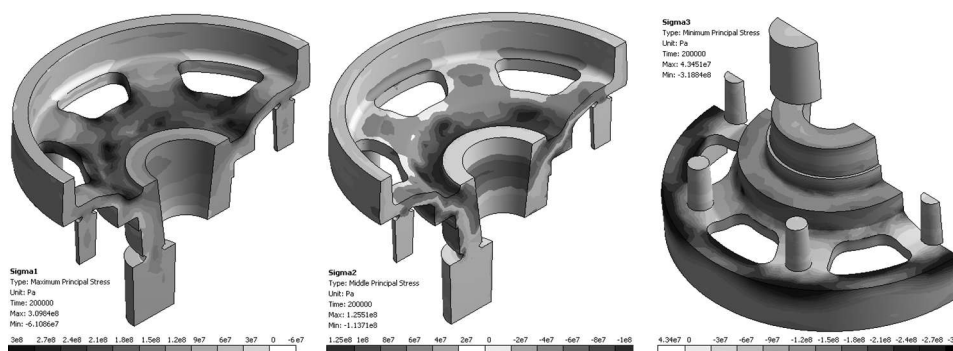
На фиг.4 е показано разпределението на трите главни напрежения след изстиването на отливката (на фиг. 4А –  $\sigma_1$ , на фиг.4Б –  $\sigma_2$ , на фиг.4В –  $\sigma_3$ ). Вижда се, че в отливката има три зони с високи стойности на напреженията – горната част на периферията със  $\sigma_3 = 285$  МПа (ориентация като на фиг.4В); ръбовете по отворите на спиците със  $\sigma_1 = 295$  МПа и  $\sigma_2 = 20$

МРа; преходът от спиците към главината със  $\sigma_1 = 300$  МРа и  $\sigma_3 = 95$  МРа. Съпоставката на трите главни напрежения показва, че като цяло периферията е подложена на натиск, спиците – на опън, а напрегнатото състояние в прехода между главината и спиците е сложно. По-

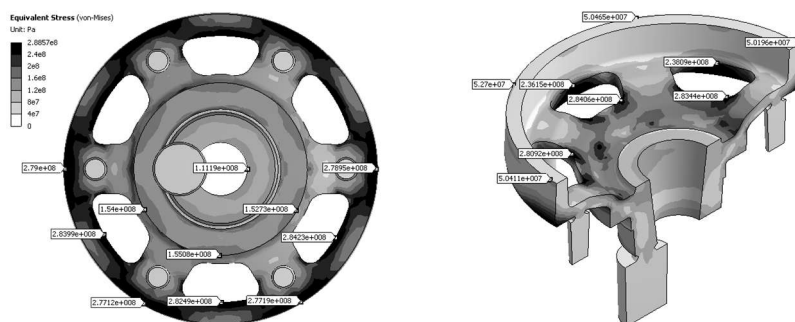
подробно обяснение на механизмите на формиране на тези напрежения е дадено в [4].



фиг.3 Варианти на лежковата система



фиг.4 Главни остатъчни напрежения в отливка без лежкова система



фиг.5 Еквивалентни остатъчни напрежения в отливка без лежкова система

На фиг.5 са показани еквивалентните напрежения ( $\sigma_{eq}$ ), по критерия на фон Мизес.

В етикети са показани конкретните стойности на напреженията в общо седем зони – по периферията, ръбовете на отворите за спиците и главината. Избрани са такива точки, в които напреженията имат максимални стойности за съответната зона. Стойностите на напреженията в тези зони ще бъдат проследени и при случаите с два различни варианта на леякова система.

#### ***4. Сравнение на остатъчните напрежения при използване на различни леякови системи***

На фиг.6 в два изгледа са показани еквивалентните напрежения, които се формират в отливката при използване на двата варианта леякови системи (в ляво – леякова система с един питател, в дясно – леякова система с три питателя).

От фиг.5 и 6 могат да се направят следните наблюдения:

- Характерът на разпределение на напреженията е еднакъв и в трите случая. Изключение правят зоните в околност на питателите;
- Напреженията по горната повърхност на периферията имат ясно изразени максимуми в зоните срещу спиците и срещу средата на отворите за спиците. При вариантите с леякова система тези максимуми варират в границите 253-275 МПа. При решението без леякова система тези напрежения са 275-283 МПа. Оказва се, че наличието на леякова води до леко намаляване на напреженията в тези зони, което се дължи на по-бавното и плавно изстиване на отливката. В същото време обаче, неравномерността в максималните стойности на напреженията в едноименни точки се увеличава.

- За ръбовете на отворите на спиците могат да се направят същите наблюдения, както за горната повърхност на периферията. Напреженията по тези ръбове достигат стойности от същия порядък, както по периферията.

- Долната част на периферията е слабо напрегната. Напреженията не надвишават 55 МПа, и то само в областите срещу спиците. Такива стойности се получават независимо от наличието и вида на леяковата система.

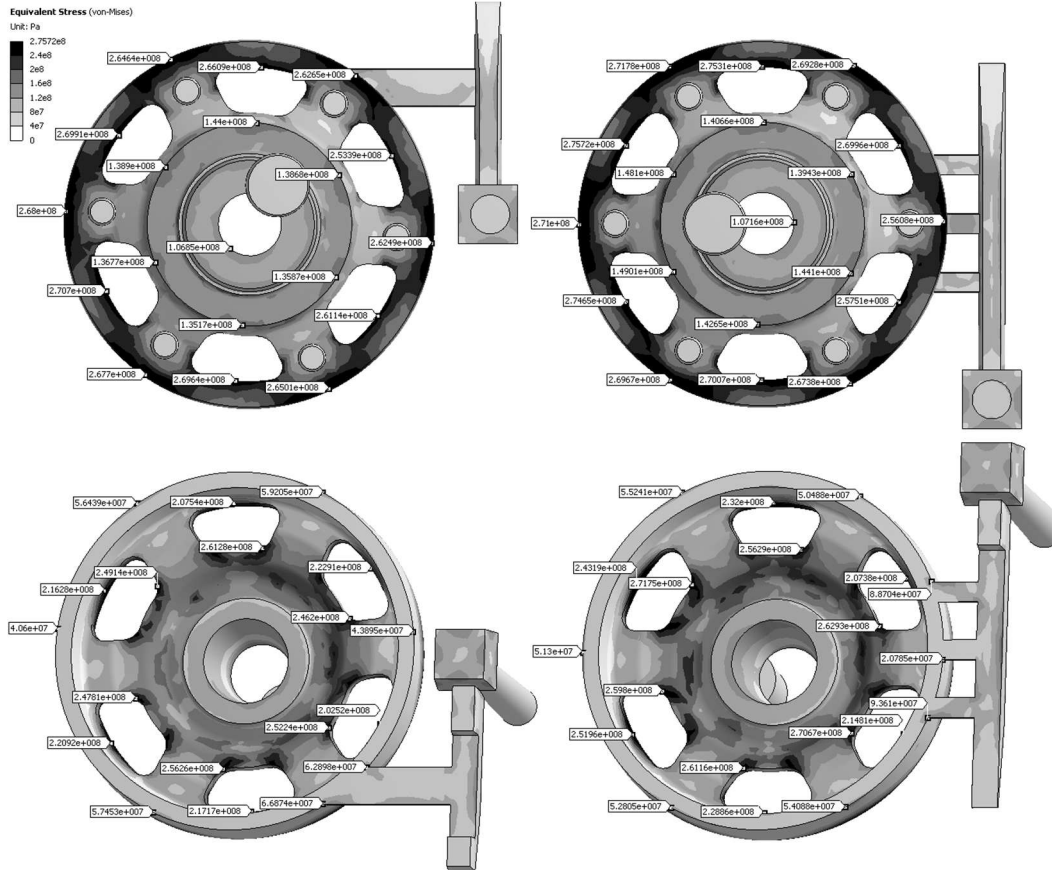
- Добавянето на леякова система води до появата на ръбове в местата на връзка между питателите и основния метал. Тези ръбове се явяват концентратори на остатъчни напрежения. Концентрацията е по-съществена при варианта с три питателя, където напреженията достигат стойност от 94 МПа. При другия вариант максималните напрежения в тази зона са 67 МПа.

- По периферията на главината напреженията са в границите 152-154 МПа при отсъствие на леякова система и 135-149 МПа при наличие на леякова система. Както и по периферията на колелото, и тук добавянето на леякова система води до леко понижаване на максималните стойности, но увеличава неравномерността на напреженията в едноименните точки. Вариантът на леяковата система не влияе на разпределението на напреженията в тази зона.

- Горната повърхност на фланеца не е чувствителна към наличието и вида на леякова система. Без леякова система напреженията там достигат 111 МПа, е при наличие на леякова система – 107 МПа.

- Неравномерността, породена до добавянето на леякова система е сходна при двата разгледани варианта. Напреженията имат малко по-големи стойности при ва-

рианта с три питателя, което се дължи на двата допълнителни затворени контура в този случай.



фиг.6 Еквивалентни остатъчни напрежения при два варианта на леякова система

### 5. Изводи

1. Характерът на разпределение на остатъчните напрежения по обема на отливката се запазва, независимо от наличието и конфигурацията на леяковата система.

2. Най-голямо влияние върху остатъчните напрежения се получава в зоните на връзка между питателите и изделието. В тези области се получават ръбове и ограничени обеми с концентрация на остатъчните напрежения. Концентрацията е по-голяма при леякова система с повече от един питател, защото в тези случаи са

получават статично неопределени затворени контури. Стойностите на напреженията обаче остават значително по-ниски от максималните за отливката.

3. Конфигурацията на леяковата система оказва забележимо влияние върху стойностите на остатъчните напрежения по горните ръбове на периферията на колелото, ръбовете на отворите на спиците, ръбовете на главината – максималните стойности намаляват с 5-10 МРа, но също с толкова се увеличава неравномерността на стойностите в едноименните точки. Това влияние е слабо и не може да се

очаква, че ще повлияе на качеството на отливката.

4. Еквивалентните напрежения в най-натоварените зони имат твърде големи стойности, близки до границата на провлачване на материала. Тези напрежения са недопустими от гледна точка на експлоатационното натоварване. Следователно, независимо от избраната леякова система, се налага допълнителна термична обработка за тяхното намаляване. В общия случай, при масивните отливки питателите имат многократно по-малки напречни сечения от съседните им обеми и са много по-податливи от останалата част от отливката. Между масивните елементи на леяковата система и остана-

лата част от отливката има дебел пласт формовъчна смес. В резултат влиянието на леяковата система върху разпределението и стойностите на остатъчните напрежения е слабо.

#### **6. Заключение**

При масивните отливки леяковата система влияе слабо върху стойностите и разпределението на остатъчните напрежения. Поради тази причина якостните съображения не следва да бъдат фактор при проектиране на леяковата система. В конкретния пример това означава, че за производство трябва да се избере конструктивно и технологично най-простата схема – тази с един питател.

## **NUMERICAL STUDY OF THE GATING SYSTEM INFLUENCE ON THE RESIDUAL STRESSES IN MASSIVE STEEL CASTING**

N.Nikolov

**Abstract:** In this article, using a computer simulation, the residual stresses in elevator brake wheel are obtained. The brake wheel is cast steeled in sand form. The calculations were made with two different versions of gating systems and compared with the hypothetical case of casting without gating system. It was found that the gating system has little influence on the distribution and values of the residual stresses, with the exception of areas near the gates.

**Keywords:** finite element method, gating system, residual stress, sand casting, steel

assist.prof.Nikolay Nikolov, Ph.d., Technical University-Sofia

#### **References**

1. Sorelmetal, *Ductile iron – The essentials of gating and risering system design*. Published by Rio Tinto Iron & Titanium Inc. Montréal, Canada, 2000.
2. P. Beeley, *Foundry Technology*, Butterworth-Heinemann, Oxford, England, 2001.
3. 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.
4. N. Nikolov, L. Lazov, “Numerical analyses of the feeder number influence on the residual stress in a steel casting”, RECENT Journal, Vol. 10, No. 2(26), July, 2009.