BulTrans-2009
Proceedings
24-25 September 2009
Sozopol

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

Николай НИКОЛОВ
Катедра "Съпротивление на материалите", Технически университет – София, България
nyky@tu-sofia.bg

Резюме. В тази статия са разгледани някои основни проблеми от производството на лята греда за заден мост на товарен автомобил. Обърнато е внимание на компютърното моделиране, като средство за решаване на част от тези проблеми. Дискутирани са редица особености, с които трябва да се съобразят конструкторите за успешно провеждане на компютърни симулации, които целят пресмятане на остатъчните напрежения и деформации.

Ключови думи: стоманена отливка, остатъчни напрежения, МКЕ, компютърно моделиране.

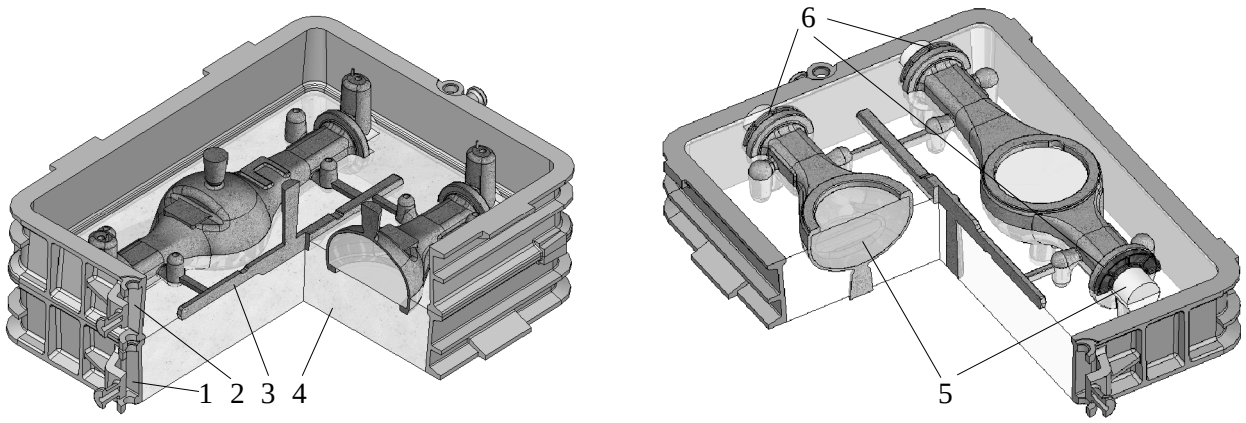
1. Въведение

Компютърните симулации оказват съществена помощ при усъвършенстване на технологиите за производство на отливки. Затова днес те се използват широко в леярската практика. Обикновено се използват специализирани комерсиални програми [1]. Най-често се симулират процесите на наливане, кристализация и охлаждане на отливката, с цел да се усъвършенства наливната система и системата от мъртви глави. Малка част от тези програми имат модули за пресмятане на остатъчни напрежения и деформации, но цената им е много висока, а възможностите за адаптиране към специфични задачи не винаги са достатъчни [2,3]. Затова съществуват и многобройни разработки, при които изследователите използват универсални програмни пакети за инженерни анализи, в които създават необходимите им изчислителни модели. В настоящото изследване са разгледани особеностите при работа с едно такова решение [4], при което остатъчните напрежения и деформации се пресмятат с програмен пакет ANSYS, по метод на крайните елементи (МКЕ).

2. Обект на изследване

На фиг.1 е показана отливка, чието серийно производство е традиционно за нашата страна – греда за заден мост на тежкотоварен автомобил. Гредата се произвежда по метода гравитационно леене в пясъчна форма. Отливката 3 се състои от две греди, свързани с обща леякова система. Металът към всяка греда се подава през два питателя. Всяка греда има по седем мъртви глави. Шест от тях са закрити (по три на ръкав), а седмата е открита (на кухината за диференциала). Металът е нисколегирана стомана, която се налива при температура 1580°C.

Използват се две метални леярски каси – долна 1 и горна 2, запълнени с формовъчна смес 4. Кухините в отливката се оформят с помощта на две леярски сърца 5. За да се избегнат леярските дефекти във фланците на ръкавите, всеки от тях контактува с метален охладител 6.



Фиг.1 Общ вид на отливката и разположение в леярската каса
1 – долна каса; 2 – горна каса; 3 – отливка; 4 – формовъчна смес; 5 – сърца; 6 - охладители

3. Изисквания и технологични особености

Изделието работи в условията на динамично натоварване с големи стойности на напреженията, поради което трябва да отговаря на редица изисквания, които да гарантират неговата якост и дълготрайност. Част от тези изисквания са:

- В отливката не бива да има повърхностни или скрити всмукнатини и шупли, което изисква внимателно да се планира положението и размерите на мъртвите глави и леяковата система;
- Не са допустими и пукнатини, което изисква формата на отливката и разположението на охладителите да се съобразят с възникващите временни температурни напрежения;
- Отливката се подлага на механична обработка и влиза в състава на сложна и прецизна сглобена единица, което налага да се предпишат изисквания към геометричната форма и размери.
- В отливката не бива да има големи остатъчни напрежения, тъй като по време на работа те ще се сумират с експлоатационните и могат да се достигнат опасни за материала стойности.

Поради сложната форма на отливката, възникват следните проблеми:

- голямо разстояние между мъртвите глави, стени с постоянна дебелина: предпоставка за образуване на термични възли и всмукнатини;
- наличие на преходи от по-дебели към по тънки стени и ръбове: предпоставка за концентрация на напреженията и поява на пукнатини;
- контакт между масивни мъртви глави и тънки стени: предпоставка за големи температурни градиенти при охлаждането, от там – за големи временни и остатъчни напрежения;
- голяма дължина на оста (1277 мм), тънки стени, асиметрична форма спрямо оста: предпоставка за големи остатъчни деформации, отклонения от допустимата форма и размери;
- чувствителност към технологичния процес: малки отклонения от параметрите, съпътстващи процеса на леене, могат да доведат до съществени отклонения в показателите на качеството.

Борбата с изброените проблеми налага постоянно да се търсят възможности за усъвършенстване на технологията. Налага се да се вземат следните мерки:

- влагане на нови материали и техники на формоване: смесите, от които се изработват сърцата и формите търпят непрекъснато изменение; използват се обмазки, екзотермични втулки, изолационни смеси за засипване на откритите мъртви глави;
- добавяне/премахване на охладители: цели се бързо отвеждане на топлина от по-масивните части, за да се получи контролирано и насочено охлаждане и да се избегнат термичните възли;
- добавяне/премахване на леярски ребра: променя се охлаждането в масивни части на отливката и се укрепват зоните с преходи, за да се премахне опасността от появата на пукнатини.

Прилагането на изброените мерки е съпътствано с редица трудно предсказуеми обстоятелства, които могат да доведат до странични и нежелани ефекти. Например:

- промяната на формовъчните смеси води до промяна в твърдостта и топлопроводността на формата и сърцата. Променят се остатъчните напрежения и деформации;
- добавянето на охладител поражда голям температурен градиент в неговата околност след наливане на метала. Това води до съществена промяна във временните температурни напрежения и остатъчните напрежения;
- леярските ребра изменят съществено формата и коравината на отливката, а от там влияят по сложен и трудно предсказуем начин на остатъчните напрежения и деформации.

Наличието на компютърен модел, който да пресмята остатъчните напрежения и деформации с отчитане на изброените по-горе фактори позволява на технолозите по-бързо и уверено да достигат до необходимите изменения за подобряване качеството на изделията, без да са необходими пробни отливки и допълнителни разходи на труд и материали.

4. Особености при компютърно моделиране

За точно възпроизвеждане на показаната на фиг.1 геометрия е необходима гъста мрежа от крайни елементи (КЕ). Получава са изчислителен модел, съставен от няколкостотин хиляди КЕ. Понеже задачата е сложна и се решава на голям брой стъпки, изискванията към изчислителната техника значително надхвърлят възможностите на достъпните компютри. В същото време за практиката е необходим модел, който да се решава сравнително бързо и да позволява за кратко време да се проиграят различни варианти, за достигане до оптималното решение.

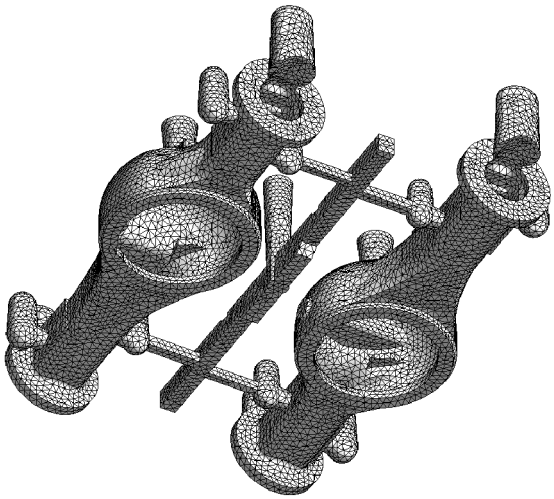
Факторът, който влияе най-съществено върху продължителността на изчисленията е броят на КЕ. Той зависи най-вече от зададената гъстота на мрежата. С увеличаване на гъстотата расте точността и детайлността на решението, но значително нараства изчислителното време. Необходим е известен опит от страна на оператора, за да прецени оптималното съотношение гъстота на мрежата/точност на решението.

При отливки с големи размери и сложна форма, дори и при мрежа с неголяма гъстота, се получава неудобно голям брой КЕ. За създаването на бърз за пресмятане модел се налагат три групи допълнителни опростявания:

Опростяване на геометрията. Премахват се фаски и закръгления, чиито размери са достатъчно малки и не влияят върху цялостната форма. Възможно е да се премахнат цели елементи от конструкцията с малки размери, които усложняват формата. Някои геометрични форми се опростяват, за да се намали броят на повърхнините и да се избегнат повърхнини с малки размери и остри ъгли, които силно затрудняват омрежването и често водят до проблеми със сходимостта на решението.

На фиг.2 е показана мрежата от КЕ за разглежданата отливка, която е получена след опростяване съгласно горните указания. Опростяването на геометрията изисква известен опит, за да се достигне до разумен компромис в детайлността, без да се жертва много от точността. При премахването на фаските и закръгленията се получават остри ръбове и резки преходи, което налага напреженията в тези места да не се вземат под внимание при анализа на резултатите от симулацията.

Показаната на фиг.2 мрежа съдържа над два пъти по-малък брой елементи спрямо тази при модел без геометрични опростявания при еднаква гъстота на елементите. Съответно времето за пресмятане намалява няколкократно – от 48 часа до около 16 часа.



Фиг. 2 Мрежа от крайни елементи

Начални и гранични условия.

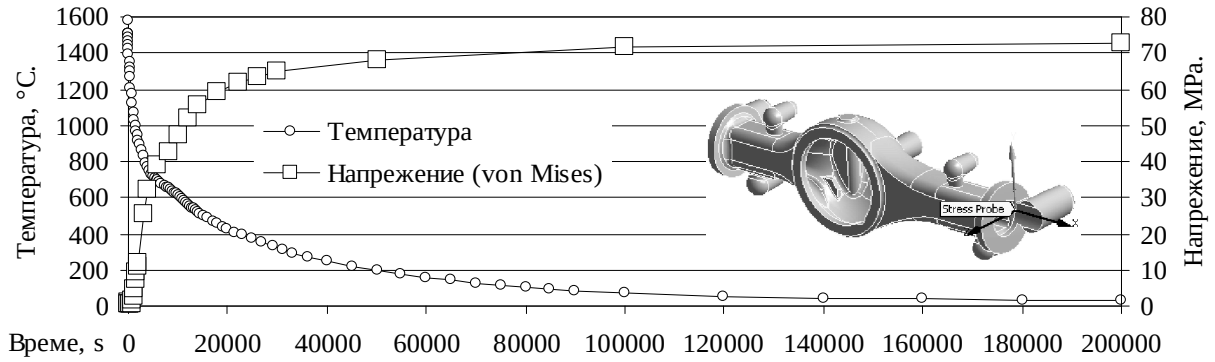
• Материални свойства. Налага се добро познаване на използваните материали. След запознаване с данните от справочната литература и провеждане на експерименти, се залагат подходящ набор от материални свойства. Повечето параметри (като плътност, якост, еластопластичност и др.) силно зависят от температурата. В същото време те имат различна степен на влияние върху крайното решение. Необходим е известен опит, за да се прецени кои материални свойства са най-съществени и трябва да се заложат с голяма точност (след провеждане на експерименти), и за кои е допустимо да се зададат приблизителни стойности, взети от справочната литература.

• Граничните условия. Моделираната термомеханична система контактува по сложен начин с околната среда. Налице е сложно оформена метална леярска каса, свободни повърхности формовъчна смес, контакт с пода на леярната, открити участъци налят метал и др. Налагат се редица опростявания и обобщения в модела на топлообмен с околната среда, особено при недостиг на експериментални данни и изчислителни ресурси. В същото време в изчислителният модел трябва да отчита трите фактора на топлообмена (конвекция, топлопроводност и излъчване), които са силно зависими от температурата. Най-съществено опростяване в тази група е премахването на леярската каса. То води до голямо опростяване на изчислителния модел, но изисква оценка на влиянието върху крайните резултати и корекция в модела на топлообмен с околната среда. По отношение на закрепването се налага идеализация на опорите – долната повърхност на формата се фиксира неподвижно.

Дискретизация по време. Симулацията на изстиването на отливка с размери като разглежданата трябва да обхване достатъчно време, за да може всички обеми да се охладят до температурата на околната среда. В конкретния случай са необходими 200000 секунди. Това време се разделя на неравномерни интервали, за чиито краища се извършват изчисленията. Интервалите са най-къси в началото на симулацията, където температурните градиенти са по-големи и изменията в полето на напреженията и деформациите са най-съществени. С напредване на времето постепенно интервалите се удължават.

Необходим е опит и провеждането на пробни изчисления за постигането на подходяща дискретизация по време. Колкото по-къси са интервалите, толкова по-точно е решението, но сумарното време за пресмятане расте пропорционално на броя времеви стъпки. С удължаване на интервалите и намаляване на техния брой точността на пресмятането намалява, стига се и до проблеми със сходимостта.

На фиг.3 са показани графиките на изменение на температурата и еквивалентните напрежения в контролна точка във функция на времето, построени по интервали, които се оказаха подходящи за разглежданата отливка. При пресмятане на температурното поле са използвани 84 времеви интервала, с продължителност от 5 до 20000 секунди. При пресмятане на напреженията са използвани 30 времеви интервала, с продължителност от 50 до 100000 секунди.

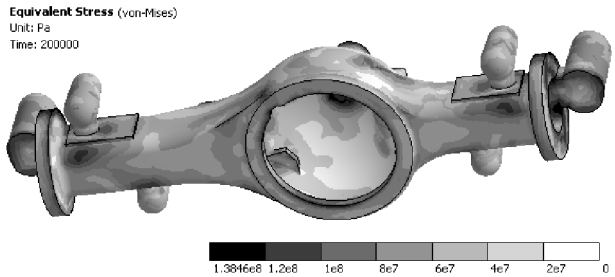


Фиг.3 Температура и еквивалентно напрежение в контролна точка във функция на времето

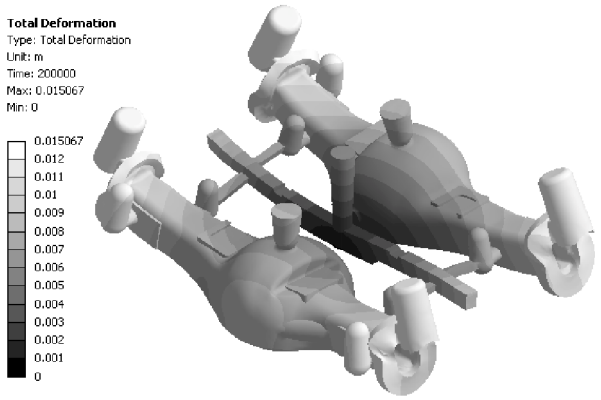
5. Резултати от компютърното моделиране

При пресмятане с разглеждания компютърен модел се получават следните резултати:

- Температурно поле във функция на времето;
- Напрежения – главни, нормални, тангенциални и еквивалентни (фиг.4);
- Деформации – по направления и сумарни (фиг.5).



Фиг.4. Еквивалентни остатъчни напрежения



Фиг.5. Сумарни остатъчни деформации

Визуализацията на еквивалентните напрежения (фиг.4) позволява бързо да се направи оценка кои зони са най-натоварени и къде има концентрация на напреженията. Визуализацията на отделните компоненти на пълното напрежение позволява да се определи видът съпротива в отделните зони и да се направи анализ за причините, довели до съответното напрегнато състояние. Това от своя страна помага да се изберат подходящи въздействия за намаляване на остатъчните напрежения, когато е необходимо. Визуализацията на сумарните деформации (фиг.5) позволява качествена и количествена оценка по този показател, когато това е необходимо. Деформациите на фиг.5 са преувеличени 40 пъти, което позволява визуално да се оценят направленията на деформациите и да се видят зоните с големи деформации.

6. Заключение

Компютърното моделиране е полезна и все по-неотменна част от процеса на проектиране на оптимална технология за леене. С негова помощ могат да се получат остатъчните напрежения и деформации в сложни по форма отливки, да се проиграват различни варианти в търсене на оптималното решение, да се откриват, обясняват и отстраняват свързани с напреженията проблеми. За получаване на достоверни и надеждни резултати е необходимо добро познаване на технологичните особености, както и известен опит в моделирането и работата със специализиран софтуер. Дадените по-горе насоки са плод на такъв опит и са предпоставка за бързо и точно решаване на задачата по пресмятане на остатъчните напрежения и деформации, както в общия случай за стоманени отливки, така и конкретно за лят мост на товарен автомобил.

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, pp 1-6.

[3] A.Egner-Walter, M.Kothen, *Using stress simulation to tackle distortion and cracking in castings*, Metallurgical science and technology, Vol.24 No.2, Teksid Aluminium, Italy, 2006

[4] N. Nikolov, *Calculation of the residual stresses and defor-mations 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.

PARTICULARITIES IN CALCULATIONS OF A HEAVY VEHICLE REAR AXLE CAST BEAM RESIDUAL STRESS AND DEFORMATIONS

Nikolay NIKOLOV