

## СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА БАРАБАННА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ТИП МТЦ 4,5Х6

**Иван Минин**

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: [minin@dir.bg](mailto:minin@dir.bg)

**РЕЗЮМЕ.** Приложението на компютърните технологии има все по-нарастващо влияние в най-различни сфери на развитие на човешкото познание. Този факт в особена степен се отнася за отраслите на тежкото машиностроене, един от основните представители на който са обогатителните машини. Основната задача на настоящата статия е чрез специализирани софтуерни продукти да се демонстрират възможностите за моделиране, изследване и анализ (по метода на крайните елементи) на барабанни мелници.

SIMULATION MODELING AND ANALYSIS OF A TUMBLING BALL MILL TYPE 4,5X6

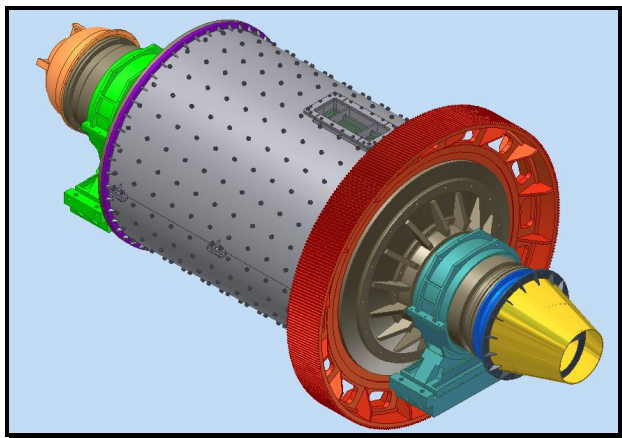
Ivan Minin

University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, E-mail: [minin@dir.bg](mailto:minin@dir.bg)

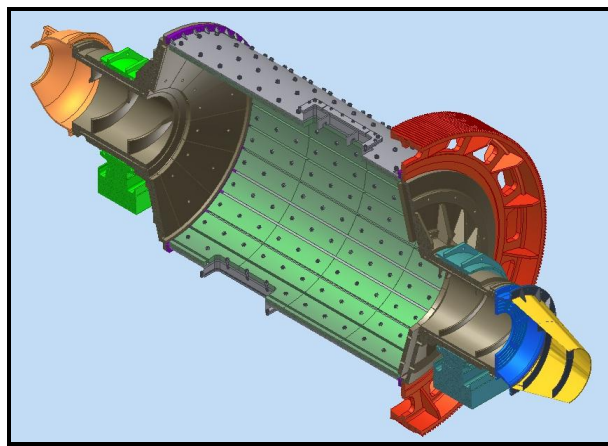
**ABSTRACT.** The application of computer technologies is having an increasing role in many spheres of human knowledge. This fact is especially true for the heavy machine building and for the processing machines in particular. The main task of the presented paper is to demonstrate the possibilities for modeling, study and analysis based on finite element method of tumbling ball mills through the application of specialized computer products.

### Създаване на CAD модел на мелница тип МТЦ 4,5х6

При създаване на модела са спазени всички размери съгласно работните чертежи на мелницата. Този модел ще бъде необходим при симулационното изследване на машината. За целта бе създаден CAD модел на барабанна топкова мелницата, по оригинална работна документация. За създаването на настоящият модел, бе използван специализиран програмен продукт за CAD моделиране, а именно SolidWorks. Общ изглед на 3D модела е показан на фигура 1, а на фигура 2 показан разрез на модела на който се виждат основните възли на мелницата.



Фиг. 1 Мелница МТЦ 4,5 х 6



Фиг. 2. Разрез на мелница МТЦ 4,5х6

### Резултати от симулационния анализ

Симулационният анализ е извършен на базата на специално създаденият тримерен модел на мелницата със специализирания софтуер SolidWorks, като са пренебрегнати детайлите, които нямат отношение към носещата способност на конструкцията. Използван е метода на крайните елементи с помощта на програмния продукт COSMOSWorks.

### Избор на критерий за гранично състояние

Оценката на деформационно-напреженовото състояние на изследвания модел е задача, която няма универсално решение за всички срещани в практиката случаи и в най-голяма степен зависи от използвания материал. От друга страна, материалите могат да се държат като крехки или пластични в зависимост от температурата, степента на натоварване или начина на изработка на изделието. Всички тези особености предопределят избора на някоя от следните якостни теории:

- Теория на максималните нормални напрежения. Валидна за крехки материали. Основана се на условието, че границата на разрушаване на материала е една и съща на опън и натиск. Това допускане не отговаря на истината за всички случаи. Например повечето концентратори на напрежение намаляват съпротивлението на материала при натоварване на опън много повече отколкото при натоварване на натиск. Съгласно тази теория гранично състояние настъпва, когато максималното главно напрежение достигне допустимото:

$$\sigma_1 \geq [\sigma] \quad (1)$$

- Теория на максималните тангенциални напрежения. Валидна за жилав и ковък материал. При прилагането ѝ за материали с различни механични характеристики на опън и натиск, както и при състояния на всестранен опън получените резултати могат съществено да се различават от действителността. Съгласно теорията критерий за гранично състояние е максималното тангенциално напрежение:

$$\tau_{\max} \geq [\tau] \quad (2)$$

където:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3)$$

- Енергетична теория (Von Mises). Теорията се основава появата на пластични деформации в ковките материали, когато се изравни с максимално допустимото напрежение. В повечето случаи се взема предвид границата на провлачване на материала. Резултатите при материали с различни механични характеристики на опън и натиск също са незадоволителни. От гледна точка на главните напрежения критерият за гранично състояние е:

$$\sigma_{\text{VonMises}} \geq [\sigma] \quad (4)$$

където:

$$\sigma_{\text{VonMises}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (5)$$

- Теория на Мор-Колумб. Приложима е за крехки материали с различни свойства на опън и натиск. Според тази теория гранично състояние настъпва, когато се изпълни някое от следните условия:

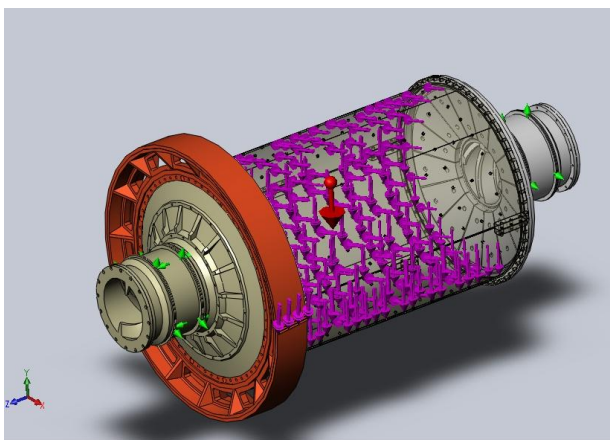
$$\sigma_1 \geq [\sigma_{\text{оп}}] \text{ при } \sigma_1 > 0, \sigma_3 > 0; \quad (6)$$

$$\sigma_3 \geq [-\sigma_{\text{нат}}] \text{ при } \sigma_1 < 0, \sigma_3 < 0; \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_1}{[\sigma_{\text{оп}}]} + \frac{\sigma_3}{[\sigma_{\text{нат}}]} < 1 \text{ при } \sigma_1 \geq 0, \sigma_3 \leq 0; \quad (8)$$

Съгласно областите на приложение на разгледаните якостни теории, очевидно най-близо до условията, характерни за материала и натоварването на изследваната конструкция стоят теорията на максималните тангенциални напрежения и енергетичната теория.

На фигура 3 е показано разположението на силите, действащи на мелницата, както и опорните реакции в лагерите.



Фиг. 3 Сили и опорни реакции

### Настройка на програмните инструменти за дискретизация

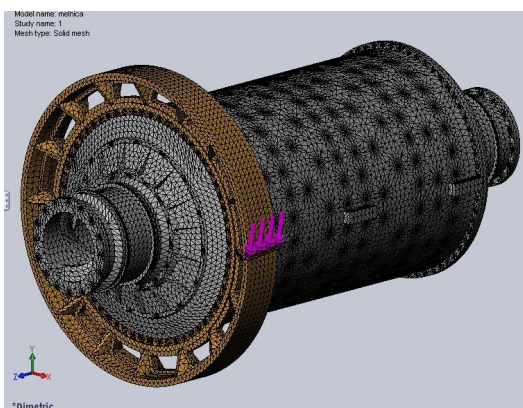
Методът на крайните елементи (FEA анализ) представлява числен метод за оценка на инженерните решения. За целта изработеният тримерен модел се разделя на малки части от прости по форма елементи, свързани помежду си с общи точки (възли). Методът определя поведението на модела като комбинира информацията, получена от всички образуващи елементи.

Замрежването (дискретизацията) на модела е една от най-важните стъпки от изследването. Големият брой елементи предполага по-висока точност на резултатите, но също така увеличава продължителността на изчислителния процес. Обратно – при малък брой крайни елементи изчислителното време намалява, но това е предпоставка за грешки при построяването на мрежата и по-неточни резултати.

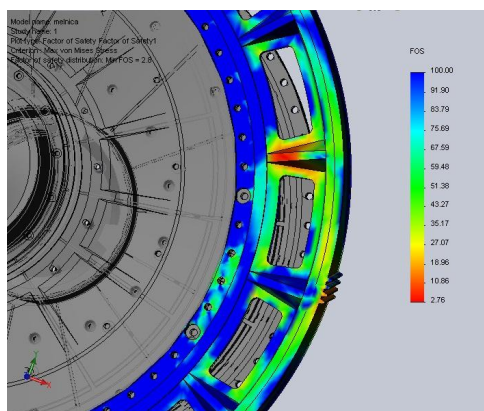
Оптималните настройки за дискретизацията на модела се получават след няколко опита за замрежване. Необходимо е да се следят времето за извършване на операциите, големината и броят на получените крайни елементи, както и детайлите в които са възникнали грешки при дискретизирането им. В някои случаи при изследване на големи сглобени единици, съдържащи детайли със

сложна форма или относително малки спрямо модела габарити, общото намаляване на размера на крайните елементи би довело до недопустимо нарастване на техния брой. В такъв случай се пристъпва към редуциране на размера на крайните елементи само на проблемните детайли, а общият размер се запазва в оптималните за целия модел стойности.

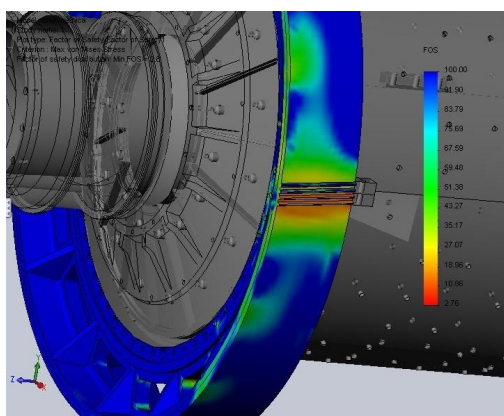
На фигура 4 е показан моделът на топкова мелница след дискретизация, а на фигури 5, 6, 7 и 8 са показани диаграмите на напреженията в зъбния венец и барабана на мелницата.



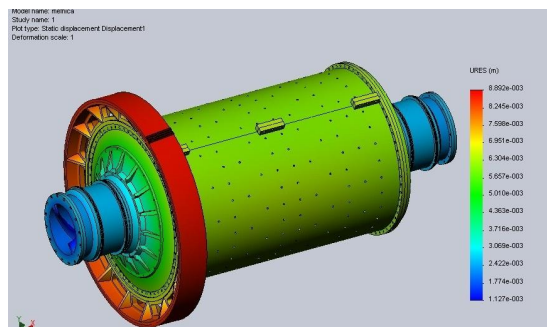
Фиг. 4 Дискретизация на модела



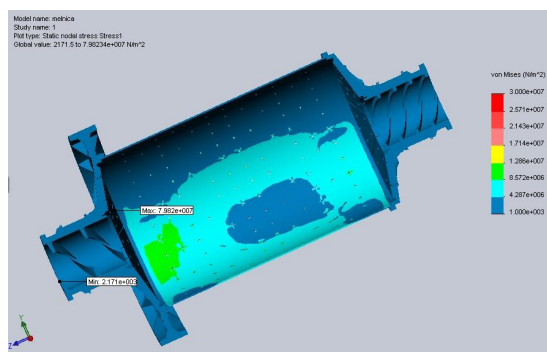
Фиг. 5. Напрежения в зъбния венец



Фиг. 6 Напрежения в зъбите на венета



Фиг. 7 Напрежения в спиците на венета



Фиг. 8 Напрежения в барабана

## Изводи

От Фигурите и диаграмите на напреженията става ясно, че максималната стойност от 54 МПа се намира в основата на зъбите, участващи в зацепването на зъбният венец с малкото зъбно колело.

По-големи концентрации на напрежение (около 35 МПа) се забелязват по спиците на зъбният венец (фигура 6,7) и отворите на фланеца, посредством който е монтиран към барабана на мелницата. На фиг. 8 се забелязва зона в корпуса на барабана, разположена от страната на зъбният венец. Наблюдава се сложно напрегнато състояние, породено от едновременното действие на центробежните сили, породени от масата на топките на мелницата и усукващият момент, предаван на барабана от зъбният венец. Възникващите напрежения са от порядъка на 35 – 40 МПа .

Локални концентрации се забелязват и в зоната на контакт между дъната и барабана.

Анализът на резултатите от извършения линеен статичен анализ показва, че най-големите стойности на напреженията и деформациите не надхвърлят допустимите за конкретния случай.

## Литература

Дамянов Ц., Компютърно моделиране на механични системи, МГУ 2009.

Препоръчана за публикуване от катедра „Механизация на мините“, МЕМФ