

## СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВАЛЦОВА ТРОШАЧКА ЗА ТРОШЕНЕ НА МЕДНИ РУДИ

**Иван Минин**

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

**РЕЗЮМЕ.** При експлоатацията на валцовите трошачки за ситно трошене, работещи с медни руди, се наблюдава интензивно износване на основни възли и детайли на машината. Това най-вече се отнася за външната повърхност на валците и за някои зони от вала, намиращи се между ремъчната шайба и лагерното тяло от страната на ремъчната шайба. С помощта на съвременни компютърни програми е моделирана валцова трошачка с гладки валци, използвана в обогатителна фабрика „Елаците“. Трошачката е двувалцова с индивидуално задвижване на всеки валец поотделно посредством ремъчна предавка. Направен е статичен компютърен анализ на вала и валеца с цел да бъде установено наличието на напрежения и деформации, надвишаващи допустимите. За целта теоретично е определена силата, действаща на валците при трошене, като е прието, че валците смачкват рудни късове, използвайки 20% от активната си площ, формираща трошачната камера на машината. Определена е и силата на триене, породена от нормалната сила на трошене. Получените резултати показват значителни напрежения във вала и нисък фактор на сигурност на бандажната част на валците. Направени са съответните изводи.

**Ключови думи:** Трошачка, валец, напрежение, фактор на сигурност.

### SIMULATION MODELLING AND STUDY ON ROLLER CRUSHERS FOR COPPER ORES CRUSHING

**Ivan Minin**

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

**ABSTRACT.** During the operation of the roller crushers for fine crushing of copper ores is observed an intensive wear of basic units and details of the machine. This especially refers to the outer surface of the rollers and for some certain areas of the shaft located between the belt sheave and bearing on the side of the belt sheave. With the help of modern computer programs is designed a roller crusher with smooth rolls, used in the flotation plant of Ellatzite-Med AD. The crusher is a dual-roller with an individual operation of each roller through a belt transmission. For this purpose, there is theoretically defined the force acting on rollers during the crushing as it is accepted that the rollers crush the ore chunks using 20% of their active surface forming a crushing chamber of the machine. Furthermore, it is determined and the friction force caused by normal crushing force. The results show significant tensions in the shaft and lower security factor of the bandage of the rollers. The respective conclusions are made. After that is performed a static analysis of the shaft (axle) and the roller in order to establish the presence of stresses and deformations that exceed the permissible ones.

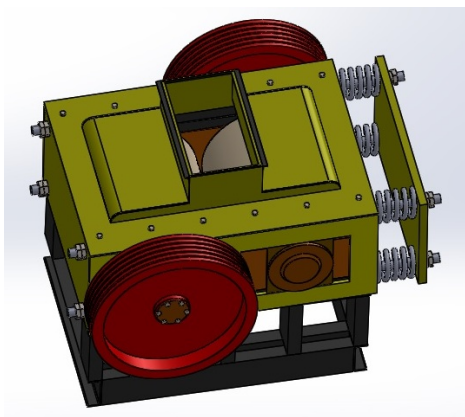
**Key words:** Crusher, roller, tension, security factor

### Създаване на CAD модел на двувалцова трошачка с гладки валци

При създаване на CAD модела са спазени всички размери съгласно работната документация на трошачката. Този модел е необходим за симулационно изследване на машината. За създаването му е използван специализиран програмен продукт за CAD моделиране, а именно Solid Works. Общ изглед на 3D модела е показан на Фиг. 1.

#### Резултати от симулационния анализ

Симулационният анализ е извършен на базата на специално създадения тримерен модел на валцовата трошачка, като са пренебрегнати детайлите, които нямат отношение към носещата способност на конструкцията. Използван е методът на крайните елементи с помощта на програмния продукт Solid Works Simulation.



Фиг. 1. Модел на валцовата трошачка

#### Избор на критерии 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 е за крехки материали. Основава 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 е за жилав и ковък материал. При прилагането ѝ за материали с различни механични характеристики на опън и натиск, както и при състояния на всеотрастен опън получените резултати могат съществено да се различават от действителността. Съгласно теорията критерий за гранично състояние е максималното тангенциално напрежение:

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

където:

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

- Енергетична теория (Von Mises). Теорията се основава на 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:

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

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

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

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

На фиг. 2 е показано разположението на силите, действащи на вала и валеца на трошачката, както и опорните реакции в лагерите.

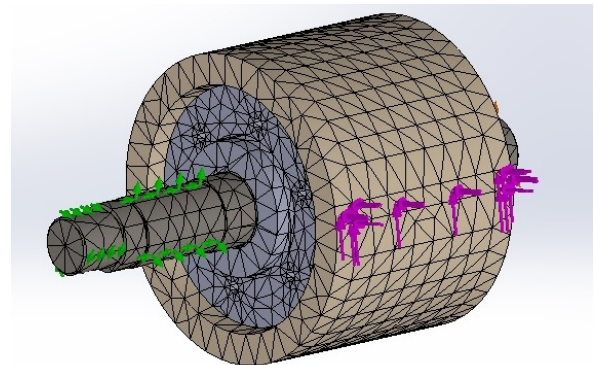
Определянето на силата на трошене, действаща на валците на трошачката, се определя по следния начин:

Работата за трошене на руден къс с обем  $V$  може да бъде определена от израза:

$$A = \frac{\sigma_{\max}^2 \cdot V}{2E}, J \quad (9)$$

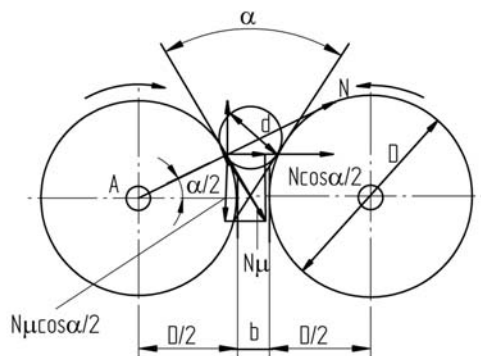
където:  $\sigma_{\max} = 25 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  е максималното напрежение на разрушаване при смачкване на рудата;

$E = 7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  - модул на еластичност при натиск на разтрошавания материал.



Фиг. 2. Сили и опорни реакции

При това допускане максималното усилие от работния орган на трошачката (валците), би могло да се определи като произведение на напрежението на разрушаване при смачкване  $\sigma_{\max}$  с 20% от площта на валците в зоната на редуциране на рудния къс от диаметър  $D$  към диаметър  $d$  (Фиг.3).



Фиг. 3. Схема на трошачката

$$P_{\max} = 0,2 \cdot \sigma_{\max} \cdot F = 1310 \text{ kN} \quad (10)$$

Силата, действаща радиално на валеца, се определя:

$$N = \frac{P_{\max}}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} = 660 \text{ kN} \quad (11)$$

Освен това тази сила създава сила на триене  $N_{TP}$ , която може да бъде определена по израза:

$$N_{TP} = \mu \cdot N = 132 \text{ kN} \quad (12)$$

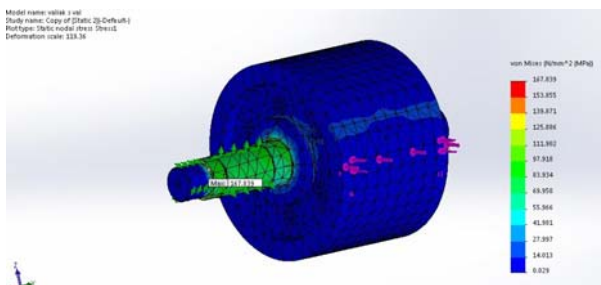
### Настройка на програмните инструменти за дискретизация

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 и увеличава продължителността на изчислителния процес. Обратно – при малък брой крайни елементи изчислителното време намалява, но пък това е предпоставка за грешки при построяването на мрежата и за 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.

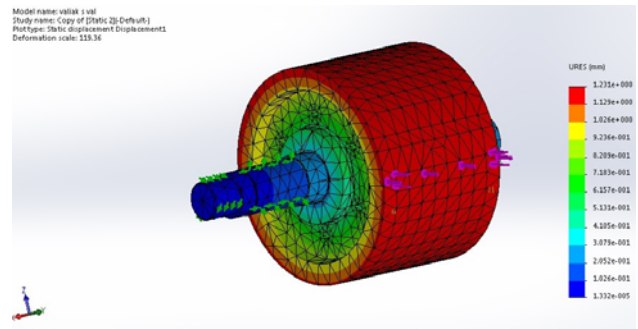
На фиг. 2 е показан моделът на вала с валеца на трошачката след дискретизация, а на фиг. 4 е показана диаграмата на разпределението на напреженията в валеца и вала на трошачката.



Фиг. 4. Напрежения във вала и валеца

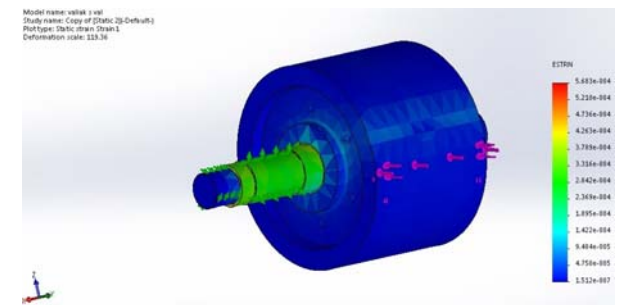
На фиг. 5 е показана диаграма на разпределението на абсолютните деформации на изследвания обект, а на фиг.

6 е показано разпределението на относителните деформации.

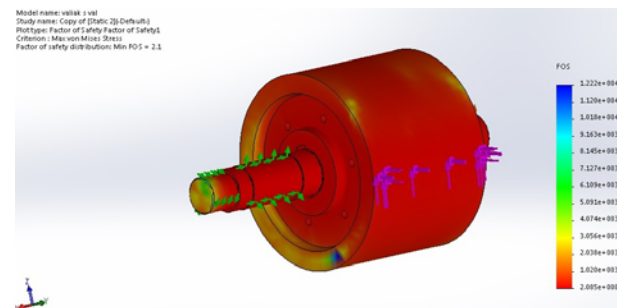


Фиг. 5. Деформации в обекта на изследването

На фиг. 7 е показана диаграма на фактора на сигурност съгласно енергетичната теория на Von Mises.



Фиг. 6. Относителни деформации



Фиг. 7. Разпределение на фактора на сигурност

### Изводи

От фигурите и диаграмите на напреженията става ясно, че максималната стойност от 167MPa попада в основата на стъпалото на вала, намираща се между ремъчната шайба и лагера от същата страна.

По-големи концентрации на напрежение (около 60MPa) се забелязват по зоните на вала, контактуващи с елементите на валеца на трошачката. На фиг. 5 се забелязва зона в повърхността на валеца, където има максимална деформация от порядъка на 1-2mm.

Резултатите от извършения линеен статичен анализ показват, че най-големите стойности на напреженията и

деформациите не надхвърлят допустимите за конкретния случай.

Относно фактора на сигурност (Фиг. 7), този критерий се базира на теорията на Mises – Henky, според която **FOS** представлява отношение между големината на допустимото напрежение, съответстващо на границата на еластичност -  $\sigma_{limit}$  и тази на еквивалентното напрежение -  $\sigma_{von}$ . В направеното изследване минималната стойност на фактора на сигурност е малко над допустимата стойност:

$$FOS_{MIN} = \frac{\sigma_{limit}}{\sigma_{von}} = 2,1 > 1 \quad (13)$$

## Литература

Акерман Ю., Г. Букаты, В Олевский и др., “Справочник по обогащению руд”, Москва, Недра, 1982г.  
Дамянов Ц., “Компютърно моделиране на механични системи”, МГУ 2009.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините”.