

ИЗПОЛЗВАНЕ НА МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ ПРИ КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА УДАРНО-ОТРАЖАТЕЛНА ТРОШАЧКА ЗА СРЕДНО ТРОШЕНЕ

Живко Илиев, Николай Переновски

halkopirit@abv.bg, perenovski@abv.bg

*Минно-геоложки Университет „Св. Иван Рилски“,
гр. София, 1700, ул. Проф. Боян Каменов,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *обогатителни машини, пътно-строителни машини, ударно-отражателна трошачка, метод на крайните елементи*

Резюме: *В статията е направен статичен анализ на съществуващ модел на ударно-отражателна трошачка с помощта на метода на крайните елементи. Намерени са минималните стойности на фактора на сигурност на местата с максимално натоварване. На базата на получените резултати са направени изводи съществени за практиката.*

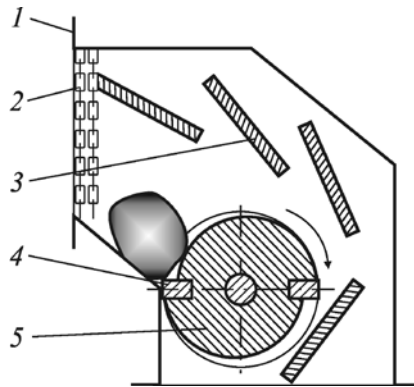
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Трошачките с ударно действие се използват за смилане на малкоабразивни материали с малка и средна якост - варовици, гипс, барити, калаена руда, каменни въглища и др. Този вид трошачки позволяват да се получи висока степен на трошене $i = 15 - 20$, а в отделни случаи и до $i = 50$, в резултат на което се намалява броя на стадияте на трошене. Разтрошаването на материала става под въздействие на механичен удар т.е. кинетичната енергия на механично тяло (ротора) преминава частично или напълно в енергия на деформация за разрушаване на материала.

Предмет на настоящата статия са ударно-отражателните трошачки. Принципна схема на този вид машини е показана на фиг.1

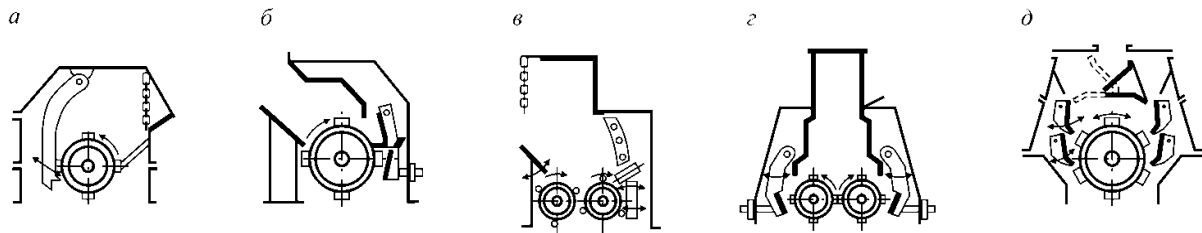
В корпуса 1 е разположен въртящият се с голяма скорост ротор 5, върху който са монтирани неподвижно чукове 4. Задвижването на ротора се осъществява от електро-двигател и клиноремъчна предавка. В корпуса са монтирани отражателни плочи 3. С тяхна помощ се извършва регулирането на едрината на разтрошения продукт. Трошенето се осъществява в резултат на удар между материала и чуковете и последващ удар в отражателните плочи. Благодарение на това се постига високата степен на трошене при този тип машини.

Различни конструктивни схеми ударно-отражателни трошачки са показани на фиг.2.



Фиг.1. Схема на роторна трошачка

1 — корпус; 2 — верижна завеса; 3 — отбойни плочи; 4 — чук; 5 — ротор



Фиг.2. Конструкции ударно-отражателни трошачки

а) еднороторна нереверсивна с решетка; б) еднороторна нереверсивна, без решетка;
в) двуроторна с решетка; г) двуроторна без решетка; д) еднороторна реверсивна.

Основни съотношения за пресмятане на ударно-отражателни трошачки.

Критичен размер на частицата дробим материал наричаме размерът, под който при дадени условия материала не се троши. Той може да бъде определен по формулата

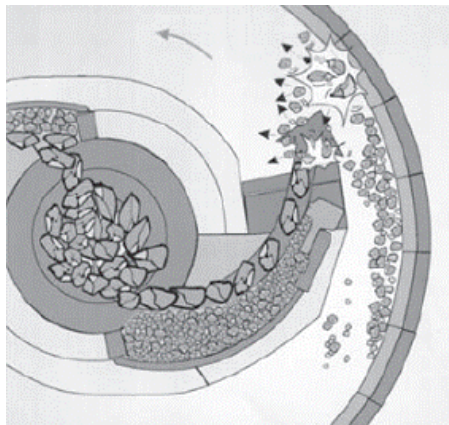
$$d_{кр} = \frac{230 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_p}{\rho_0 \cdot V_p^{1,5}} \quad (1)$$

където:

σ_p - допустима якост на материала при трошене, Па;

ρ_0 - насипна плътност на материала kg/m^3 ;

V_p - периферна скорост на ротора m/s.



Фиг.3. Движение на материала в ударно-отражателната трошачка

Скоростта на удара, осигуряваща къс с размер равен на критичния се нарича критична скорост $V_{кр}$ и при зададени предварително σ_p и ρ_0 на изходния материал и едрина на продукта на трошене d може да бъде определена по израза

$$V_{кр} = 1,75 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\sigma_p}{\rho_0 \cdot d}\right)^2} \quad (2)$$

В камерата за трошене над ротора постоянно има количество от трошим материал, което се спуска надолу под действие на гравитационните сили (фиг.4). При всяко завъртане роторът срязва стружка с обем

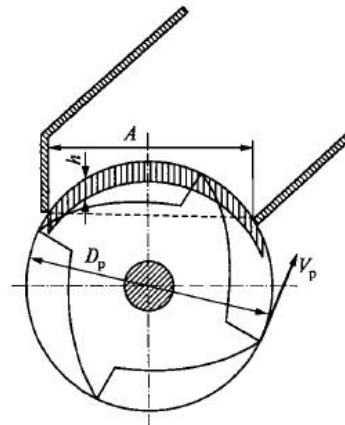
$$V = A \cdot L_p \cdot h,$$

където:

A – хоризонтална проекция на дъгата, m;

L – ширина на ротора, m;

h – дебелина на стружката по вертикалата, определена като път за свободно падане на късовете за времето на завъртане на ротора между два чука, m.



Фиг.4 Схема за определяне на производителността на ударно-отражателна трошачка

Производителността на ударно-отражателната трошачка се определя от израза

$$Q = A \cdot L_p \cdot h \cdot n \cdot z, \text{ m}^3/\text{s} \quad (3)$$

където:

n – честота на въртене на ротора s^{-1} ;

z – брой на редовете чукове, монтирани върху ротора.

На базата на експериментални данни е получена формулата [1]

$$Q = 480 \cdot \frac{L_p \cdot D_p^{1,5}}{V_p^{0,35} \cdot z^{0,5}} \cdot k_\beta, \text{ m}^3/\text{s}. \quad (4)$$

Отчитайки, че роторните трошачки позволяват да се получи голяма степен на трошене и дават сравнително дребен продукт на трошенето мощността на електро-двигателя може да се определи от формулата

$$N = \frac{W_{TP} \cdot Q \cdot (i - 1)}{D_{cn} \cdot \eta_{mp} \cdot \eta_{np} \cdot 1000}, \text{ kW}, \quad (5)$$

2. ТЕОРЕТИЧНИ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА УДАРНО-ОТРАЖАТЕЛНА ТРОШАЧКА ТИП ОМ11.

2.1. Определяне на силата на трошене

$$F_{\text{трошене}} = \sigma_{\text{смачкване}} \cdot S, kN$$

$$F_{\text{трошене}} = 12,75 \cdot 10^6 \cdot 0,012 = 153 kN$$

където $\sigma_{\text{смачкване}} = 12,75 MPa$ - напрежение на смачкване за гранит;

$$S = a \cdot b = 0,125 \cdot 0,094 = 0,012 m^2,$$

където $a=0,125m$ – ширина на един чук, $b=0,094m$ – височина на един чук;

2.2. Определяне на силата в ремъчната предавка

Въртящ момент на вала на трошачката.

$$M_{\text{Върт.}} = 9554 \cdot \frac{N_{\text{дв.}} \cdot i}{n_{\text{дв.}}} = 9554 \cdot \frac{30 \cdot 1,22}{950} = 368 N.m$$

където:

$N_{\text{дв.}} = 30 kW$ – мощност на двигателя;

$i = 1,22$ – предавателно отношение на ремъчната предавка.

Периферна сила

$$P = \frac{2 \cdot M_{\text{Върт.}}}{D} = \frac{2 \cdot 368}{0,404} = 1822 N$$

$$S_0 = \sigma_0 \cdot F \cdot 10^3 = 1,2 \cdot 0,000585 \cdot 10^3 = 0,702 kN,$$

където:

$F = 0,000585 m^2$ – Сечение на ремъка на ремъчната предавка,

$\sigma_0 = 1,2 MPa$ – Напрежение от предварително опъване в ремъка,

$Q_{\text{max}} = 3 \cdot \sigma_0 \cdot z \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$ – Сила върху валовете на ремъчната предавка,

където:

$\alpha = 147^\circ$ – ъгъл на обхвата на ремъчната шайба,

$z = 5$ – брой на ремъците.

$$Q_{\text{max}} = 3 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot 0,000585 \cdot \sin \frac{147}{2} \cdot 10^3 = 10 kN$$

$$tg \theta = \frac{P}{2 \cdot S_0} \cdot ctg \frac{\alpha}{2} = 0,38$$

$tg \theta$ - отклонение на силата от линията, съединяваща центровете на двата вала

$$\theta = arctg 0,38 = 20,7^\circ$$

където:

$W_{\text{тр}}$ – специфична енергопоглъщаемост, $W.h/m^2$;

$D_{\text{сп}}$ – среднопретеглен размер на изходния материал, m ;

$\eta_{\text{тр}}$ – к.п.д. на трошачката – $0,75 \div 0,95$;

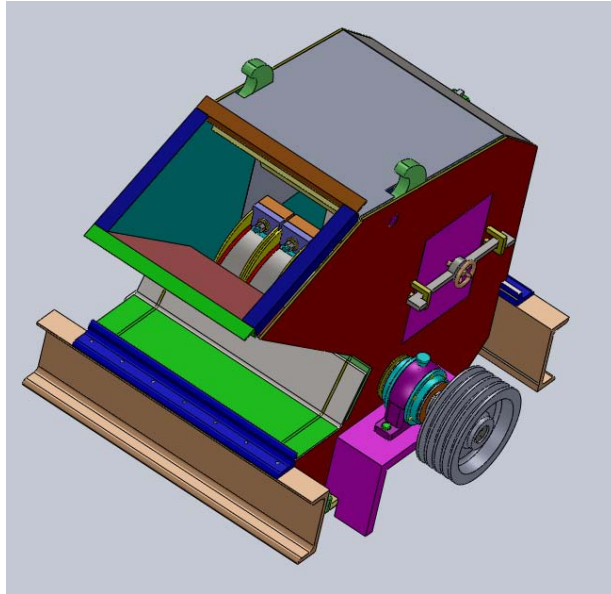
$\eta_{\text{пр}}$ – к.п.д. на ремъчната предавка – $0,92 \div 0,96$.

При липса или недостатъчно данни за определяне на производителността по формула (5) за роторните трошачки може да се използва и формулата

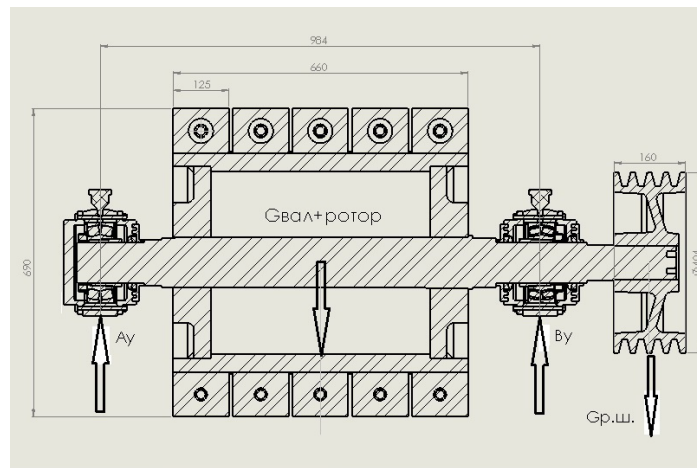
$$N = 9 \cdot D_p^2 \cdot L_p \cdot n, kW \quad (6)$$

3.ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Първият етап от провеждането на изследването е създаването 3D CAD модел на изследвания обект. Случаят се отнася до показаната на фиг.5 конструкция на ударно-отражателна трошачка тип ОМ-11. Моделирането е осъществено в среда на Solid Works с най-голямата възможна детайлизация за изходните данни.



Фиг.5 Тримерен модел на ударно-отражателна трошачка тип ОМ11



Фиг.6 Габаритни размери и сили действащи на ударно-отражателна трошачка

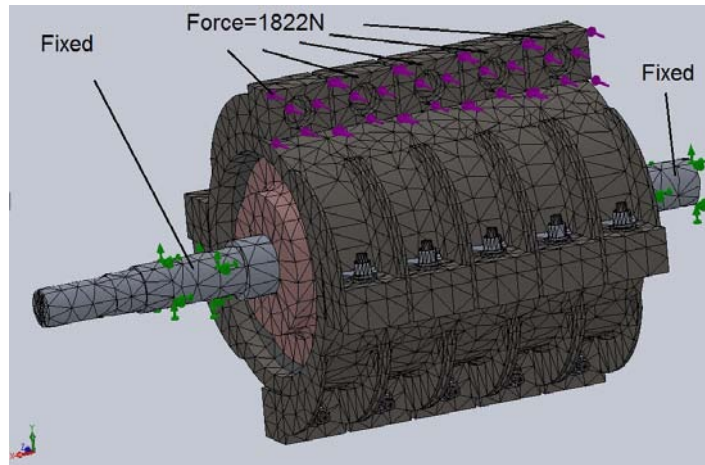
Следващият етап е прецизното планиране на самото изследване, с цел получаването на най-точни резултати. Поради тази причина процеса на изследване се характеризира със следните особености:

1. Избор на подходящ и същевременно достатъчно мощен софтуерен продукт за изследване с метода на крайните елементи. Тук определящо се оказва възможностите на продукта Cosmos Works за извършването на така наречената „дискретизация на обекта ” т.е. формирането на мрежа от крайни елементи при такава голяма (многокомпонентна) сглобена единица(Фиг. 7)
2. Определяне на условия на силово натоварване по големина и разпределение(Фиг.7).

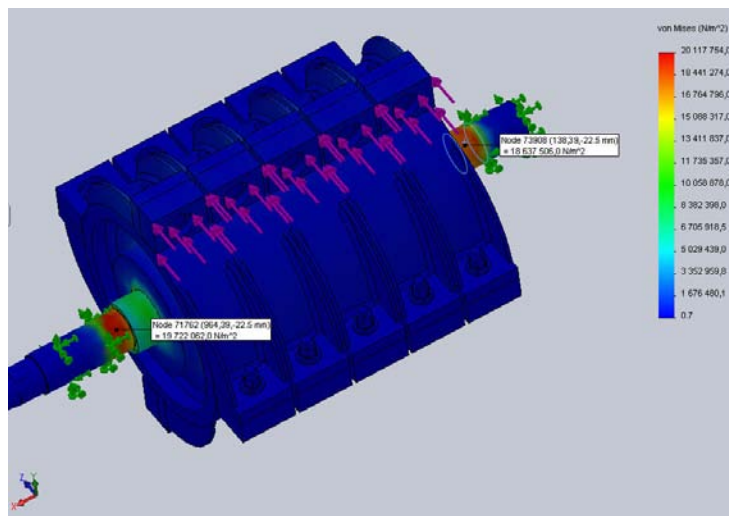
Анализ на деформационното и напрегнато състояние[3,4]

В процеса на работа ще бъдат използвани само някои от възможностите на програмния продукт за изследване по МКЕ, а именно:

- Еквивалентно напрежение според теорията на von Mises [Стойчев Г., Метод на крайните елементи, София, 2000];
- Коефициент на сигурност по теорията на Mises-Henky;
- статични деформации (абсолютни и еквивалентни).



Фиг7 Гранични условия наложени на модела и неговата дискретизация(замрежване) в среда на Cosmos Works



Фиг7. Разпределение на еквивалентните напрежения върху CAD-CAE модела

Според теорията на von Mises-Henky границата на провлачането се определя от отношението между големината на еквивалентното напрежение по von Mises σ_{VON} и тази на допустимото напрежение $[\sigma_{AL}]$

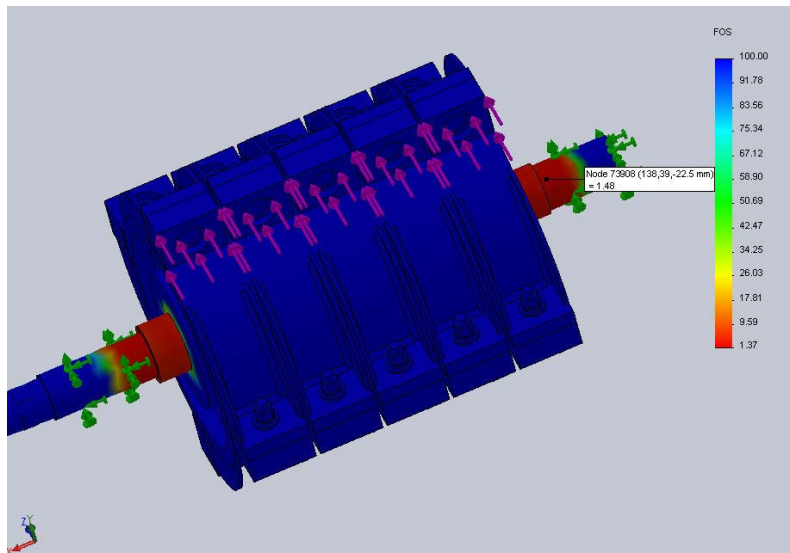
$$\sigma_{VON} \geq [\sigma_{AL}]$$

Напреженията по von Mises могат да се изразят чрез трите главни напрежения, съгласно зависимостта (7)

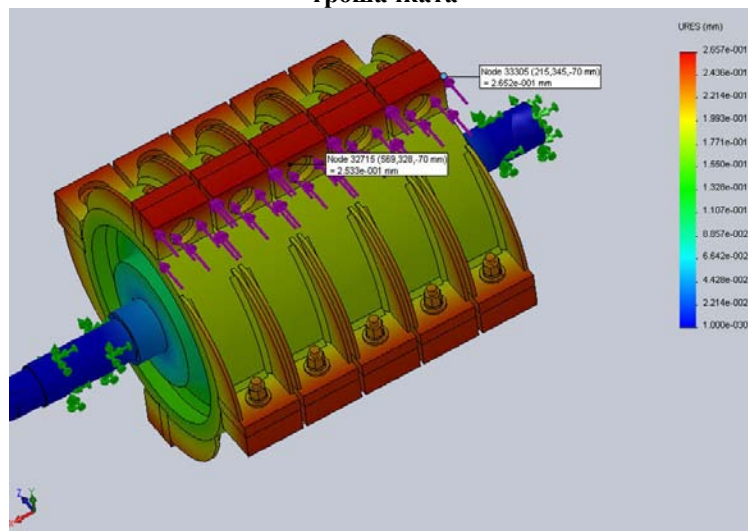
$$\sigma_{VON} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (7)$$

Граничната стойност на напрежението $[\sigma_{AL}]$ може да бъде изразена като функция от напрежението на провлачане или напрежението на разкъсване на материала. От тук следва, че коефициента на сигурност според von Mises, наречен FOS ще се изчисли съгласно зависимостта (8)

$$FOS = \frac{[\sigma_{AL}]}{\sigma_{VON}} \quad (8)$$



Фиг8. Разпределение на фактора на сигурност (FOS) върху задвижващия вал и ротора на трошачката



Фиг9. Разпределение на статичното премествана на вала и ротора

4. РЕЗУЛТАТИ.

Получените резултати за напреженията във вала и ротора са показани на фиг. 7. От фиг. 7 се вижда , че максималните напрежения (по von Mises) във вала са от порядъка на $20\,117\,754\text{ N/m}^2$ или $20,117\text{MPa}$, което прави коефициент на сигурност съгласно формула (8) $FOS=1,37$ (фиг.8). Съществуващите концентратори на напрежения са в ръбовите точки на контакт между вала и страничните капацы на ротора. Тези

резултати са нормални и допустими. От картината на деформационното преместване изобразено на фиг. 9 се вижда, че максималната му стойност е по периферията на чуковете с размерност 0,265mm. Критичните стойности на $FOS=1,37$, при които напреженията са близки до границата между еластичната и пластична деформация, както и знакопроменливият характер на натоварването предполагат оценка и на уморната якостна на конструкцията, което може да осъществи чрез бъдещи динамични изследвания на машината.

6. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ИЗВОДИ

От анализа на получените резултати, могат да се направят следните заключения:

- Данните за деформационно напрегнатото състояние на изследваните задвижващ вал и ротор позволяват да се определи големината и визуализира разпределението на областите с концентрация на механични напрежения;

- На база получените резултати могат да се извършат конструктивни промени, да се оптимизира разпределението на напреженията и да се редуцират максималните им стойности. По този начин ще се увеличи сигурността и експлоатационният цикъл на ударно-отражателна трошачка.

7. ЛИТЕРАТУРА:

[1] Поникаров И.И., Поникаров С.И., „Разчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки“ Москва, Альфа-М, 2008г.

[2] Фейгин Л.А., „Дробильные, сортировочные и транспортирующие машины“, Москва, 1983г.

[3] Стойчев Г., „Метод на крайните елементи“, София, 2000г.

[4] Радлов К., Илиев Ж., „Възможности за използването на метода на крайните елементи при проектирането на дисков захранвач за минни и строителни машини“ International Scientific Conference UNITECH 11 ,Gabrovo.

USING FINITE ELEMENT METHOD BY DESIGN OF IMPACT CRUSHER FOR AVERAGE CRUSHING

Zhivko Iliev, Nikolai Perenovski
halkopirit@mail.bg, perenovski@abv.bg

University of Mining and Geology "St Ivan Rilski"
Prof. Boyan Kamenov St., 1700 , Sofia
BULGARIA

Key words: : ore dressing machine, road- construction machine, impact crusher, finite element method

Abstract: *The present development deals with the research of stresses and deformations in the impact crusher for average crushing. The proposed methodology includes the stages: deformation of loads acting in the rotor and the shaft of impact crusher and after that applying these loads on a computer 3D model. As a result of that we obtain the stresses and deformations. In this way we can get the real picture for the bearing capacity of the shaft and for values of stresses and deformations in critical points of constructions.*