

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА ПРИ РАСЧЕТЕ В СИСТЕМЕ ANSYS НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТКИ УСКОРИТЕЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОЙ ДРОБИЛКИ

Петровский А.Л., Пронкевич С.А., Мартыненко И.М.

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск

Дробилки центробежно-ударные предназначены для измельчения рудных и нерудных материалов. В центробежной дробилке разрушение материала происходит за счет удара материала об отбойные элементы при разгоне его в поле центробежных сил во вращающемся ускорителе,

Ударный способ разрушения материалов, реализуемый в центробежных дробилках и мельницах, обладает огромным резервом для повышения производительности процессов дробления и измельчения, повышения качества продукции, снижения энерго- и материалоемкости.

Центробежно-ударные дробилки позволяют выполнять операции дробления практически любых, в том числе, труднообрабатываемых абразивных материалов. В основу конструкции дробилок заложен опорный узел "на воздушной подушке"

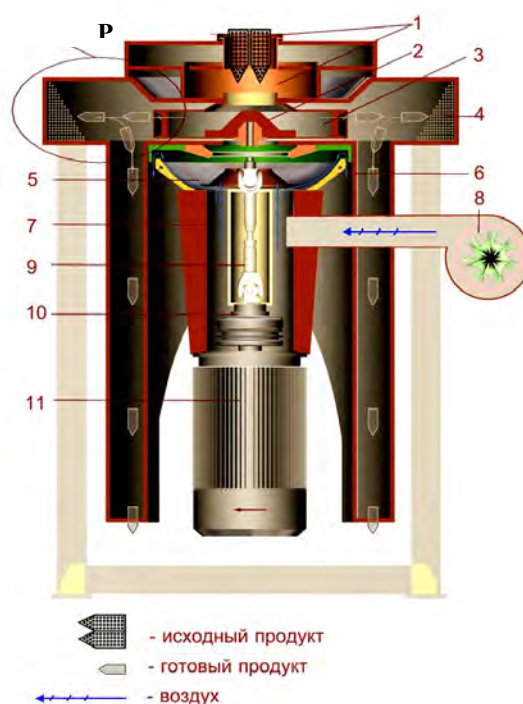


Рисунок 1 – Схема центробежно-ударной дробилки

Принцип работы центробежно-ударной дробилки показан на рис. 1. Вентилятором высокого давления 8 в камере 7 создается давление воздуха, необходимое для «всплытия» ротора и образования воздушного зазора между ротором 5 и статором 6. Образовавшаяся воздушная подушка под ротором играет роль газового подшипника, что позволяет создать самобалансирующуюся систему рабочего органа дробилки.

На валу двигателя 11 установлена центробежная муфта 10, предназначенная для облегчения запуска рабочего органа дробилки и предохраняющая дробилку от повреждений. Карданная передача 9 приводит в движение рабочий орган дробилки и имеет возможность регулировать величину «всплытия» ротора.

Исходный продукт через воронки 1 подается на разделительный конус 2, который равномерно распределяет его по каналам ускорителя 3. Исходный материал, получив во вращающемся ускорителе необходимую для выброса окружную скорость и, соответственно, кинетическую энергию, ударяется о самофутерующийся слой или отбойные плиты камеры дробления 4 и разрушается.

Процесс разрушения материалов ударным способом по сравнению с разрушением материала за счёт сдвиговых напряжений в конусных и щековых дробилках имеет ряд преимуществ, основными из которых являются качество получаемого материала, низкие капитальные и эксплуатационные затраты.

При больших скоростях вращения (около 4000 об/мин) ускорителя (рис. 2) палец крепления лопатки испытывает высокие напряжения, которые в ходе работы за счет смятия материалов упрочняются и общий уровень напряжений на срез в контактных парах устанавливается до удовлетворительных величин. Данное явление с помощью линейного упругого статического расчета выявить невозможно и в данном случае необходимо применять нелинейный статический расчет с учетом характеристик деформирования материалов.

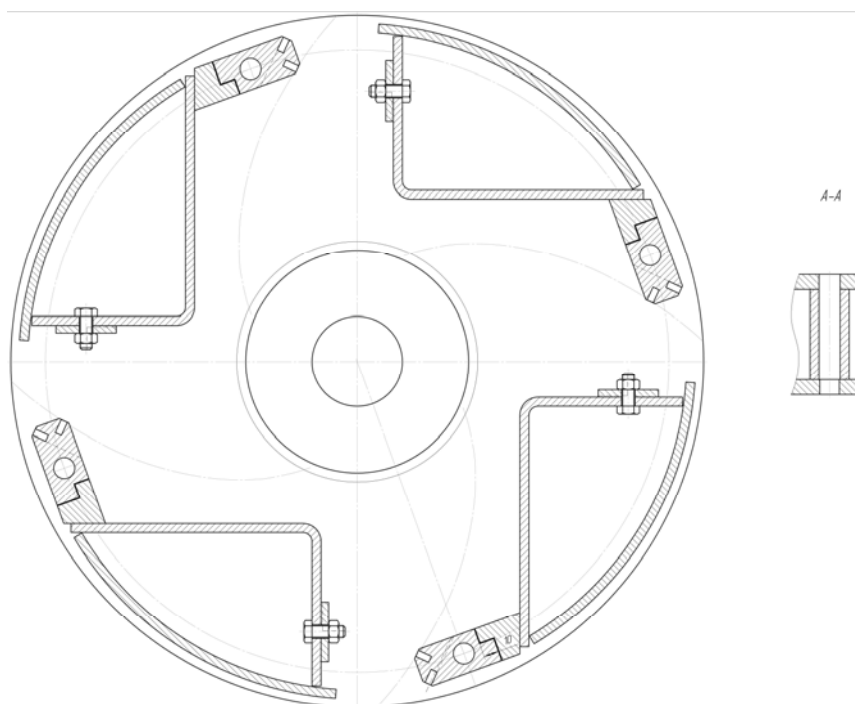


Рисунок 2 – Ускоритель центробежно-ударной дробилки.

В расчет принимаем сектор конструкции ввиду её симметрии (рис. 3)

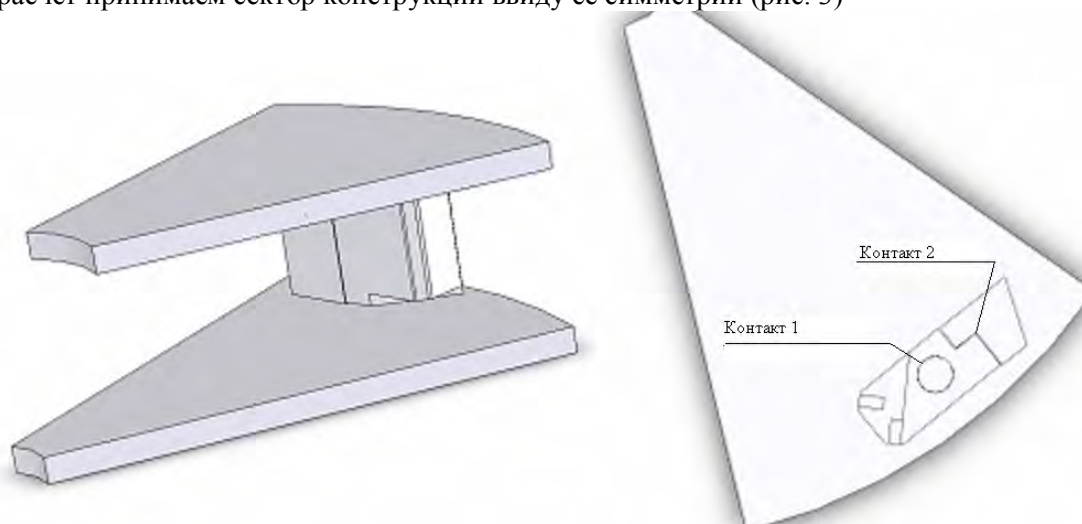


Рисунок 3 – Расчетная модель сектора центробежно-ударной дробилки.

Конструкцию рассчитываем с применение двух контактных пар: лопатка и палец (контакт 1, рис. 4), лопатка и упор (контакт 2, рисунок 4)

При расчёте принимаем следующие характеристики для всех материалов:

Модуль упругости – 2×10^{11} Па;

Коэффициент Пуассона – 0,3;

Предел текучести – 355 МПа.

Плотность – 7850 кг/м^3 .

Свойство контактных пар – «нет проникновения»

Упрощённая модель представляет собой сборку из двух деталей: пальца и лопатки, причём в виду симметрии была принята половина детали (рис. 4).

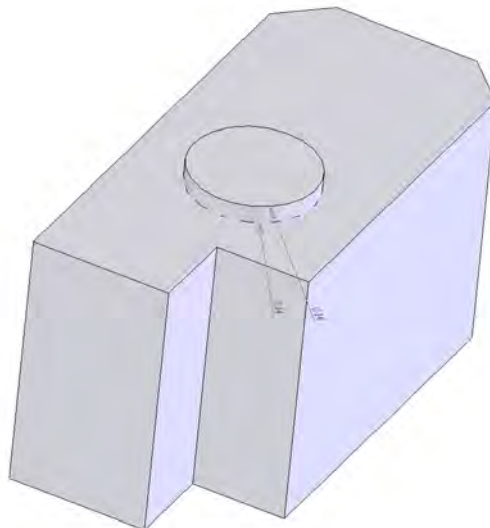


Рисунок 4 – Упрощенная модель пальца и лопатки сектора центробежно-ударной дробилки.

Для упрощения реализации расчёта трёхмерная модель создавалась в SolidWorks и импортировалась в ANSYS .в формате Parasolid (x_t).

На рисунке 5 представлена расчетная модель с нагрузками и граничными условиями:

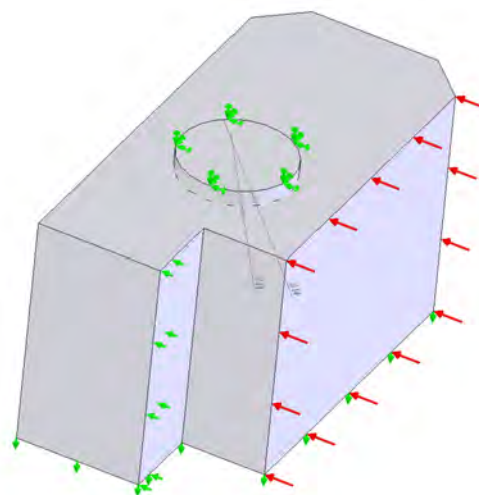


Рисунок 5 – Граничные условия модели пальца и лопатки сектора дробилки.

Верхний край пальца зашпелен, так как в реальной модели он закреплён на диск ускорителя; контакт 2, рис. 5, смоделирован запрещением перемещения в направлении перпендикулярном контактной плоскости, на нижней грани (т.к. упрощенная модель представляет собой половину детали) приложено условие симметрии.

Инерционная нагрузка приведена к давлению на соответствующую поверхность по следующим соотношениям:

$R = m\omega^2 r$, где $m = 0.445$ кг – масса лопатки с пальцем, $\omega^2 = 440 \text{ с}^{-1}$ – угловая скорость, $r = 0.207$ м – расстояние от центра вращения до оси пальца.

$$R = 17834 \text{ Н.}$$

Соответственно давление на поверхность лопатки вычислим по формуле:

$$P = R/S, \text{ где } S = 0,001128 \text{ м}^2 \text{ – площадь поверхности, на которую давит сила } R.$$

$P = 16 \text{ МПа}$.

На рис. 6 – 7 показаны результаты расчета.

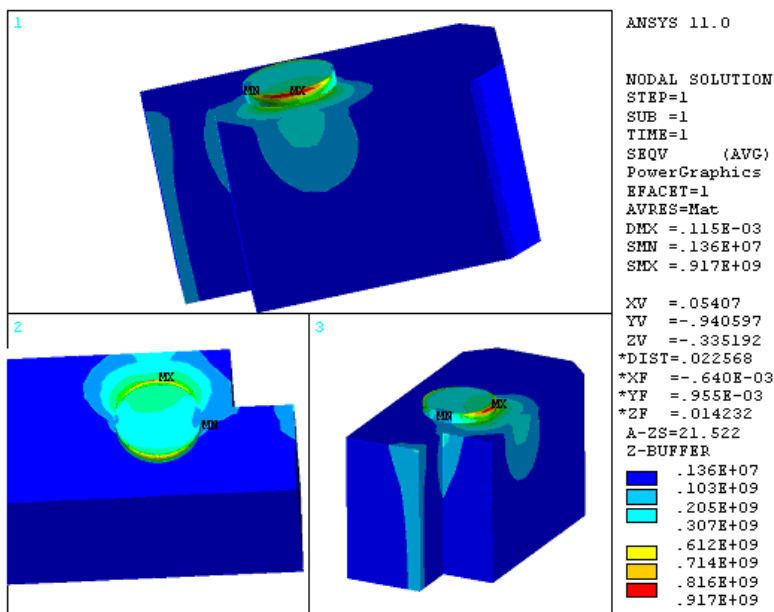


Рисунок 6 - Напряженное состояние в сборке палец-лопатка.

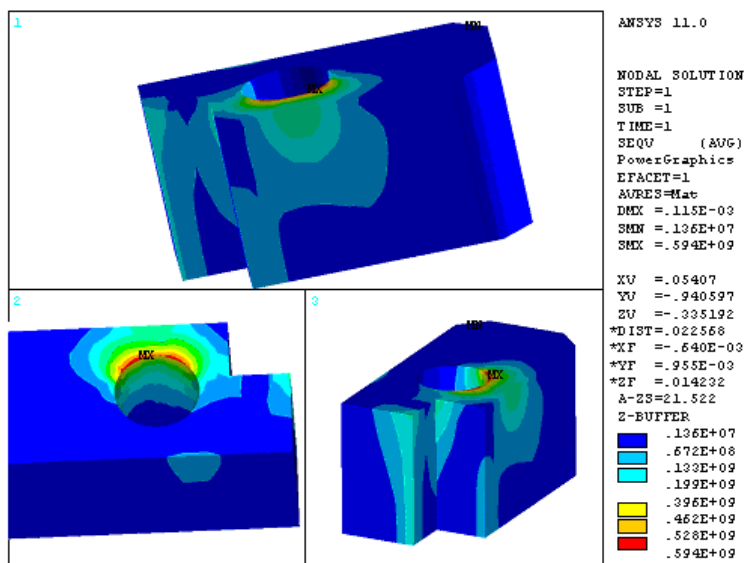


Рисунок 7 - Напряженное состояние в элементе лопатке

При детальном рассмотрении области контакта пальца с лопаткой были получены следующие результаты:

Максимальные напряжения в пальце составили более 900 МПа

Максимальные напряжения в лопатке в области контакта (лопатки с пальцем) составили 594 МПа

Для получения результата, более приближенного к реальному поведению материала, в расчёте учтем кривую напряжение – деформация для стали Ст3. При решении нелинейной задачи можно получить напряженно-деформированную картину поведения конструкции с учетом сминания материала при данных нагрузках.

Кривая напряжение – деформация представлена на рис. 8, а промежуточные значения диаграммы приведены в табл. 1

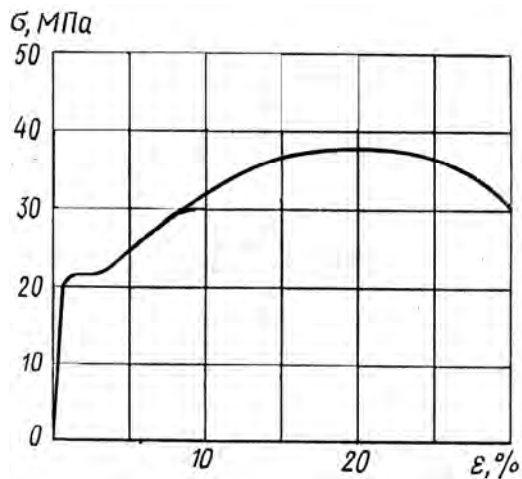


Рисунок 8 – напряжение - деформация для стали Ст3

Таблица 1

№	σ, МПа	ε, %
0	0	0
1	200	0,007
2	210	0,01
3	218	0,015
4	218	0,03
5	220	0,035
6	300	0,085
7	320	0,1
8	340	0,12
9	360	0,14
10	370	0,16
11	380	0,18
12	382	0,2
13	380	0,22
14	370	0,24
15	360	0,26
16	340	0,28
17	300	0,3

Другие физико-механические характеристики для стали Ст3:

$$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3;$$

$$\alpha = 0,12 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1};$$

$$E = 2,06 \times 10^{11} \text{ Па};$$

На рис. 9-10 показано распределение напряжений в сборке палец – элемент лопатки и в элементе лопатки отдельно.

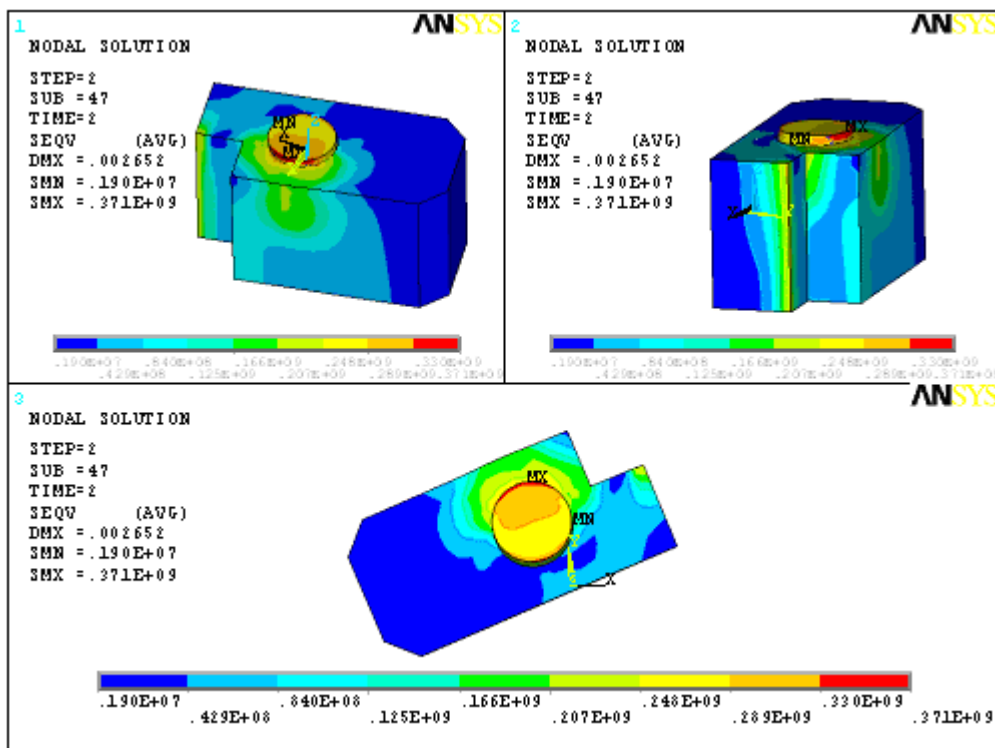


Рисунок 9 – Напряженное состояние в сборке палец-лопатка.

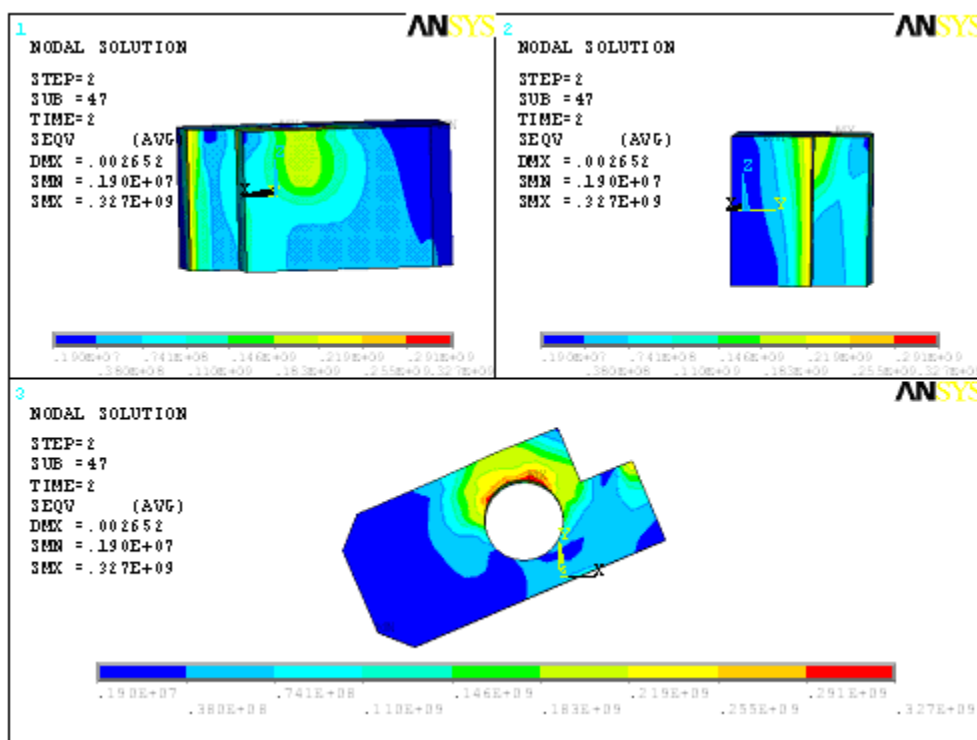


Рисунок 10 – Напряженное состояние в элементе лопатки.

При использовании модели материала, учитывающего нелинейное поведение стали Ст3 были получены следующие результаты:

Максимальные напряжения в пальце составили 370 МПа

Максимальные напряжения в лопатке в области контакта (лопатки с пальцем) составили 330 МПа.

Заключение. Сравнение результат показывает, что при использовании в расчете нелинейной модели материала величины максимальных напряжений в пальце снизились с 917 МПа до 370 МПа, максимальные напряжения в лопатке снизились с 594 МПа до 327 МПа. Распределение напряжений стало более равномерным.

Резюме

В статье рассматривается применение нелинейной модели материала для расчета напряженного состояния деталей центробежной ударной дробилки в системе ANSYS. Приводится сопоставление результатов расчета с использованием линейной и нелинейной моделей материалов.

Литература

1. А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. ANSYS в руках инженера. М. «Едиториал УРСС» 2003
2. T. Stolarski, Y. Nakasone, S. Yoshimoto. Engineering analysis with ANSYS software. Oxford, UK 2006
3. E. Madenci, I. Guven. The Finite Element Method and Application in Engineering using ANSYS. Springer, 2006
4. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. Стали и справы. Марочник. М. «Машиностроение» 2001
5. С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдеров. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Руководство и справочное пособие. М. «Машиностроение» 1975
6. С.Д. Пономарев и др. Расчеты на прочность в машиностроении. М. «Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы» 1956

Поступила в редакцию 16.03.2012