

УДК 621.9.025

С.Н. Зиновьев (канд. техн. наук, доц.)

Красноармейский индустриальный институт

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
РЕЗЦА ЗР4-80**

Методом конечных элементов в программе SolidWorks Simulation проведено исследование напряженно-деформированного состояния резца ЗР4-80. В рассмотренной задаче усилие к резу приложено по всей высоте режущей кромки и рассчитано по параметрам трансмиссии комбайна УКД200-250. По распределению напряженно-деформированного состояния в модели резца ЗР4-80 указаны и изображены наиболее вероятные направления разрушения.

Ключевые слова: режущий инструмент, очистной комбайн, трехмерная модель, разрушение резца, конечно-элементное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. В процессе резания горных пород резцы подвергаются значительным перепадам усилий. Усилия, действующие на грани режущего инструмента, изменяются как по величине, так и по направлению. Составляющие этих усилий являются случайными величинами [1]. Причиной резких скачков действующих на резец усилий чаще всего является набегание режущей кромки резца на твердые включения, породные прослойки и породы почвы или кровли у границ угольного пласта.

Разрушение угольных пластов производится режущим инструментом, в качестве которого наибольшее распространение получили радиальные резцы типа ЗР4-80. Конструкция резца продолжительное время не претерпевает значительных изменений. В то же время одним из результатов развития очистных комбайнов является постоянное увеличение их энерговооруженности. Работа современных комбайнов происходит со значительно большими усилиями резания. Пиковые нагрузки на резцы так же значительно возросли, что привело к возникновению проблемы частого и преждевременного выхода из строя резцов вследствие износа или разрушения.

Анализ исследований и публикаций. Важным направлением развития научной базы о процессах разрушения горных пород явля-

ется изучение условий работы породоразрушающих элементов – резцов, функционирующих в составе исполнительного органа.

Трудность в создании аналитического описания этого процесса объясняется его сложным характером из-за того, что в формировании нагрузки на резце принимают участие много факторов, постоянно изменяющихся во времени и пространстве. Определить влияние каждого из совокупности факторов, выделить их практически невозможно.

Большое количество научных исследований уделено изучению процесса резания угля, поэтому и в определении средних и в определении мгновенных значений нагрузок на резце достигнуты наибольшие успехи [1-4]. Мгновенное и среднее значение усилия на гранях резца определяется отраслевым стандартом. Существует несколько различных математических моделей процесса разрушения угля, целью которых является определение мгновенных значений усилий на гранях резца с учетом случайного характера их формирования [1, 2, 4]. Однако в процессе разрушения угольного массива невозможно добиться работы резца только по углю. Породы почвы или кровли у границ угольного пласта обязательно будут затронуты резцами. Тем более невозможно работать резцам только по углю при сложном строении пласта – наличии породных прослоек. Поэтому не менее актуальное значение имеет изучение формирования и аналитическое описание действующих усилий на гранях резца при резании вмещающих пород [2].

Постановка задачи. В случае, когда почти все резцы, находящиеся в контакте с горным массивом режут только уголь, а один или несколько резцов разрушают одновременно уголь и породу, последние испытывают значительно большие (пиковые) нагрузки, чем остальные. Задача распределения напряженно-деформированного состояния в теле резца ЗР4-80 рассмотрена для пиковой нагрузки при помощи созданной трехмерной модели резца, на которой проведено конечно-элементное моделирование.

Благодаря использованию современных методов трехмерного твердотельного моделирования становится возможным построить точную модель резца и методом конечных элементов определить напряжения, возникающие в конструкции при конкретных условиях эксплуатации исполнительного органа очистного комбайна.

Созданная трехмерная модель резца приведена на рисунке 1.

Построенная по заводским чертежам модель резца представляет собой деталь сложной геометрической формы, имеет мелкие резкие переходы в конструкции, что усложняет построение конечно-элементной сетки для модели резца и может привести к неверным результатам в указанных областях модели. Чтобы получить реалистичные результаты исследования напряженно-деформированного состояния резца необходимо внести некоторые упрощения в трехмерную модель. Эти изменения являются необходимыми и, как показывают многочисленные расчеты на упрощенных моделях, не искажают результат. Трехмерная модель с необходимыми упрощениями представлена на рисунке 2.

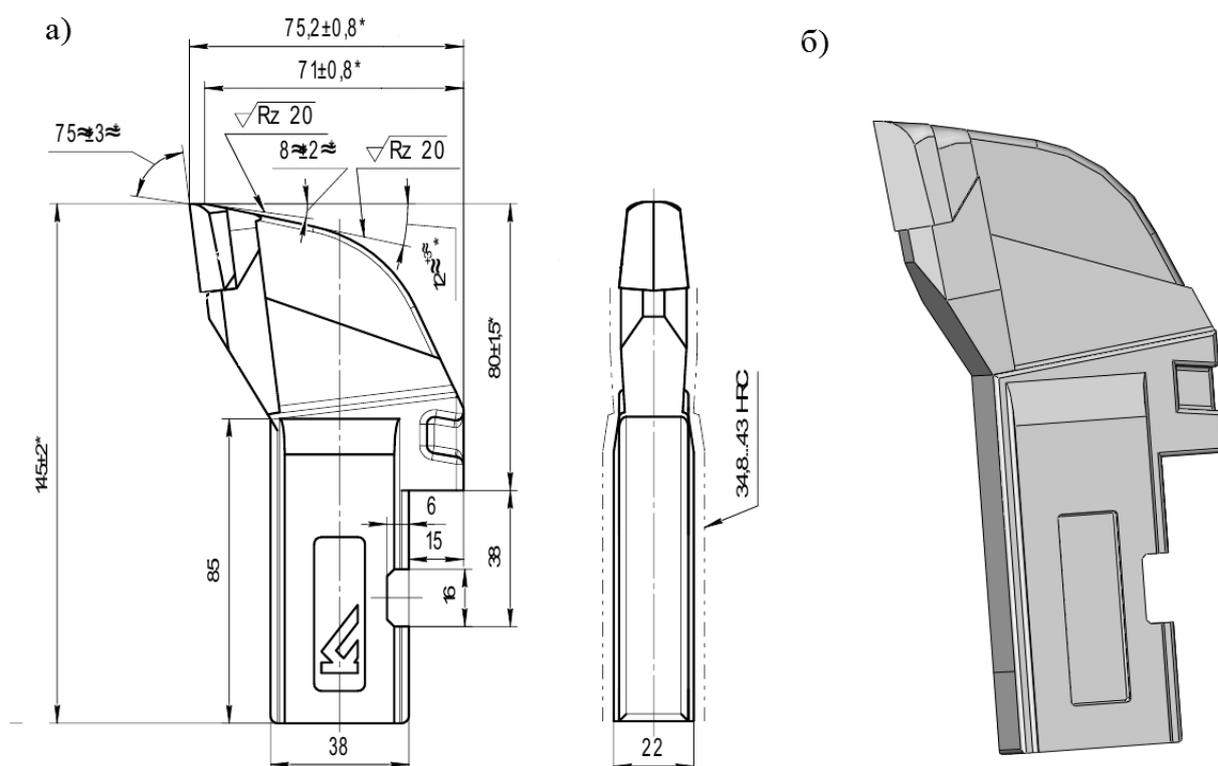


Рис. 1. Радиальный резец ЗР4-80: чертеж (а) и трехмерная модель (б).

Силу резания необходимо прикладывать к части режущей кромки соответствующей глубине резания. Для приведенной задачи сила резания будет распределена по всей поверхности режущей кромки.

В связи с тем, что процесс взаимодействия задней и нерабочей боковых граней резца с горным массивом представляет собой процесс трения материала резца о массив [1] и усилия от такого взаимодействия в случае пиковых нагрузок значительно меньше усилий резания, при расчете учитывалась только сила резания.

Изложение материала и результаты. Максимальная сила резания будет зависеть от статических характеристик электродвигателя комбайна, инерции комбайна и вращающихся частей привода, динамических составляющих, а так же параметров резания как ширина среза, глубина среза и т.д.

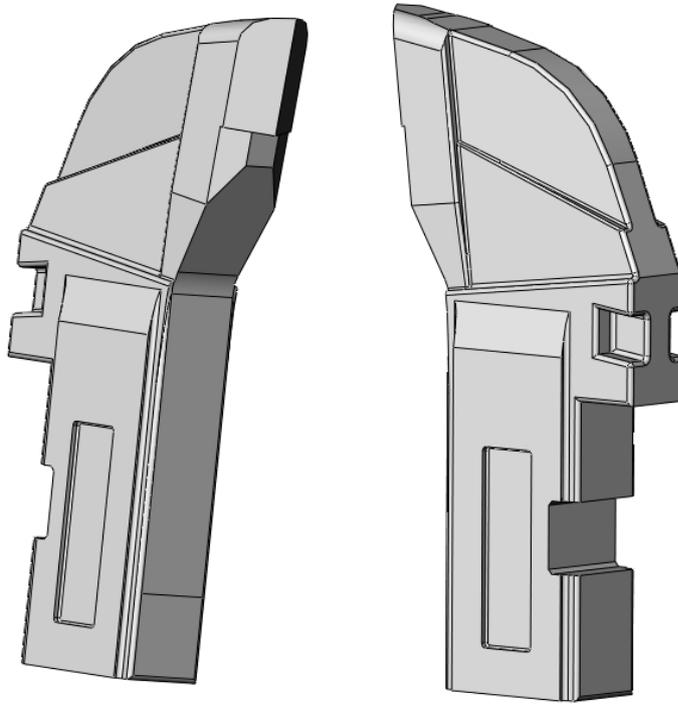


Рис. 2. Упрощенная трехмерная модель резца ЗР4-80

Рассчитаем максимально возможное усилие на резце для характеристик электродвигателя ЭКВК 4-220 комбайна УКД 200-250:

$$F = \frac{M_{\max}}{\frac{1}{2} D_{\text{ио}}}$$

где $D_{\text{ио}}$ – диаметр исполнительного органа, $D_{\text{ио}} = 0,8 \text{ м}$;

M_{\max} – максимальный вращающий момент на исполнительном органе комбайна:

$$M_{\max} = M_{\max, \text{дв}} \cdot i_{\text{тр}}$$

где $M_{\max, \text{дв}}$ – максимальный вращающий момент на валу электродвигателя для комбайна,

$i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии очистного комбайна для УКД 200-250.

$$M_{\max} = 3646 \cdot 18,51 = 67487 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$F = \frac{67487}{\frac{1}{2} \cdot 0,8} = 168718 \text{ Н}$$

Полученное усилие (F) приложим к режущей кромке резца.

На рисунке 3 приведено приложение силы резания к режущей кромке резца. Сила равномерно распределена по всей поверхности режущей кромки.

Поскольку между резцом и резцедержателем существует небольшой зазор при контакте с массивом резец развернется в резцедержателе и будет касаться внутренних его стенок нижней передней частью хвостовика (рис. 4 позиция 1) и верхней задней (рис. 4 позиция 2), а также опираться на резцедержатель (рис. 4 позиция 3). Для первых двух позиций зафиксированы перемещения в двух направлениях: перпендикулярно поверхностям и вдоль поверхностей. Для третьей позиции – только в перпендикулярном направлении.

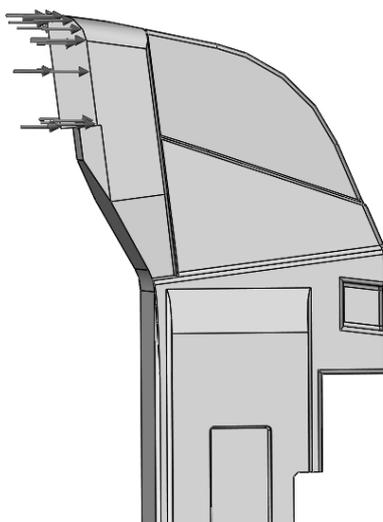


Рис. 3. Направление действия силы резания.

Во время эксплуатации резец контактирует с резцедержателем в трех точках, то необходимо в этих точках закрепить модель резца для получения достоверных результатов. Точки касания резцом резцедержателя изображены на рисунке 4.

На рисунке 5 изображена конечно-элементная сетка модели резца. Как можно видеть сетка равномерная, без резких изменений. Следовательно, вносить дополнительные изменения в структуру сетки нет необходимости.

Рисунок 6 демонстрирует результаты расчета конечно-элементной модели резца. Как видно из первой части рисунка при

указанных ранее условиях предел текучести стали будет значительно превышен. Следовательно, резец в месте максимальной нагрузки может получить трещину, которая разовьется и отколет головку резца в направлении от максимального напряжения в передней части (рис. 6а) к выемкам для извлечения резца.

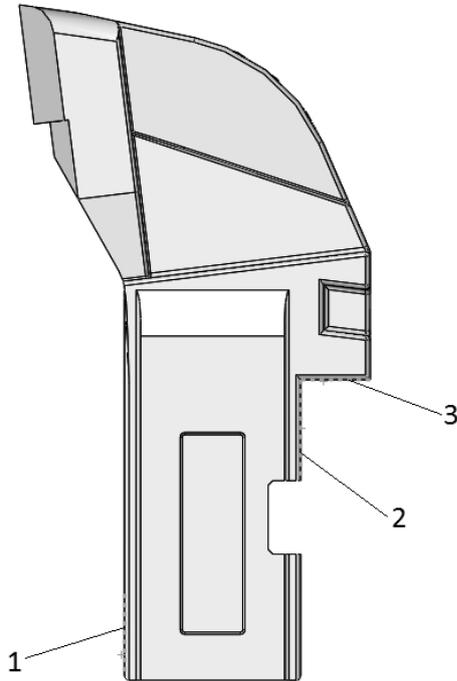


Рис. 4. Места контакта резца с резцедержателем

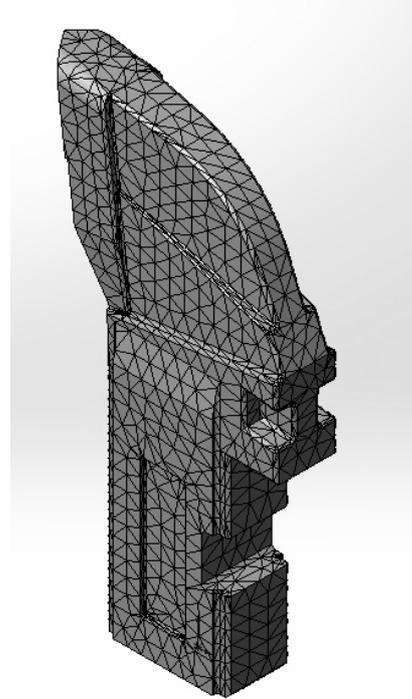


Рис. 5. Конечно-элементная сетка модели резца

Наиболее вероятное направление разрушения указано на рисунке 6 б). В нижней передней части хвостовика резца (рис. 6а позиция 1) виден небольшой скачок напряжения, который находится в месте уменьшения контактных нагрузок между резцом и резцедержателем. При снижении контактных нагрузок верхняя часть хвостовика резца может деформироваться, проскальзывая относительно резцедержателя, что приводит к неравномерности распределения напряженно-деформированного состояния в хвостовике.

Выводы и направление дальнейших исследований. При работе очистных комбайнов с исполнительными органами, оснащенными резцами ЗР4-80 происходят изломы резцов. Поломки не связанные с отколом режущей кромки, истиранием и заводским браком хорошо согласуются с полученными результатами, т.к. оставшиеся части резцов совпадают с приведенными на рисунках частями моделей, демонстрирующих места вероятного разрушения. Однако следует отметить, что часто хвостовики откалываются с уступом под крепление.

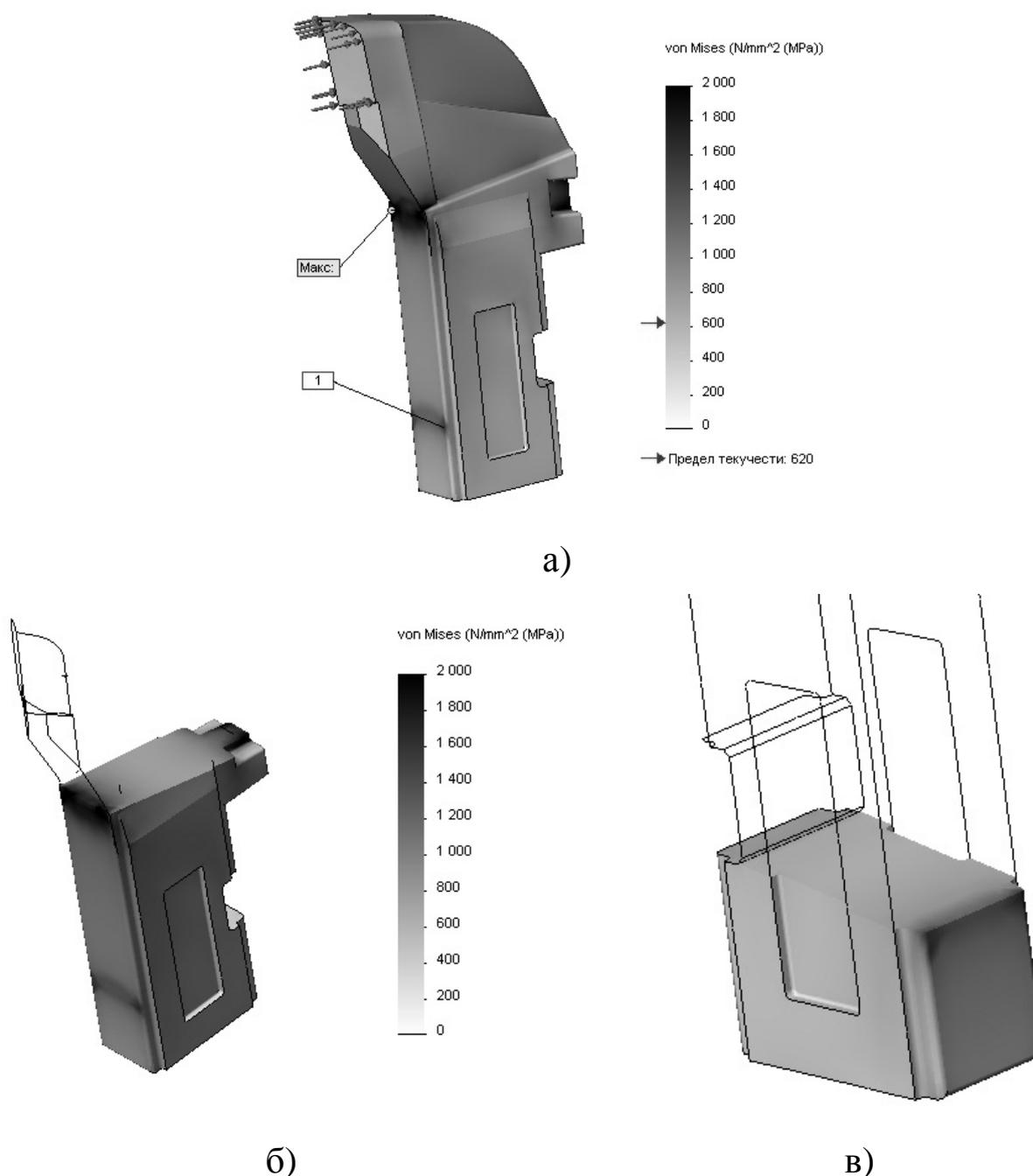


Рис. 6. Напряжения по Мизису в трехмерной модели резца: вся трехмерная модель (а) и модель, разрезанная в месте вероятного разрушения (б, в).

Такой результат может быть получен при увеличении пятна контакта передней грани хвостовика с резцедержателем. Поэтому в дальнейших исследованиях необходимо построить трехмерную модель резцедержателя и решить контактную задачу, которая позволит определить точное пятно контакта между резцом и резцедержателем.

В рассмотренной задаче усилие к резцу прикладывалось по всей высоте режущей кромки, поэтому дальнейшие исследования необходимо проводить с учетом реальной толщины стружки.

Список літератури

1. Бойко Н.Г. Характер взаємодії робочої грани різця з руйнуваним матеріалом / Н.Г. Бойко, О.В. Федоров // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-електромеханічна». – 1999. – Вип. 7. – С. 21-27.
2. Кондрахин В.П. Імітаційне моделювання перехідних процесів в підсистемах проходчого комбайна / В.П. Кондрахин, А.И. Хиценко // Гірничо електромеханіка та автоматика: – 2005. – Вип. 75. – С. 183-189.
3. Бойко Н.Г. Формування миттєвих зусиль на передніх гранях різців / Н.Г. Бойко, В.И. Ігнатов // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. – №7. – С.77-79.
4. Бойко Н.Г. Математичне моделювання миттєвих зусиль, формуються на різці з робочої бокової гранню / Н.Г. Бойко, Е.Н. Бойко, О.В. Федоров // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-електромеханічна». – 2001. – Вип. 35. – С. 21-27.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2013

С.М. Зінов'єв. Красноармійський індустріальний інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Кінцево-елементне моделювання напружено-деформованого стану різця ЗР4-80

Методом кінцевих елементів у програмі SolidWorks Simulation проведено дослідження напружено-деформованого стану різця ЗР4-80. У розглянутій задачі зусилля до різця прикладене по всій висоті різучої кромки і розраховано за параметрами трансмісії комбайна УКД200-250. За розподілом напружено-деформованого стану в моделі різця ЗР4-80 вказані і зображені найбільш імовірні напрямки руйнування.

Ключові слова: різучий інструмент, очисний комбайн, тривимірна модель, руйнування різця, кінцево-елементне моделювання, напружено-деформований стан.

S. Zinovyev. Krasnoarmiysk Industrial Institute of Donetsk National Technical University

Finite-element Modeling of Stress-strain State of Tool ЗР4-80

Using the finite-element method in SolidWorks Simulation we studied stress-strain state of the tool ЗР4-80. In the considered problem the force is applied along the height of the cutting edge and calculated according to transmission parameters of the combine УКД200-250. Taking into account stress-strain state distribution the model of ЗР4-80 cutter provides the most probable directions of distruction.

Keywords: cutting tools, coal combine, 3D model, destruction of the tool, finite-element modeling, stress-strain state.