

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ КРЫШКИ ЗАЩИТНОГО БОЕПРИПАСА КОМПЛЕКСА АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ БРОНЕТЕХНИКИ «АРЕНА» ПРИ МЕТАНИИ ЕГО БОЕВОГО ЭЛЕМЕНТА

Клочков А.С. к.т.н., Митрофанов В.Г., Щелкунов С.Н.
ОАО «НПК «КБМ», Коломна, Россия

На опытной базе ОАО «НПК «КБМ» были проведены серии опытов по разделению крышки защитного боеприпаса комплекса активной защиты бронетехники «Арена» при метании его боевого элемента. Вылет боевого элемента из шахты при проведении опыта показан на рис. 1.

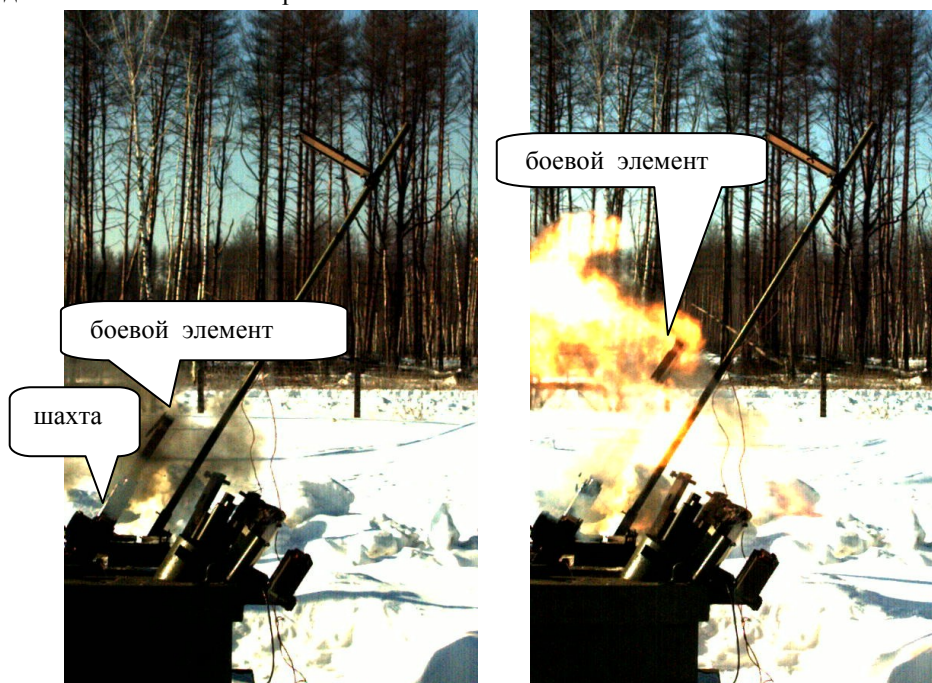


Рис.1 – Вылет боевого элемента при выстреле

Отделение боевого элемента от контейнера комплекса активной защиты «Арена» предусмотрено по заранее заданным проточкам с внешней стороны защитного боеприпаса. Однако при экспериментальной отработке конструкторы столкнулись с нестабильностью этого процесса. В одних случаях разделение происходило штатно (по проточкам крышки), в других – происходило разрушение винтов, крепящих планку крышки. На рис. 2 показаны результаты опытов со штатным разделением крышки и с нештатным разрушением винтов.



Рис.2 – Результаты опытов

Толщина металла (сплав алюминия) в местах разделения должна быть около 1 мм. Конструкторами было предложено ввести на внутренней поверхности крышки дополнительные канавки (далее - дополнительные проточки) глубиной 0.2 мм. Прежде чем проводить дорогостоящие эксперименты, разделение боевого элемента было смоделировано с помощью программы «ABAQUS». Было решено оценить прочность винтов после разрушения крышки, учитывая основные факторы, влияющие на их прочность при разделении боеприпаса. На рис. 3 представлена принципиальная схема модели крышки. Крышка крепится 8 стальными винтами М4, стык между крышкой и фланцем уплотнен прокладкой из резины ИРП-2025 (рис. 4), которая приклеена к крышке. Две стальные планки служат для

ужесточения стыка и более равномерного распределения нагрузки по стыку. В резиновом уплотнении предусмотрены 8 отверстий диаметром 5 мм для винтов крепления крышки.

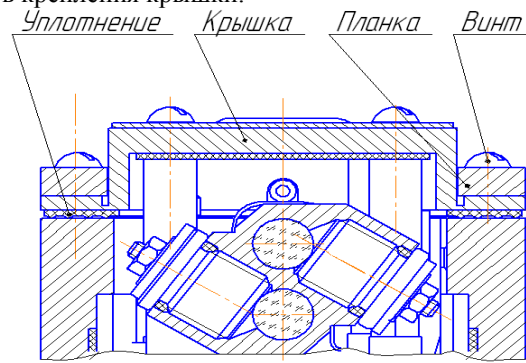


Рис.3 – Схема крышки

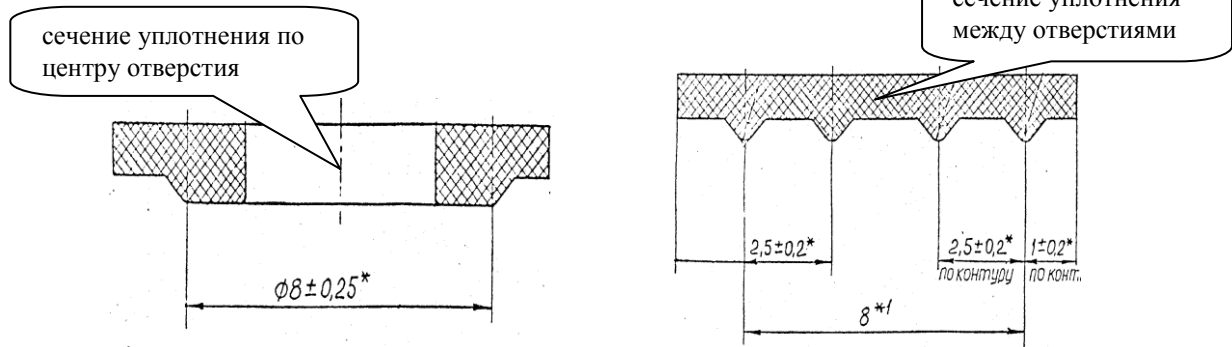


Рис.4 – Схема резинового уплотнения

В каждой планке просверлено 4 отверстия диаметром 4.8 мм для винтов, крепящих крышку. В крышке для винтов просверлено 8 отверстий диаметром 4.5 мм. Анализ нештатного разрушения крышки и винтов показал, что на винты давит боковая поверхность отверстий в крышке, через которые проходят винты, и нештатное их разрушение вызвано тремя факторами: растяжением, изгибом от проворачивания жесткой планки и изгибом от контакта с боковой поверхностью отверстий крышки. Для моделирования процесса разделения крышки и нагружения винтов при выстреле боевого элемента разработана простая двумерная расчетная схема с явной схемой интегрирования по времени для конечно-элементной программы расчета «ABAQUS» с простейшей моделью разрушения материала типа Джонсона-Кука и подробной схемой нагружения винтов с учетом всех значимых факторов, влияющих на их прочность. Это позволило смоделировать разрушение винтов для случая крышки без дополнительной проточки и их достаточную прочность для случая крышки с дополнительной проточкой на внутренней поверхности. Поскольку на плоскодеформированной расчетной схеме отверстие под винт в плоскости деформирования предусмотреть невозможно, контакт стержня винта и стенки отверстия в крышке под винт задавался контактом оси винта и набором узлов на внутренней линии двумерной модели крышки, находящейся на расстоянии 0.25 мм от оси винта.

Решение состояло из двух шагов. На первом шаге задавалась затяжка винтов для моделирования растягивающих напряжений в винтах, на втором шаге к внутренней поверхности крышки прикладывалась нагрузка в виде избыточного давления, которое равномерно нарастало до 280 атм в течении 10 мс. Крышка, планка и резиновое уплотнение моделировались плоскодеформированными элементами с толщиной, равной расстоянию между отверстиями, винты моделировались элементами балки с диаметром, равным внутреннему диаметру резьбы М4. Контакт задавался между головкой винта и планкой, между планкой и крышкой, между стержнем винта и крышкой, между резиновым уплотнением и жесткой поверхностью, которая имитировала поверхность фланца. Поскольку уплотнение приклеено к крышке, на границе крышки и уплотнения имитировалась непрерывность перемещений. При анализе результатов расчета нештатное разделение крышки можно определить по превышению пластических деформаций на внешней поверхности винта значения 0.01 - деформации разрушения его материала. На графике рис. 5 показан момент завинчивания винта (по чертежам он должен быть 0.2 кгм) в зависимости от затяжки для плоскодеформированной схемы расчета и трехмерной схемы (с учетом выдавливания уплотнения в отверстие). Он вычислялся по формуле $0.2 \times d \times F_{зат}$ ($F_{зат}$ – сила затяжки стыка, приходящаяся на один винт. Вычислялась как реакция при сжатии уплотнения крышкой. $d = 4$ мм – наружный диаметр резьбы винта). Как видно из графика, жесткость уплотнения, вычисленная на основании двумерной расчетной схемы находится в хорошем соответствии с жесткостью, вычисленной по реальной трехмерной схеме и для момента 0.2 кг·м на винт затяжка стыка равна примерно 0.65 мм. На рис. 6 показаны перемещения резинового уплотнения при затяжке 0.65 мм по оси, проходящей через центры винтов. Диаметр отверстия в резиновом уплотнении по линии, проходящей через центры винтов, уменьшается с 5 мм до 2.2 мм.

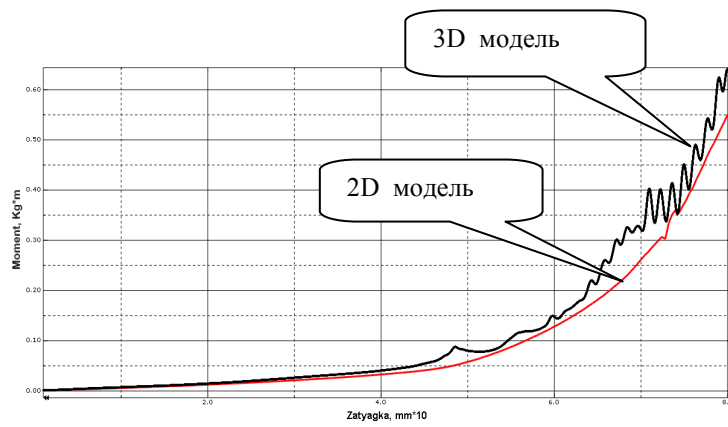


Рис.5 – Зависимость момента завинчивания винта от затяжки стыка

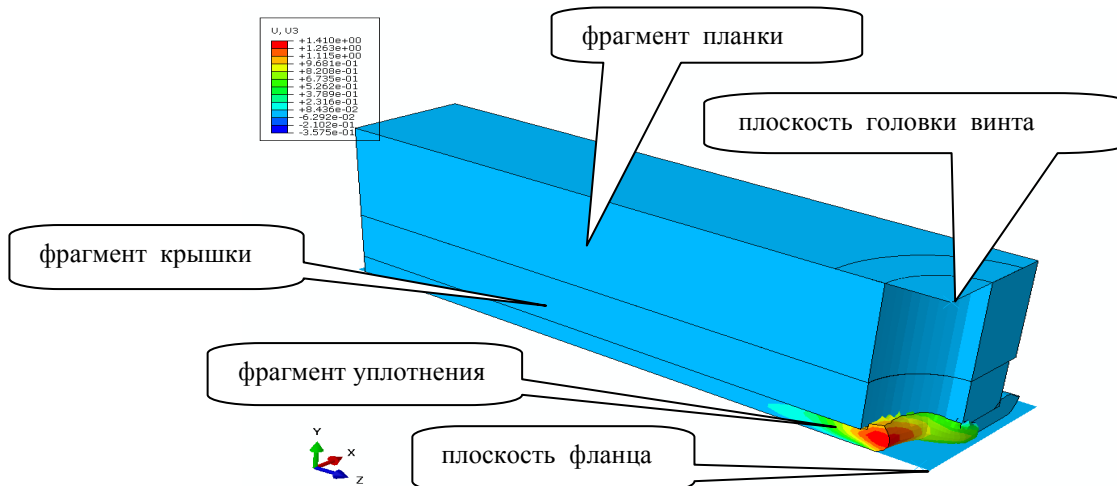


Рис.6 – Деформация уплотнения по оси Z

Двумерная модель расчетной схемы показана на рис. 7. Затяжка на первом шаге моделируется смещением на величину $\Delta_{зат}$ по оси винта контактной поверхности, которая моделирует завинчивание винта во фланец контейнера. На рис. 8 показано смоделированное начало разрушения крышки, при этом винт подгибается в результате контакта с поверхностью отверстия в крышке.

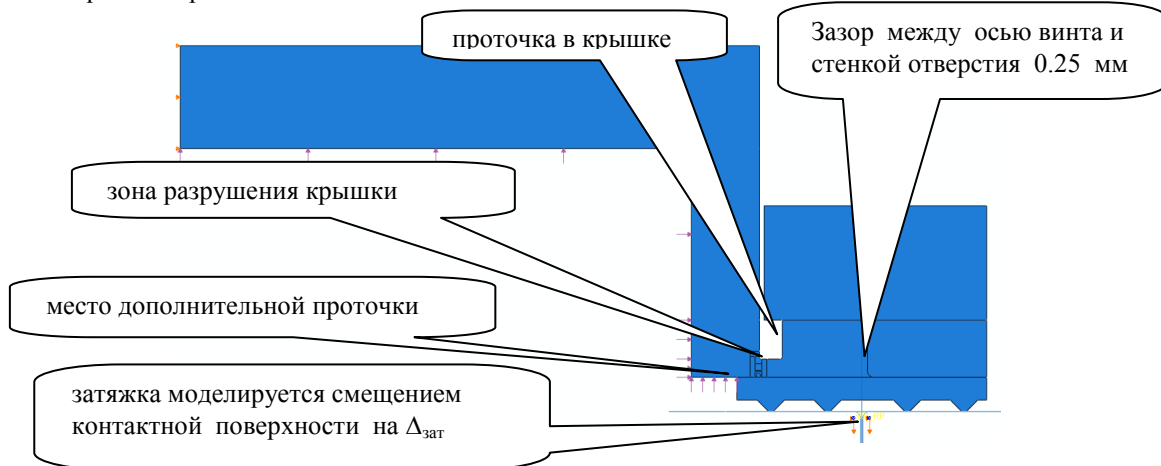


Рис. 7 – 2D-модель расчетной схемы

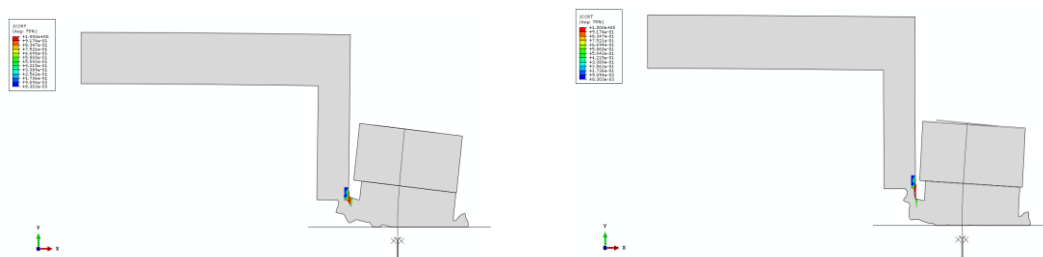


Рис. 8 – Разрушение крышки

На этой модели исследована зависимость пластической деформации винтов от их затяжки. Это показано на рис. 9. Красным цветом показаны графики для случая крышки без дополнительной проточки, черным – с дополнительной проточкой глубиной 0.2 мм. Сплошной линией показаны деформации винтов на ближней стороне к центру крышки, пунктиром – на противоположной. Анализ графиков, представленных на рис. 9, показывает, что без дополнительной проточки на крышке часть сечения стержня винта работает за пределом разрушающей деформации 10%, для винтов с дополнительной проточкой существует диапазон затяжек между 0.4 - 0.9 мм, когда прочность винтов достаточна. Последнее было подтверждено результатами натуральных огневых испытаний защитных боеприпасов (протоколы предварительных испытаний защитного боеприпаса КАЗ «Арена-М» № 3 от 5.3.2013 и №4 от 5.6.2013. ОАО «НПК«КБМ»).

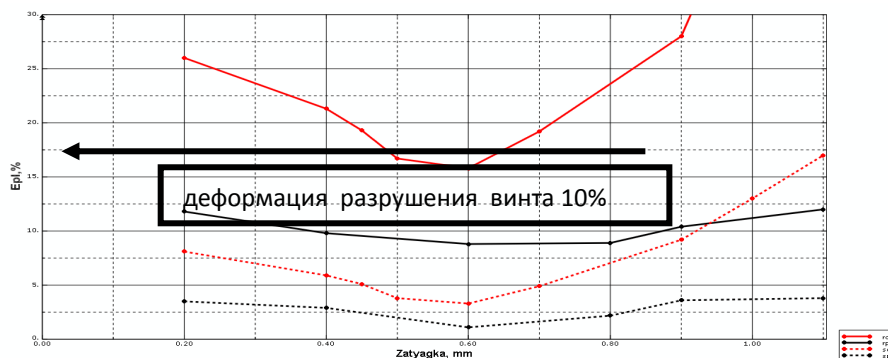


Рис. 9 – Прочность винтов в зависимости от затяжки

Разделение боевого элемента и контейнера после введения проточки с внутренней стороны крышки стало проходить штатно.