

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СНЕГООЧИСТИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Егоров И.А.¹, Жавыркин В.В.^{1,2}, Колесников К.В.¹

¹ООО «Центр инновационного развития СТМ», Екатеринбург;

²Российский университет транспорта, Москва

Ключевые слова: снегоочистительный отвал, композитные материалы, эффективность применения композитов, путевая техника, снегоочиститель, сравнительный анализ применения материалов.

Аннотация. В статье описываются различные варианты изготовления составных частей снегоочистительного отвала для железнодорожной техники из композитных материалов. На основании расчетных данных, полученных методом конечных элементов, проводится сравнение прочностных характеристик данных конструкций. Приведены преимущества и недостатки составных частей и их модификаций, а также сравнительные характеристики используемых материалов.

APPLICATION RESEARCH OF COMPOSITE MATERIALS IN RAILWAY SNOWPLOWING EQUIPMENT

Egorov I.A.¹, Zhavyrkin V.V.^{1,2}, Kolesnikov K.V.¹

¹STM Center of Innovation Development, Ekaterinburg;

²Russian university of transport, Moscow

Keywords: snow-blade, composite materials, effectiveness of the use of composites, railway equipment, comparative analysis of materials.

Abstract. The article describes various options for the manufacture of parts for composite snow-blade for railway equipment. Based on the calculated data obtained by the finite element method, the strength characteristics of these structures are compared. The advantages and disadvantages of the components and their modifications, as well as the comparative characteristics of the materials used are given.

Введение. В настоящее время путевая техника оснащается снегоочистительными отвалами из стали без применения композитных материалов. При этом композитные материалы имеют ряд преимуществ таких как: значительное снижение массы более чем в 6 раз [1], большой запас прочности при изгибе [2], коррозионная стойкость и отсутствие хладноломкости, что положительно влияет при использовании техники в северных широтах. В связи с рядом преимуществ применения композитов принято решение о разработке различных вариантов изготовления снегоочистительного отвала с применением композитных материалов.

Материалы. Для сравнительного анализа использовались композитные материалы. Характеристики этих материалов представлены в таблице 1.

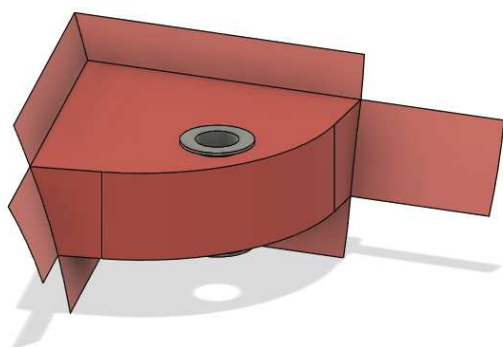
Конструкция отвала

Установка композитного щита на металлическую несущую раму путевой машины осуществляется посредством кронштейнов и пневмоцилиндров.

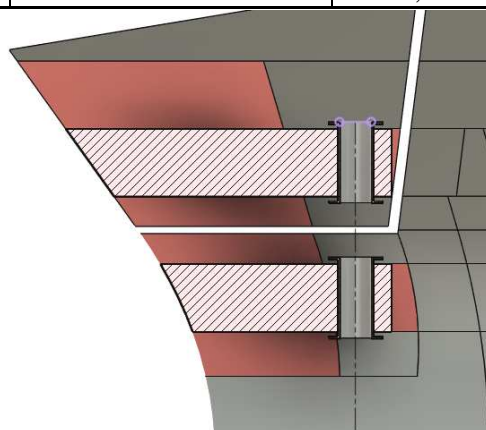
Кронштейны крепления отвала предлагается выполнять также из композитного материала для устранения участков резкого перепада жёсткостей на границах соединения композитного материала и стали. Кронштейны крепления представляют собой коробчатую конструкцию, которая формируется отдельно от щита, а затем приклеивается к его внутренней поверхности (рис. 1). Внутри кронштейнов закладывается сотовый наполнитель для сохранения жёсткости при сжатии. Соединение с рамой происходит через металлические втулки. Этот вид крепления отвала использовался во всех представленных ниже вариантах исполнения отвала.

Табл. 1. Характеристика материалов

Характеристика		Материал		
		Еpoxy Carbon UD (230 GPa) Wet	Еpoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet	Honeycomb
Плотность, кг/м ³		1518	1451	80
Модуль Юнга, Па	X	1,23E+11	5,92E+10	1,00E+06
	Y	7,78E+09	5,92E+10	1,00E+06
	Z	7,78E+09	7,50E+09	2,55E+08
Коэффициент Пуассона	XY	0,27	0,04	0,49
	YZ	0,42	0,3	0,001
	XZ	0,27	0,3	0,001
Модуль сдвига, Па	XY	5,00E+09	3,30E+09	1
	YZ	3,08E+09	2,70E+09	3,70E+07
	XZ	5,00E+09	2,70E+09	7,00E+07
Предельные растягивающие напряжения, МПа	X	1632	513	—
	Y	34	513	—
	Z	34	50	5,31
Предельные сжимающие напряжения, МПа	X	-704	-437	—
	Y	-68	-437	—
	Z	-68	-150	-5,31
Предельные касательные напряжения, МПа	XY	80	120	—
	YZ	55	55	1,21
	XZ	80	55	2,24



а)



б)

Рис. 1. Кронштейны крепления композитного отвала: а – общий вид; б – продольный разрез (заштрихованная область – сотовый наполнитель)

Геометрия щита отвала и нагрузка. По методике, описанной в главе 12 учебника [3], была спроектирована оптимальная форма профиля щита, которая

позволяла наиболее эффективно отбрасывать снег при минимальном сопротивлении (рис. 2). Угол атаки крыльев отвала принят 40° . Габаритные размеры по ширине регламентируются ГОСТ 9238-2013 [4].

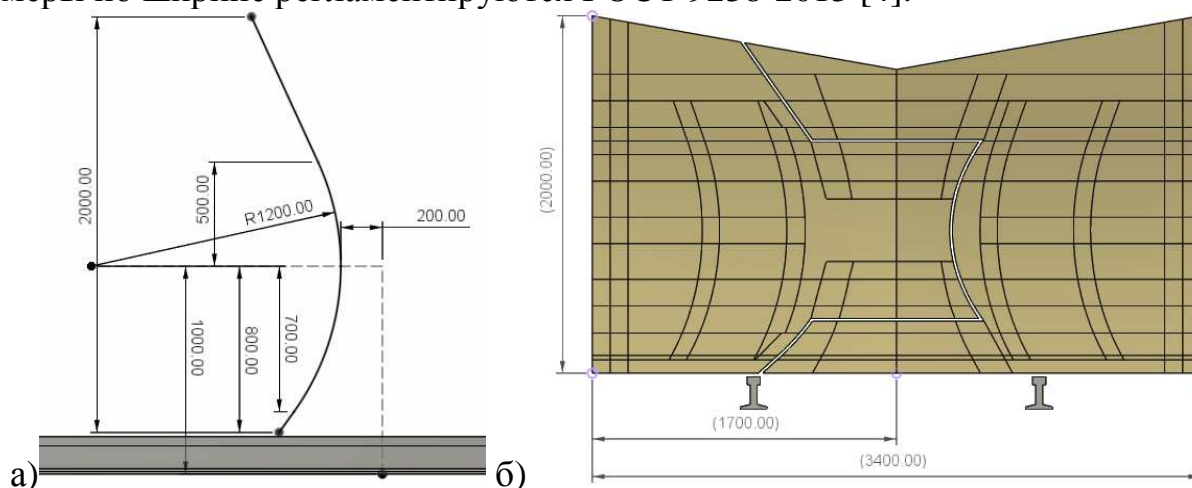


Рис. 2. Форма щита отвала: а – профиль щита; б – габаритные размеры (вид спереди)

Пробная нагрузка, действующая на отвал, принята равной 100 кН, как средняя при движении снегоочистителя со скоростью 20 км/ч и толщине снежного покрова 0,5 м. Условия закрепления: втулки закреплены по всем степеням свободы, кроме оси вращения; на крыльях щита указаны области с запретом движения вдоль продольной оси машины (оси Z) – места крепления пневмоцилиндров. Описанные граничные условия применены для всех вариантов конструкций.

Формирование композита. Для максимально эффективного применения композитных материалов направления укладки волокон должны соответствовать направлениям действующих напряжений. Исходя из принципов сопротивления материалов и теории изгиба оболочек [5], известно, что максимальные нормальные напряжения от изгиба пластины приходятся на её внешние стороны, а скручивающие касательные напряжения действуют по всей толщине пластины под углом 45° относительно продольной оси. Поэтому для передней и задней поверхности отвала задано направления укладки волокон параллельно и перпендикулярно горизонтальной плоскости, для средней части укладка волокон осуществляется под углом 45° к продольной оси (рис. 3).

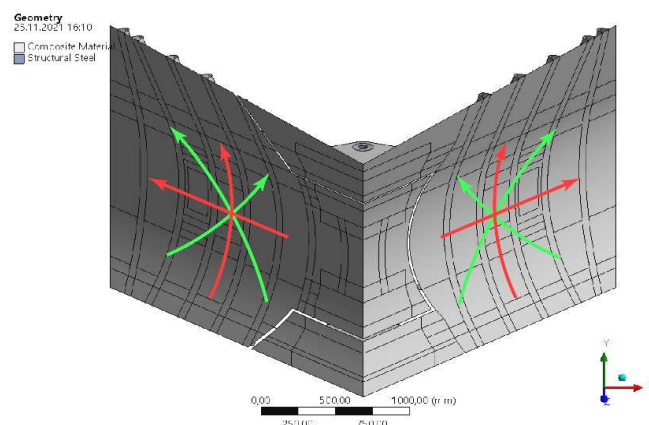


Рис. 3. Направления укладки волокон (вид спереди сверху); красными стрелками показаны направления волокон внешних слоёв, зелёными стрелками – внутренних слоёв

Отвал с интегрированной рамой из сотового наполнителя. Первый вариант исполнения отвала представляет собой конструкцию, состоящую из

внешнего набора слоёв (пакета) композита, который формирует рабочую поверхность, и внутреннего набора, изгибами которого формируется несущая рама. Пространство между изгибами листов заполняется сотовым материалом для придания жёсткости при сжатии (рис. 4).

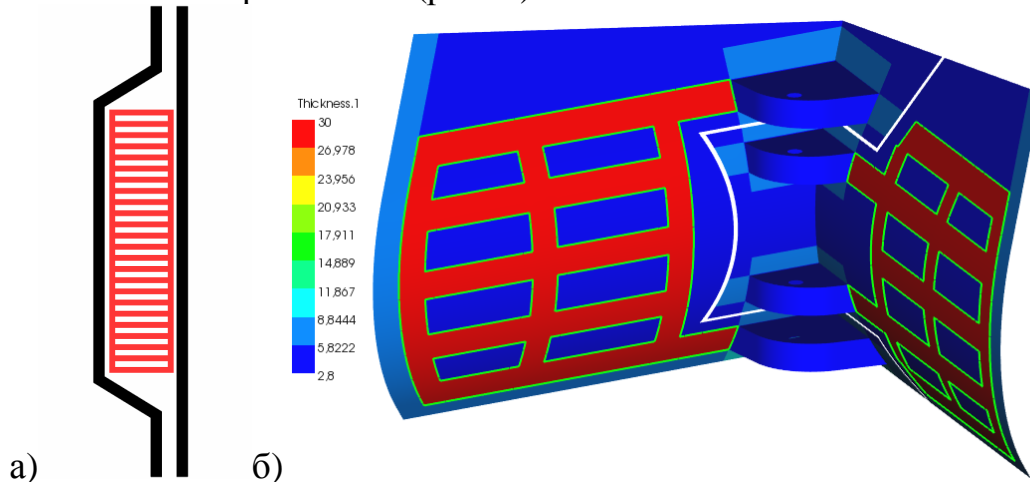


Рис. 4. Расчётная модель композитного отвала с интегрированной рамой с сотовым наполнителем: а – схематичное изображение поперечного разреза ребра рамы; б – общий вид композитного щита с интегрированной рамой (выделена красным)

Отвал с рёбрами жёсткости и сотовым наполнением. Второй вариант исполнения отвала представляет собой композитную конструкцию с внутренними вертикальными рёбрами жёсткости между передним и задним набором композитных слоёв, формирующих поверхность отвала, и внешними горизонтальными, которые приклеиваются Т-образным соединением на внутренний пакет композита. Промежутки между внутренними рёбрами жёсткости заполнены сотовым материалом (рис. 5).

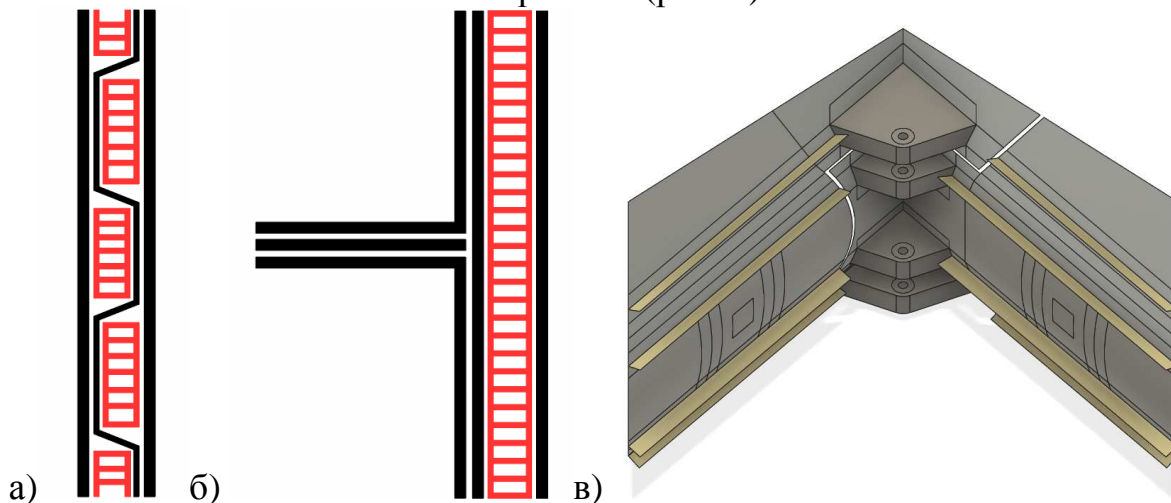


Рис. 5. Схематичное изображение конструкции отвала: а – вертикальные внутренние рёбра жёсткости (вид сверху); б – горизонтальные внешние рёбра жёсткости (вид сбоку); в – общий вид

Отвал с рёбрами жёсткости без сотового наполнения. Третий вариант исполнения отвала представляет собой щит, сформированный так же из двух главных композитных пакетов – переднего и заднего. Передний лист формирует

рабочую поверхность отвала, а задний – выпуклые U-образные вертикальные рёбра жёсткости. Поверх ребер жесткости Т-образным соединением приклеиваются горизонтальные рёбра жёсткости с вырезами для вертикальных ребер (рис. 6).

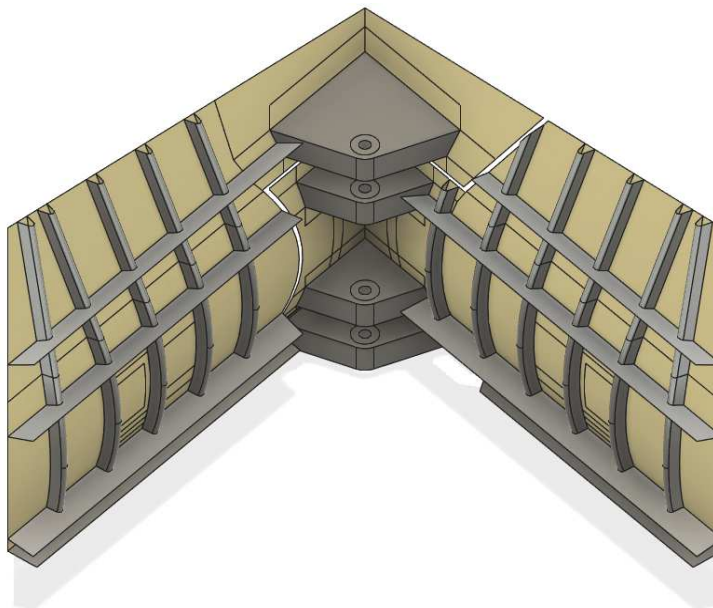


Рис. 6. Отвал с вертикальными и горизонтальными рёбрами жёсткости (общий вид)

Результаты расчётов и сравнения вариантов исполнения. Масса всех вариантов не превышала 60 кг – благодаря использованию композитных материалов удалось существенно уменьшить массу изделия относительно стального исполнения. Прогибы щита удовлетворительные, максимальное значение не превышает 45 мм на углах крыльев при заданной статической нагрузке 100 кН (рис. 7). Конструкцию кронштейнов крепления расчетным путем доказала свою эффективность.

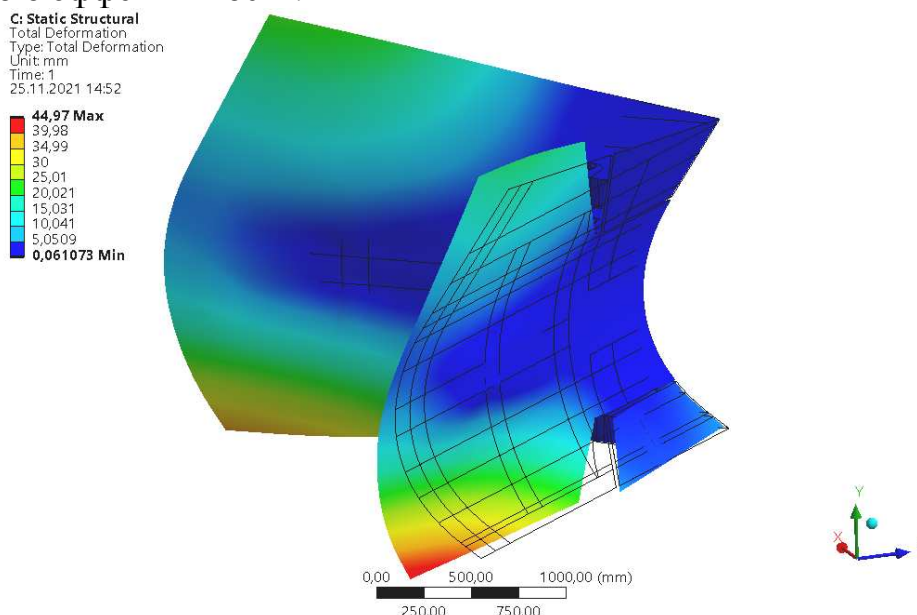


Рис. 7. Максимальное перемещение (в масштабе x10) на углах щита 45 мм при использовании первого варианта конструкции (с интегрированной рамой с сотовым наполнением)

Проблемные места: в областях резких перепадов жёсткости (площадки установки пневмоцилиндров) разрушается сотовый наполнитель и композитный материал (рис. 8); при действии нагрузки только на нижнюю часть отвала наблюдается скручивание конструкции (рис. 9), горизонтальные рёбра жёсткости, упирающиеся в корпус кронштейна крепления, продавливали и разрушали их под воздействием нагрузки (рис. 10).

Проблемное место в виде площадки пневмоцилиндров планируется проработать с использованием закладных деталей; добавление диагональных рёбер жёсткости позволит снизить скручивание отвала; место контакта горизонтального ребра жесткости и кронштейна крепления и можно исправить незначительными изменениями конструкции.

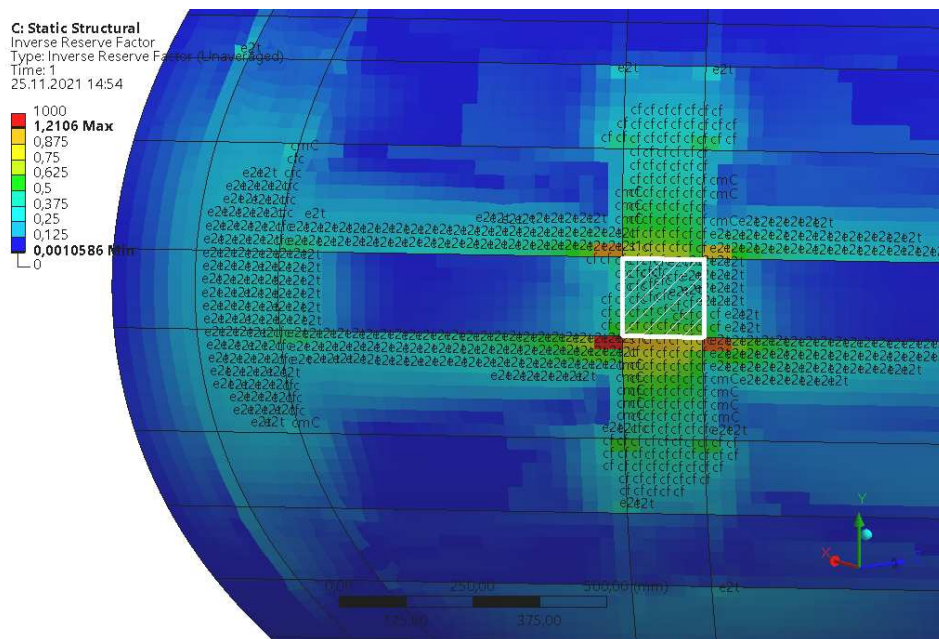


Рис. 8. Разрушение композитного и сотового материалов в местах перепада жёсткости (для выделенной белой области применено граничное условие, моделирующее установку удерживающего пневмоцилиндра)

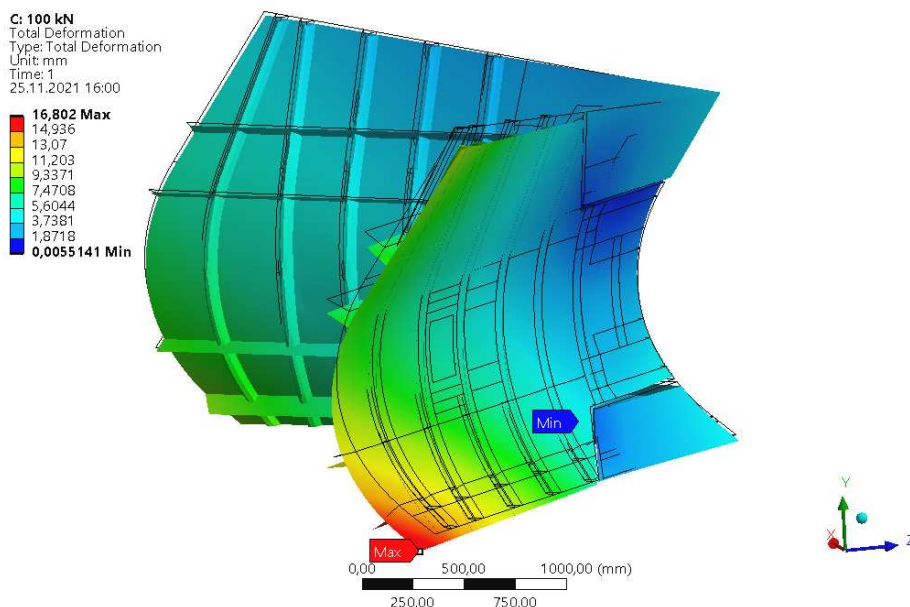


Рис. 9. Скручивание щита от нагрузки (в масштабе x10)

Увеличение силы сопротивления или неравномерности её воздействия, может быть достигнуто путем модернизации конструкция для сохранения прочности и жёсткости.

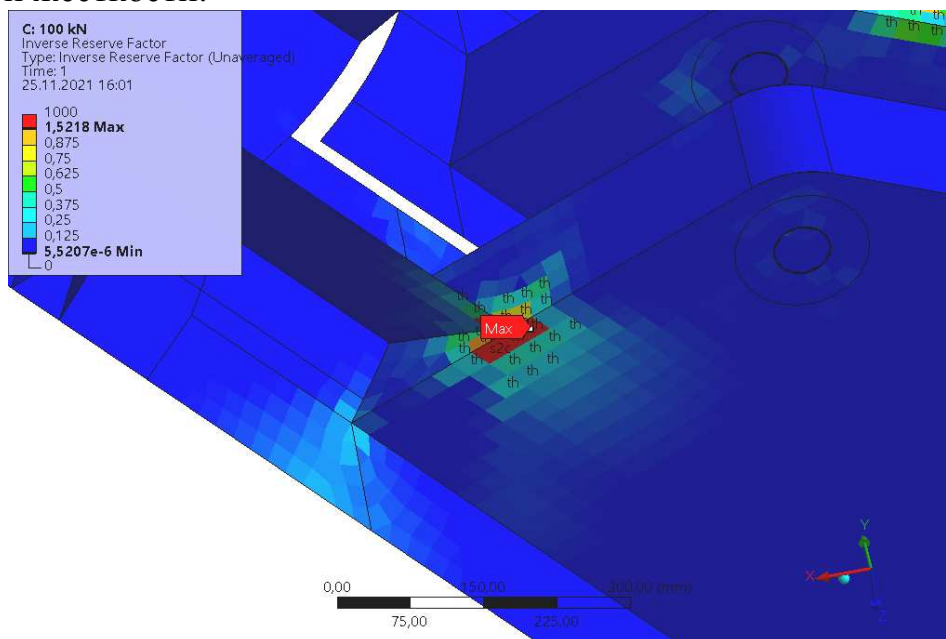


Рис. 10. Разрушение композитного материала от избыточного давления ребра жёсткости на корпус петли

Выводы. Проведенные исследования показывают преимущества применения композитных материалов для изготовления снегоочистительных отвалов и аналогичных конструкций. Композитные материалы позволили повысить прочность и жесткость конструкции.

Полученный опыт в результате проектирования композитного силового элемента конструкции позволяет расширить диапазон применения композитных материалов в сфере строения железнодорожно транспорта.

Финансовая поддержка. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51023.

The reported study was funded by RFBR, Sirius University of Science and Technology, JSC Russian Railways and Educational Fund “Talent and success”, project number 20-38-51023.

Список литературы

1. Сравнительный анализ применения композитных материалов для снегоочистительного оборудования железнодорожной техники / И.А. Егоров, В.В. Жавыркин, К.В. Клеменьтьев, Ю.В. Ронжина // XXXIII Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2021): Труды конференции, Москва, 30 ноября – 02 2021 года. – М.: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2021. – С. 118-123.
2. Полилов А.Н. Биомеханика прочности волокнистых композитов / А.Н. Полилов, Н.А. Татусь. – М.: ООО Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2018. – 328 с.
3. Путьевые машины: Учебник / М.В. Попович, В.М. Бугаенко, Б.Г. Волковойнов и др.; под ред. М.В. Поповича, В.М. Бугаенко. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 820 с.

4. ГОСТ 9238-2013 Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений = Construction and rolling stock clearance diagrams. Межгосударственный стандарт. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2013 г. N 44-2013). Разработан Открытым акционерным обществом "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта" (ОАО "ВНИИЖТ"). – Москва: Стандартинформ, 2014.
5. Алфутов Н.А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.

Сведения об авторах:

Егоров Иван Алексеевич – инженер;

Жавыркин Вадим Витальевич – ведущий инженер, аспирант;

Колесников Кирилл Владимирович – генеральный директор.