
**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

УДК 621

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕКЛЕПАНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИ СОЗДАНИИ И РЕМОНТЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН
В УСЛОВИЯХ РЕЗКИХ ТЕРМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ И НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**© 2021 г. А. К. Аноприенко^{1,*}, А. Ю. Конопкин²¹ Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

*e-mail: anopralex@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.04.2021 г.

После доработки 06.06.2021 г.

Принята к публикации 24.06.2021 г.

В настоящей статье приведен анализ повышения ремонтпригодности, долговечности и эффективности использования дорожно-строительных машин за счет применения новых технологий при создании и ремонтных работах с использованием новых полимерных композиционных материалов, которые могут выдерживать воздействие низких температур.

Ключевые слова: полимерные материалы, клееклепка, клей-расплав, клей, ремонт, восстановление, низкая температура

DOI: 10.31857/S0235711921050047

По мере увеличения срока службы строительных и дорожных машин снижается их производительность и растут эксплуатационные затраты на ремонт, причем этот рост значительно увеличивается при превышении срока службы более 10 лет.

В условиях отсутствия бюджетных средств и резко обострившейся проблемы сбыта новой строительной техники, одним из основных способов активизации инвестиционных процессов в строительной отрасли являются новые направления, помогающие решить проблему по обновлению парков или же его восстановлению [1–3].

На примере зарубежного опыта можно судить о целесообразности восстановления и ремонта дорожных и строительных машин. По данным национальной ассоциации дилеров происходит постоянный рост предприятий и пунктов по восстановлению деталей, узлов и механизмов машин.

Как один из вариантов снижения денежной нагрузки и повышения экономической эффективности при восстановлении строительных и дорожных машин является изменение заводской технологии сборки и ремонта. Применение полимерных материалов позволяет уменьшить стоимость производства, увеличить эффективность проведения ремонтных работ, повысить долговечность восстановленного кузова.

Решить эти проблемы можно с применением технологии клееклепки с термопластичными клеями-расплавами. При этом остро стоит вопрос применения данных клееклепанных соединений в условиях резких температурных колебаний. В российских условиях перепад температур может происходить от +15 днем до 0°C ночью и так же на следующий день до –15°C. Температура зимой в отдельных регионах может дости-

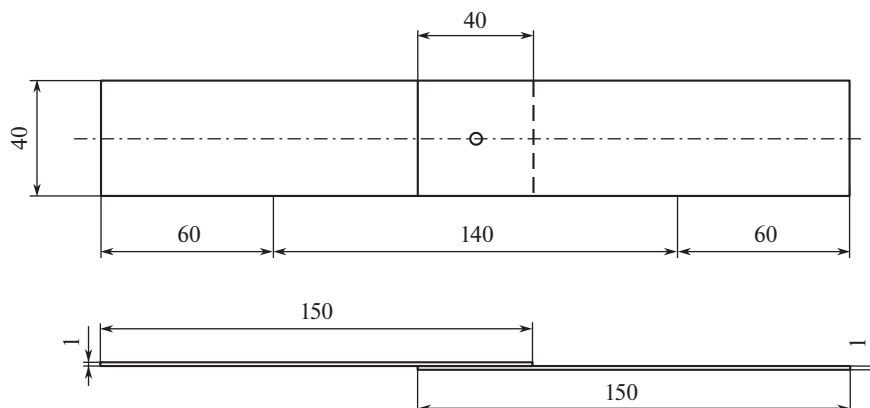


Рис. 1. Схема образца из стали 08пс.

гать -50°C и $+40^{\circ}\text{C}$ летом, поэтому очень важно учесть такие температурные колебания при выборе технологий и материалов для производства и ремонта.

Клееклепка представляет собой объединенные в один общий процесс двух самостоятельных операций склеивания и клепки. Применение операции склеивания позволяет повысить прочность соединения за счет равномерного распределения нагрузки по площади склеивания, а не только в области заклепки, улучшается герметизация склеиваемого шва, исключает появления процесса фреттинга в соединении [4].

Оценка сравнения прочности клееклепанных соединений с различными видами клеев показала, что в условиях комнатной температуры большей прочностью на сдвиг (срез) обладают соединения с применением эпоксидных клеевых материалов. Такие клеевые материалы относятся к термореактивным клеям и, обычно, имеют в своем составе эпоксидную смолу и отвердитель. Свои свойства данные клеевые материалы проявляют под воздействием экзотермической химической реакции вследствие перемешивания компонентов. Однако из-за высокой прочности данных клеев значительно усложняется ремонтпригодность: увеличивается время ремонта, требуются применения дополнительной силовой нагрузки при демонтаже соединения, требуется применение клеевого материала с высокой стоимостью [5, 6].

Постановка задачи. Для оценки устойчивости и определения прочности клееклепанных соединений в условиях низких температур были изготовлены образцы для испытаний, представляющие собой пластины размером 40×150 мм, соединенные внахлест с использованием клепки без клея (традиционное соединение) и с использованием различных типов клеевых материалов. Схематично образцы для испытаний представлены на рис. 1. Площадь склеивания составила 1600 мм^2 . Фото готового образца для испытаний представлено на рис. 2. Отверждение клеевых материалов и клепка осуществлялись при комнатной температуре (примерно 22°C).



Рис. 2. Фото готового образца для испытаний из стали 08пс (как пример образец № 2 без клея).

Таблица 1. Результаты прочностных испытаний клееклепанных соединений из стали марки 08пс с различными типами клеев при отрицательных температурах

Значения максимального разрушающего усилия, Н									
Тип соединения/клеевой материал	Температура испытаний, °С*								
	+20			–30			–50		
	max	min	сред	max	min	сред	max	min	сред
Клепаное соединение без клея (1 точка)	3248	3180	3201	3627	3345	3481	3784	3272	3515
Клееклепанное соединение/эпоксидный полимер марки ЭД-20, отверд. ПЭПА	9732	7515	8123	7305	6265	6802	9504	7572	8155
Анаэробный герметик марки Анакрол 101	11940	11536	11769	7115	5479	6236	8431	5376	6412
Термопластичный материал Теплак-2П	8350	7203	7890	4093	3637	3837	3853	3714	3769

Испытания проводились по ГОСТ 6996-66 на следующих режимах: скорость рабочая 2 мм/мин, скорость предварительная 2 мм/мин, скорость рабочая после предела текучести 2 мм/мин, условия останова испытания спад усилия на 40% за 0.1 с. Предварительно образцы были выдержаны при температуре испытаний 30 дней.

В табл. 1 приведены значения максимального разрушающего усилия.

Обсуждение результатов. По окончании испытаний, разрушенные образцы визуально осматривались, и определялся характер повреждения. Анализ фотографий, приведенных на рис. 3а, б, в рабочих поверхностях разрушенных образцов с отсутствующими ровными и гладкими клеевыми поверхностями, позволяет сделать вывод о пластичном характере разрушения клеевого материала [7].

В результате испытаний установлено, что наибольшая прочность клепаного соединения при комнатной температуре достигается при применении анаэробного клеевого материала. С понижением температуры наблюдается падение прочности практически в 1.8 раза.

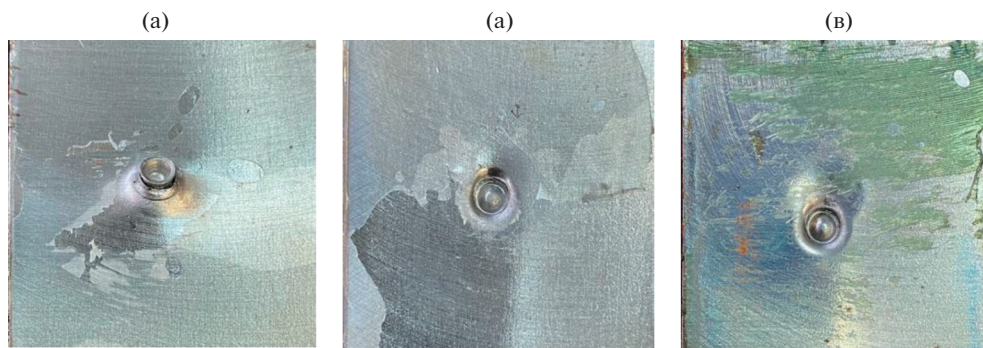


Рис. 3. Фотографии поверхности разрушения клееклепанных соединений после испытаний: (а) – ЭД-20; (б) – Теплак-2П; (в) – Анакрол 101.

Таблица 2. Стоимость материалов для проведения сравнительного анализа

п/п №	Название материала	Вес, г	Цена, руб
1	Анакрол 101	5	100
2	ЭД-20	500	700
3	Теплакс-2П	1000	250
4	Очиститель Teroson Reiniger FL	1000	650
5	Глухая заклепка Ø4 мм	—	26.75
6	Шовный герметик	300	444

Соединения с эпоксидным клеевым материалом имеет меньшую, по сравнению с анаэробным клеем, прочность при комнатной температуре [8]. При этом при более низкой температуре выдержки -50°C клей не только не теряет в прочности, но наоборот — прочность соединения на 1% выше, чем при $+20^{\circ}\text{C}$. Соединения с данным клеевым материалом имеют стабильные показатели прочности при отрицательных температурах.

Соединения с термопластичным клеевым материалом в два раза превышают прочность традиционных клепаных соединений, но по мере уменьшения температуры данные клеевые материалы теряют свои эластичные свойства и служат в основном как герметик.

Для обоснования экономической эффективности применения клееклепаной технологии с различными типами клеевых материалов проведем сравнительный анализ стоимости применения технологий на примере установки панели крыши размером 120×75 см, для чего требуется примерно 300 г клеевого материала, 20 мл очистителя, 98 заклепок (табл. 2).

Для сравнения рассмотрим также использование традиционной клепаной технологии. Без применения клея шаг между заклепками уменьшается в два раза, что приводит к увеличению количества заклепок, а так же требуется применение шовного герметика в количестве, равном количеству клеевого материала. Результаты расчета представлены гистограммой на рис. 4 и показывают, что разница в себестоимости применения технологий различается в разы.

Как можно заметить из гистограммы, наименьшую себестоимость изготовления имеет технология с применением клееклепаной технологии с клеем-расплавом.

Выводы. В результате экспериментальных исследований установлено, что применение клееклепаных соединений с клеем-расплавом позволяет добиться значительного повышения прочности при положительных температурах. При воздействии отрица-

**Рис. 4.** Гистограмма сравнения себестоимости применения технологий.

тельных температур стойкость клеевого материала падает, в результате чего прочность клееклепаного соединения с клеем-расплавом составляет не более 110% от традиционного клепаного и служит для герметизации соединения.

При сравнительном технико-экономическом анализе установлено, что стоимость изготовления клееклепаного соединения с использованием клеев-расплавов на 73% ниже, чем при использовании традиционных эпоксидных материалов и на 76% ниже, чем при традиционной клепке.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Li D., Sloss C., Foundry S.A.* Cast ferritic stainless steels for automotive exhaust components // Transactions of the American Foundry Society. 2013. № 121. P. 487.
2. *Brady M.P., Muralidharan G., Leonard D.N., Haynes J.A., Weldon R.G., England R.D.* Long-term oxidation of candidate cast iron and stainless steel exhaust system alloys from 650 to 800°C in air with water vapor // Oxidation of metals. 2014. V. 82. P. 359.
3. *Rudskoy A.I., Kodzhapirov G.E., Kliber J., Apostolopoulos Ch.* Advanced metallic materials and processes // Materials Physics and Mechanics. 2016. V. 25 (1). P. 1.
4. *Коноплин А.Ю., Баурова Н.И., Аноприенко А.К.* Клеемеханические соединения при производстве и ремонте машин: Учеб. пособие. М.: МАДИ, 2020. 200 с.
5. *Баурова Н.И., Зорин В.А.* Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: Учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 264 с.
6. *Лапина Н.В., Баурова Н.И.* Оценка технологичности изделий машиностроения при замене традиционных материалов на композиты // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2017. № 26. С. 37.