

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.793

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>

Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей сельскохозяйственной техники: метод холодного газодинамического напыления

Н.В. Серов¹, О.М. Мельников², С.П. Казанцев³, И.Ю. Игнаткин⁴, А.Е. Павлов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>

² melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>

³ kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>

⁴ ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

⁵ pavlov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>

Аннотация. Необходимость совершенствования технологий и процесса ремонта машин обусловлена трудностями в поставках техники, оборудования и запасных частей и ограниченностью финансовых ресурсов сельскохозяйственных предприятий. Одной из причин выхода из строя сельскохозяйственной техники является повреждение радиаторов системы жидкостного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. С целью разработки технологии устранения механических повреждений радиаторов проведен анализ основных конструктивных особенностей радиаторов и выявлены их наиболее распространенные дефекты. В ходе исследований установлено, что в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники наиболее распространенными являются алюминиевые или латунно-медные радиаторы. Основными дефектами, возникающими при эксплуатации, являются механические повреждения радиаторов ДВС в виде течи в трубках и отрыва охлаждающих пластин или ленты. Наиболее распространенными методами устранения данных дефектов являются пайка оловянно-свинцовыми припоями, заглушка протекающих трубок, заливка полимерных герметиков в охлаждающую жидкость, заклеивание. В случае механического повреждения радиаторов авторами предложено использовать холодное газодинамическое напыление металлического слоя с помощью Димет-405. Предварительная абразивная подготовка поверхности производится корундовым порошком марки К00-04-16. Предложены оптимальные режимы напыления: для порошка А-20-11 – при температуре 100 или 200°C (соответственно первый или второй режимы), для порошка С-01-11-200 или 300°C (второй или третий режимы). Скорость подачи порошка составляет 0,3 г/с. Прочность полученных соединений не уступает прочности паяного соединения свинцово-оловянными припоями. Разработанная авторами технология герметизации течи и восстановления контакта охлаждающей ленты с трубками позволяет быстро и качественно восстанавливать поврежденные радиаторы. Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей позволяет сократить время вынужденного простоя машин.

Ключевые слова: ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей, радиатор, механические повреждения радиаторов, метод холодного газодинамического напыления, Димет-405, А-20-11, С-01-11

Для цитирования: Серов Н.В., Мельников О.М., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Павлов А.Е. Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей сельскохозяйственной техники: метод холодного газодинамического напыления // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 51-58. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>

ORIGINAL PAPER

Repair of radiators of the engine cooling system of agricultural machinery: use of cold gas-dynamic spraying**N.V. Serov¹, O.M. Melnikov², S.P. Kazantsev³, I.Yu. Ignatkin⁴, A.E. Pavlov⁵**^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>² melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>³ kazantsev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>⁴ ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>⁵ pavlov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>

Abstract. Difficulties in the supply of machinery, equipment and spare parts and the limited financial resources of agricultural enterprises make it necessary to improve the technology and process of machine repair. Damaged radiators in the liquid cooling system of internal combustion engines are one of the most common causes of failure of agricultural machinery. In the course of the research it was found that the most common types of radiators used in cooling systems of agricultural engines are aluminum or brass-copper radiators. The main defects that occur during operation are such mechanical damages of radiators as leaks in tubes and torn off cooling plates or tapes. The most common methods of eliminating these defects are: soldering with tin-lead solders, plugging leaking tubes, pouring polymer sealants into the coolant, and taping. In the case of mechanical damage of radiators, the authors suggest the use of cold gas-dynamic spraying of the metal layer with Dimet-405. The preliminary abrasive surface preparation is carried out with a corundum powder of K00-04-16 grade. The optimum spraying modes are proposed: for the A-20-11 powder – at the temperature of 100 or 200°C (the first or the second modes, respectively), for the C-01-11 powder – at 200 or 300°C (the second or the third modes, respectively). The powder feed rate is 0.3 g/s. The strength of the obtained connections is not inferior to the strength of the soldered connection made with lead-tin solders. The technology developed by the authors for sealing leaks and restoring the contact of the cooling tapes with tubes can contribute to the fast and high-quality repair of damaged radiators. Repairing radiators of the engine cooling system reduces the forced downtime of machines.

Keywords: repair of engine cooling system radiators, radiator, mechanical damage of radiators, cold gas dynamic spraying method, Dimet-405, A-20-11, C-01-11

For citation: Serov N.V., Melnikov O.M., Kazantsev S.P., Ignatkin I.Yu., Pavlov A.E. Repair of radiators of the engine cooling system of agricultural machinery: use of cold gas-dynamic spraying. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(4):51-58 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>

Введение

Поставки техники, оборудования и запасных частей сильно осложнены в связи с введенными против Российской Федерации санкциями, а параллельный импорт не может обеспечить бесперебойные поставки в требуемых масштабах. Кроме того, ограниченные финансовые ресурсы, постоянное удорожание материалов и компонентов, из которых изготавливается современная техника, и ее усложнение приводят к росту стоимости изделий.

Применение технологий восстановления деталей машин и механизмов, используемых в сельском хозяйстве, подразумевает повторное использование изношенных деталей и способствует снижению дефицита импортной продукции. Продление срока службы деталей снижает финансовую нагрузку на предприятия агропромышленного комплекса

и уменьшает время вынужденного простоя машин и оборудования [1, 2].

Восстановить детали без больших финансовых вложений и невысокой квалификации работников позволяет метод холодного газодинамического напыления (ХГДН). В качестве присадочных материалов используются мелкодисперсные порошки на основе алюминия, меди, никеля, баббита и свинца. Получение металлического слоя возможно на различных поверхностях деталей, изготовленных из алюминия, меди и ее сплавов, стали, стекла и керамики. Присадочные материалы за счет высоких адгезионных и когезионных свойств дают достаточно высокую прочность напыленному покрытию и обеспечивают низкую пористость. Данные свойства позволяют создавать защитные покрытия и применять этот метод для герметизации течей, а также восстанавливать

целостность паяных соединений, не находящихся под большими нагрузками [3].

В сравнении с термическими методами напыления ХГДН имеет ряд преимуществ: возможность нанесения покрытий на тонкостенные детали, не терпящих нагрева, и получение покрытий большой толщины; высокая экологичность; безопасность при эксплуатации; отсутствие особых требований к средствам индивидуальной защиты; низкие требования к квалификации работников.

Частые механические повреждения радиаторов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в частности, трубок и лент, вызывают необходимость разработки технологии для их устранения.

Цель исследований: анализ и классификация основных конструктивных особенностей радиаторов и материалов, выявление их наиболее распространенных дефектов, разработка технологии устранения механических повреждений радиаторов.

Материалы и методы

Холодное газодинамическое напыление проводилось на установке Димет-405 (рис. 1а) при трех температурных режимах (100, 200 и 300°C) с расстояния 8...10 мм. Скорость подачи порошкового материала составляла 0,3 г/с.



Рис. 1. Установка Димет-405 (а) и используемые материалы (б)

Fig.1. Dimet 405 installation (a) and powders used in radiator repair (b)

В качестве напыляемого порошкового материала использовали порошки на основе алюминия с добавлением цинка и корунда (марка А-20-11) и на основе меди с включением цинка и корунда (марка С-01-11) (рис. 1б). Небольшое добавление цинка в состав порошков улучшает адгезию, а корунд обеспечивает чистоту сверхзвукового сопла.

При подготовке поверхности к напылению и удалении загрязнений в зоне напыления на этой же установке применяли корундовый порошок марки К00-04-16 (рис. 1б).

Для удаления избытка порошка с поверхности использовали шабер, можно также применить фрезу или другой режущий инструмент.

Результаты и их обсуждение

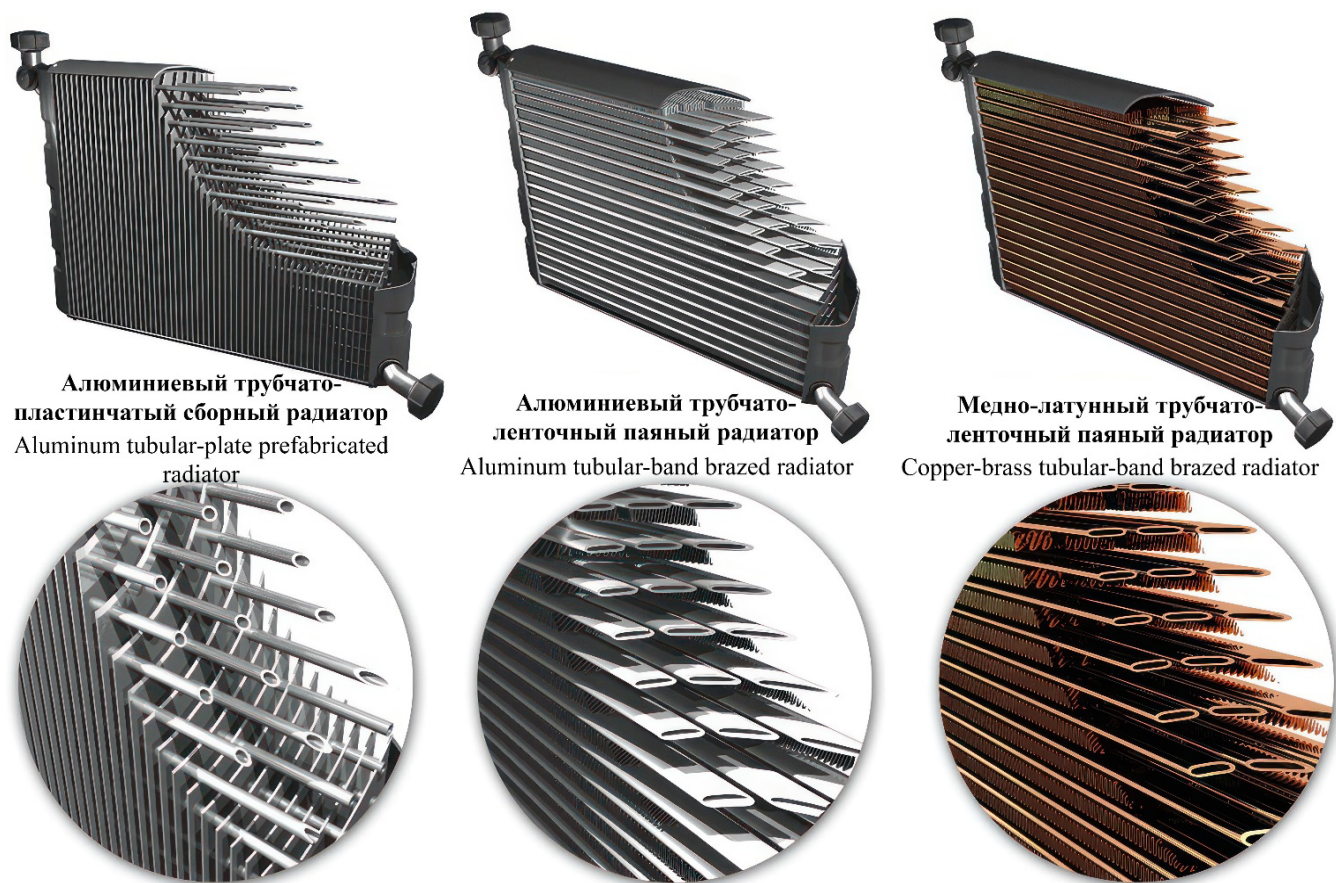
Радиаторы системы жидкостного охлаждения ДВС сельскохозяйственной техники отличаются по конструкции и используемым материалам (рис. 2). Классификация радиаторов системы охлаждения ДВС представлена на рисунке 3.

На технике малой мощности наибольшее распространение получили алюминиевые трубчато-пластинчатые радиаторы, обладающие низкой стоимостью и плохим теплообменом. На более мощной технике применяются алюминиевые трубчато-ленточные радиаторы. Они дороже и сложнее пластинчатых, но обладают более высокими характеристиками. При эксплуатации мощной техники, работающей в условиях больших нагрузок, высокой запыленности и повышенной температуре окружающей среды, наибольшее распространение получили латунно-медные трубчато-ленточные радиаторы, обладающие наибольшими теплообменными свойствами и высокой надежностью.

Для обеспечения наилучших характеристик теплопроводности и жесткости ленту или пластину припаивают к трубкам радиаторов.

Радиаторы чаще всего находятся в передней части тракторов и автомобилей. Они могут повреждаться камнями, отлетающими из-под колес впереди идущей техники, или протыкаться ветвями деревьев или кустов, что приводит к нарушению герметичности и/или отрыву охлаждающих лент или пластин от трубок радиатора. Появление течей и/или отрыв охлаждающей ленты или пластин вызывают повышение температуры двигателя и потребность постоянно восполнять нехватку охлаждающей жидкости, что при недосмотре может привести к перегреву двигателя и его поломке. Утечки охлаждающей жидкости приводят к ухудшению состояния почвы и грунтовых вод.

Классификация дефектов радиаторов системы охлаждения ДВС представлена на рисунке 4 [4, 5].



Алюминиевый трубчато-пластинчатый сборный радиатор
Aluminum tubular-plate prefabricated radiator

Алюминиевый трубчато-ленточный паяный радиатор
Aluminum tubular-band brazed radiator

Медно-латунный трубчато-ленточный паяный радиатор
Copper-brass tubular-band brazed radiator

Рис. 2. Радиаторы, используемые в автотракторной технике

Fig.2. Examples of radiators used in auto-tractor equipment

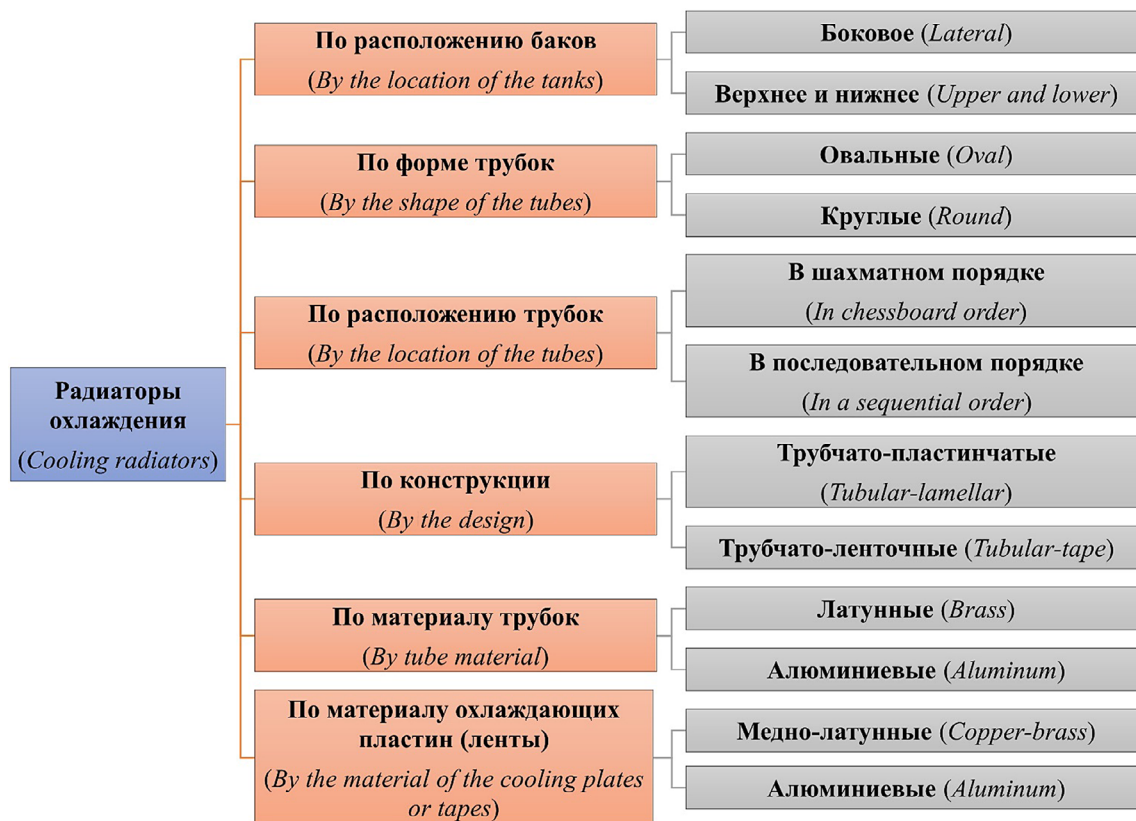


Рис. 3. Классификация радиаторов системы охлаждения ДВС

Fig. 3. Classification of radiators of the cooling system of internal combustion engines

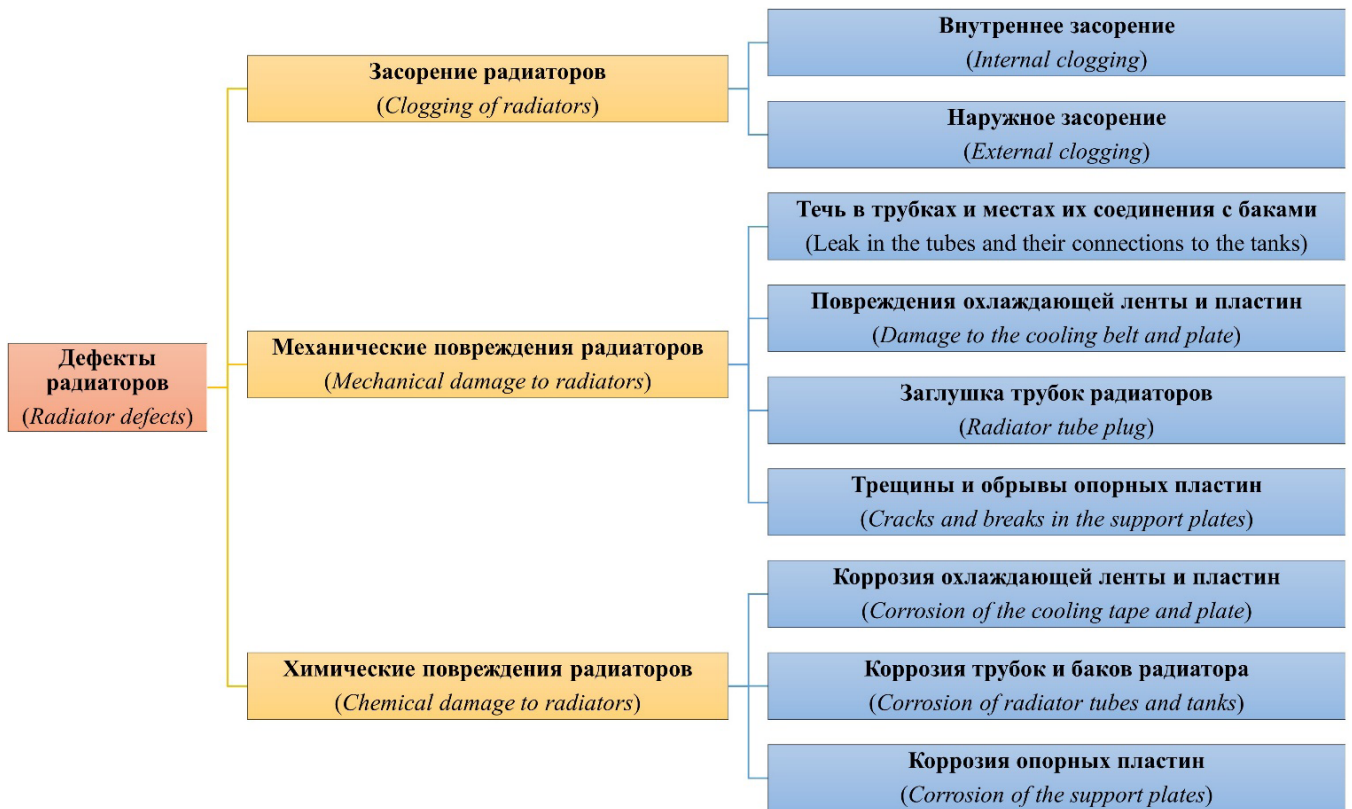


Рис. 4. Классификация дефектов радиаторов системы охлаждения ДВС

Fig. 4. Classification of defects in radiators of the cooling system of internal combustion engines

Внутреннее засорение в виде накипи и ржавчины образуется в случае использования низкокачественных охлаждающих жидкостей или несоблюдения условий и сроков их использования, а также попадания мусора в трубки.

Внешнее засорение обусловлено высокой запыленностью и замасливанием трубок, ленты или пластин, налипанием грязи и растительных остатков.

Течи образуются в результате механических повреждений или распозлазания паяных швов по причине перегрева или удара [6].

Механические повреждения лент и пластин проявляют себя в виде отрыва от трубок или смятия. Трубки заглушают пайкой или механическим пережатием [4, 6].

К химическим повреждениям относится образование коррозии на трубках и ленте, приводящее к их выкрашиванию и разрушению.

Большинство перечисленных повреждений можно избежать за счет своевременной очистки радиатора от загрязнений, использования качественных охлаждающих жидкостей и соблюдения условий эксплуатации техники [6].

Для исключения течей и обрывов, устранения дефекта оторванной ленты и трубок используют пайку свинцово-оловянными припоями и различный клей [7, 8]. В качестве временной меры герметик заливают внутрь радиатора во время работы двигателя

или делают заглушку трубок припоем и используют аргоновую сварку баков и трубок в местах течи [9, 10].

Перспективным в устранении течей жидкости и восстановления соединения ленты с трубками является метод холодного газодинамического напыления порошков марок А-20-11 (алюминий, корунд, цинк) или С-01-11 (медь основа, цинк, корунд), которые выбираются в зависимости от материала радиатора.

Холодное газодинамическое напыление отличается от других методов высокой производительностью процесса, простотой, высокой теплоустойчивостью, возможностью работы с любыми металлическими и керамическими подложками, невысокой себестоимостью процесса, не требующего участия специалиста высокой квалификации [2, 5].

Эффективность использования материала в данном технологическом процессе составляет 20...30%, скорость нанесения покрытий – от 0,2 до 0,8 кг/ч, толщина образуемого покрытия – от 100 мкм до 50 мм. В зависимости от выбранного порошка и режима полученные покрытия характеризуются адгезией от 30 до 100 МПа, высокой когезией от 30 до 100 МПа, прочностью на разрыв от 50 до 120 МПа, пористостью 1...5%, твердостью по Бринеллю 10...160 НВ, относительным удлинением 1...2%.

Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей предлагается проводить согласно разработанной

авторами технологии. Технология нанесения порошкового покрытия включает в себя подготовку и внешний осмотр оборудования, проверку питателей на слеживание ранее засыпанного порошка, проверку силиконовых трубок на наличие засоров и их удаление с последующей продувкой, включение установки Димет-405 и выбор режима нагрева в зависимости от выбранного порошка. Для порошка А-20-11 оптимальными являются 1 или 2 режимы нагрева (до 100 или 200°C), для С-01-11 – режимы 2 или 3 (при температуре 200 и 300°C соответственно). При этом скорость подачи порошка составляет 0,3 г/с.

Перед напылением проводится предварительная абразивная обработка восстанавливаемого участка радиатора порошком марки К00-04-16 (корундом), который засыпается во второй питатель установки. Абразивная обработка удаляет загрязнения и создает оптимальную для напыления шероховатость поверхности, что улучшает адгезию напыляемых порошков к поверхности.

В процессе напыления сначала происходит нагрев сжатого газа (воздуха) до 200°C для порошка А-20-11 или до 300°C – для порошка С-01-11. Более высокие значения температуры приводят к активному окислению порошка, что отрицательно сказывается на производительности процесса и качестве покрытий. Дальнейшее повышение температуры не влияет на производительность и качество получаемых покрытий. Далее в сопле формируется сверхзвуковой воздушный поток, в который подается порошковый материал. С помощью сверхзвукового потока материал ускоряется и направляется на поверхность детали. Пример восстановленного радиатора представлен на рисунке 5.

За счет высокой адгезии и теплопроводности напыляемых материалов прочность полученных соединений не уступает прочности паяного соединения свинцово-оловянными припоями. Схема технологического процесса представлена на рисунке 6.

Установка Димет-405 имеет небольшие габаритные размеры, потребляемая мощность на максимальном режиме нагрева и максимальном давлении

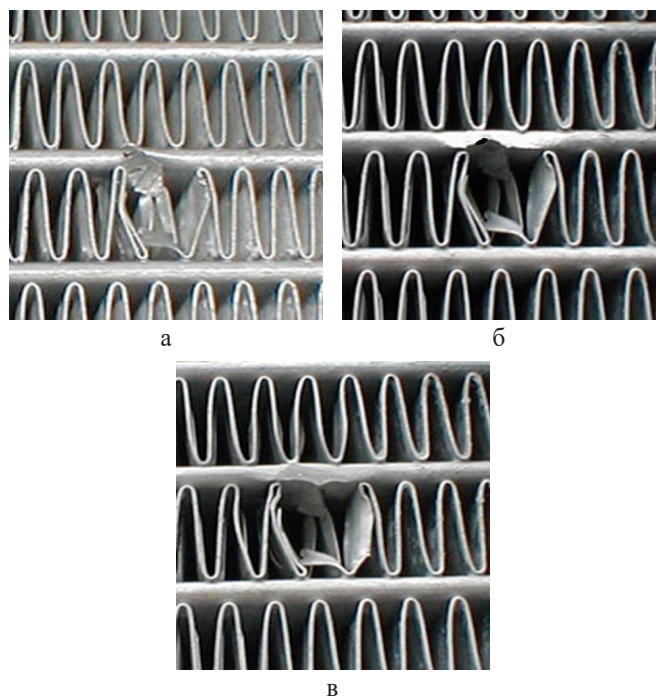


Рис. 5. Герметизация течи жидкости в радиаторе:
а – дефект; б – подготовленная поверхность;
в – восстановленная поверхность

Fig. 5. Sealing a liquid leak in a radiator
a – defect; б – prepared surface; в – restored surface

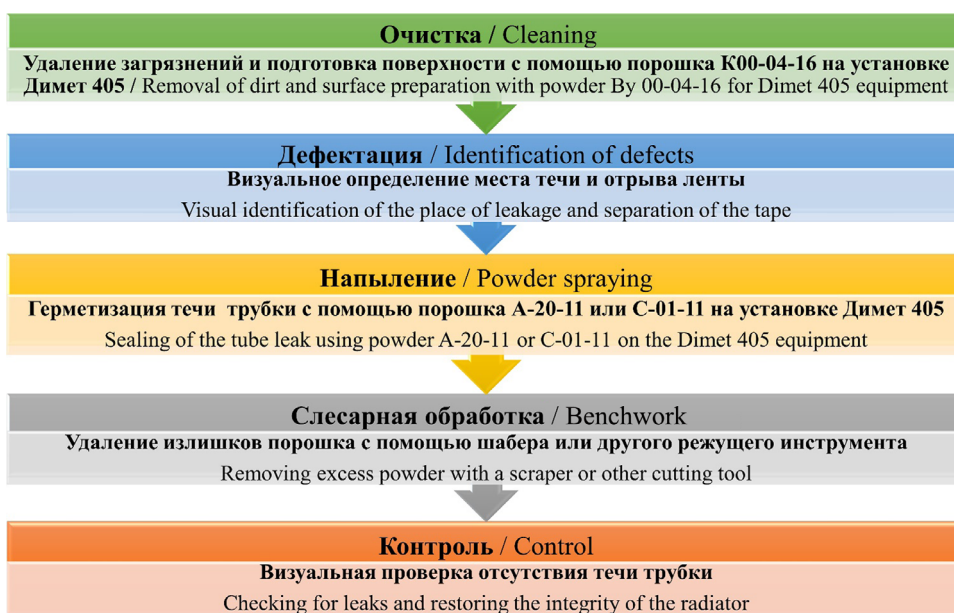


Рис. 6. Схема технологического процесса восстановления радиатора
Fig. 6. Diagram of the radiator repair process

7 атм не превышает 3,3 кВт. Размещение установки на машины технического обслуживания позволит осуществлять ремонтные мероприятия в поле и значительно сократить время простоя техники по причине неисправностей. С помощью данного оборудования можно создавать коррозионностойкие покрытия. Например, можно защитить кузов, поврежденный коррозией, не останавливая рабочий процесс в ожидании кузовных и лакокрасочных работ.

Выводы

1. В системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники наиболее распространены алюминиевые или латунно-медные радиаторы.

2. Частыми дефектами радиаторов являются механические повреждения: течи и отрыв ленты

Список источников

1. Серов Н.В., Соколова В.М. Особенности некоторых методов упрочнения материалов // Доклады ТСХА, Москва, 6-8 декабря 2018 г. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. Вып. 291. Ч. 2. С. 92-97. EDN: KHSKVY

2. Макаров В.Н., Подольский А.А., Доровских Д.В. Разработка технологической схемы ремонта радиаторов системы кондиционирования автомобилей // Наука в современном обществе: Закономерности и тенденции развития: Сборник статей Международной научно-практической конференции, г. Магнитогорск, 10 ноября 2018 г. Магнитогорск: ООО «Аэтерна», 2018. С. 35-37. EDN: YQPQBF

3. Серов А.В., Бурак П.И., Серов Н.В. Исследование возможности применения холодного газодинамического напыления при заделке отверстий радиаторов охлаждения // Техника и оборудование для села. 2018. № 12. С. 38-41. EDN: YQZJBR

4. Денисов И.В., Смирнов А.А. Исследование надежности системы охлаждения автомобиля «Лада Калина» в гарантийный период эксплуатации // Бюллетень транспортной информации. 2019. № 3 (285). С. 33-36. EDN: VYTANK

5. Семешин А.Л., Филина А.В. Анализ дефектов радиаторов двигателей внутреннего сгорания и устранение их методом пайки // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: Сборник научных трудов 5-й Международной молодежной научно-практической конференции, г. Курск, 14 ноября 2018 г. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018. Т. 2. С. 227-230. EDN: YRUBHN

6. Чумаков П.В., Бардин О.В., Чучкин Н.Ю. Анализ причин отказов радиаторов охлаждения автотракторной техники // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Саранск, 25-26 ноября 2020 г. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. С. 341-346. EDN: GHTALN

7. Семешин А.Л., Коломейченко А.В., Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Коношина С.Н., Филина А.В. Исследования возможности применения электролизно-водных генераторов для ремонта радиаторов ДВС // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 11. С. 38-42. <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-38-42>

8. Караваев М.А., Башкирцев Ю.В. Восстановление радиаторов двигателей внутреннего сгорания полимерами // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23, № 4. С. 125-133.

от трубок. Их можно предотвратить, проводя периодическую очистку радиаторов, используя качественную охлаждающую жидкость со своевременной ее заменой, проверяя наличие механических и химических повреждений и креплений радиаторов.

3. Герметизации течей жидкости и восстановлению соединения ленты с трубкой способствует метод холодного газодинамического напыления с помощью установки Димет-405.

4. При напылении порошка А-20-11 оптимальными являются 1 или 2 режимы (температура составляет 100 и 200°C соответственно), для порошка С-01-11 – режимы 2 или 3 (при температуре 200 и 300°C). Скорость подачи порошка составляет 0,3 г/с. Прочность полученных соединений не уступает прочности паяного соединения свинцово-оловянными припоями.

References

1. Serov N.V., Sokolova V.M. Features of some methods of strengthening materials. *Doklady TSKhA*, Moscow, December 6-8, 2018. Moscow, RG Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2019;291;2:92-97. (In Russ.)

2. Makarov V.N., Podolskiy A.A., Dorovskikh D.V. Development of a technological scheme for repairing radiators of the car air conditioning system. *Science in Modern Society: Patterns and development trends: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Magnitogorsk, November 10, 2018, Magnitogorsk, Aeterna LLC, 2018. Pp. 35-37. (In Russ.)

3. Serov A.V., Burak P.I., Serov N.V. Investigation of the possibility of using cold gas-dynamic spraying during sealing of holes in engine coolers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;12:38-41. (In Russ.)

4. Denisov I.V., Smirnov A.A. Investigation of reliability of the cooling system of the car Lada Kalina in the warranty period of its operation. *Bulletin of Transport Information*. 2019;3(285):33-36. (In Russ.)

5. Semeshin A.L., Filina A.V. Analysis of defects in the radiators of internal combustion engines and their elimination by soldering. *Product Quality: Control, Management, Improvement, Planning: Proceedings of the 5th International Youth Scientific and Practical Conference*, Kursk, November 14, 2018 Kursk: JSC “Universitetskaya Kniga”, 2018. Vol. 2. Pp. 227-230. (In Russ.)

6. Chumakov P.V., Bardin O.V., Chuchkin N.Yu. Analysis of the causes of failures of automotive cooling radiators. *Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies and Systems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Saransk, November 25-26, 2020 Saransk, National Research Ogarev Mordovia State University, 2020. Pp. 341-346. (In Russ.)

7. Semeshin A.L., Kolomeichenko A.V., Kuznetsov Yu.A., Kravchenko I.N., Konoshina S.N., Filina A.V. Study of application chance of water electrolytic generators for repair of internal-combustion engine radiators. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2018;11:38-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-38-42>

8. Karavaev M.A., Bashkirtsev Yu.V. The restoration of the radiators of internal combustion engines by polymers. *Lesnoy Vestnik = Forestry Bulletin*. 2019;23(4):125-133. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-4-125-133>

<https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-4-125-133>. EDN: ZEUIAQ

9. Семешин А.Л., Филина А.В. Выбор материалов для устранения неисправностей системы охлаждения радиаторов // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, г. Курск, 18-19 февраля 2019 г. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. С. 250-253. EDN: ZBBISD

10. Кобзев Д.Е., Кравчук Д.А., Моисеев Б.С. Применение растворов полимеров при ремонте радиаторов системы охлаждения автомобилей и нанесении защитных покрытий // Эволюция современной науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции: В 3 ч. Ч 2. г. Пермь, 25 июля 2016 г. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 69-71. EDN: WGRIDD

Информация об авторах

Никита Вячеславович Серов¹, канд. техн. наук, доцент;
n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>;
Scopus Author ID: 57226809065; Researcher ID
AAE-5293-2022

Олег Михайлович Мельников², канд. техн. наук, доцент;
melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>;
Scopus Author ID: 57209744643;
Researcher ID: AAE-5857-2022

Сергей Павлович Казанцев³, д-р техн. наук, профессор;
kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>;
Scopus Author ID: 57209268547;
Researcher ID: GZL-6443-2022

Иван Юрьевич Игнаткин⁴, д-р техн. наук, профессор;
ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>;
Scopus Author ID: 57222543815;
Researcher ID: AAC-1577-2022

Александр Егорович Павлов⁵,
д-р физ. – мат. наук, профессор; pavlov@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>; Scopus Author
ID: 60069979; Researcher ID: AAE-6169-2022

^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская
Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

Н.В. Серов – создание черновика рукописи теоретические исследования, концептуализация, визуализация;
О.М. Мельников – формальный анализ, ресурсы;
С.П. Казанцев – руководство исследованием, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
И.Ю. Игнаткин – верификация данных, методология;
А.Е. Павлов – формальный анализ, ресурсы

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 08.04.2024, после рецензирования и доработки 22.05.2024; принята к публикации 20.05.2024

9. Semeshin A.L., Filina A.V. Selection of materials for troubleshooting in radiator cooling systems. *Development Prospects of Processing Technologies and Equipment in Mechanical Engineering: Proceedings of the 4th All-Russian scientific and technical conference with international participation*, Kursk, February 18-19, 2019 Kursk: JSC “University” book”, 2019. Pp. 250-253. (In Russ.)

10. Kobzev D.E., Kravchuk D.A., Moiseev B.S. The use of polymer solutions in the repair of radiators of the cooling system of automobiles and the application of protective coatings. *Evolution of Modern Science: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*: In 3 parts. Part 2. Perm, July 25, 2016 Perm: Aeterna LLC, 2016. Pp. 69-71. (In Russ.)

Author Information

Nikita V. Serov¹, CSc (Eng), Associate Professor;
n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>;
Scopus Author ID: 57226809065;
Researcher ID: AAE-5293-2022

Oleg M. Melnikov², CSc (Eng), Associate Professor;
melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>;
Scopus Author ID: 57209744643;
Researcher ID: AAE-5857-2022

Sergey P. Kazantsev³, DSc (Eng), Professor;
kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>;
Scopus Author ID: 57209268547;
Researcher ID: GZL-6443-2022

Ivan Yu. Ignatkin⁴, DSc (Eng), Professor;
ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>;
Scopus Author ID: 57222543815;
Researcher ID: AAC-1577-2022

Aleksandr E. Pavlov, DSc (Phys-Math),
Professor; pavlov@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>; Scopus Author
ID: 60069979; Researcher ID: AAE-6169-2022

^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev
Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow,
127434, Russian Federation.

Author Contribution

N.V. Serov – writing – original draft preparation, theoretical research, conceptualization, visualization;
O.M. Melnikov – formal analysis, resources;
S.P. Kazantsev – research supervision, finalizing (revising and editing) of the manuscript;
I.Yu. Ignatkin – data verification, methodology;
A.E. Pavlov – formal analysis, resources

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 08.04.2024, Revised 20.05.2024, Accepted 20.05.2024