

## Технологии и средства механизации

УДК 502/504:631.3.004.67-631.145

**Б. Н. ОРЛОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**Б. К. САЛАЕВ, В. Н. ПАЛЯЕВА, Г. Х. НУРНАХАМБЕТОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калмыцкий государственный университет»

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

*Основным резервом экономии материалов, снижения расходов на ремонт машин и оборудования в условиях удорожания сырья и энергоресурсов является увеличение срока службы деталей путем их восстановления и упрочнения.*

*Восстановление изношенных деталей позволяет значительно сократить потребность в новых деталях, экономить легированные и цветные металлы, расходы на монтажные работы, а также уменьшить время простоя машин.*

*Технологический комплекс машин, трактор, орудие, агрегат, наработка на отказ, трудоемкость устранения отказа.*

*The main reserve of materials saving, reduction of expenditures on repair of machinery and equipment under the conditions of price rises on raw material and energy resources is to lengthen the life of details by their restoring and strengthening.*

*Restoration of worn parts makes it possible to significantly reduce the demand in new details, economize alloyed and nonferrous metals, expenditures on mounting works as well as to decrease the down time of the machinery.*

*Technological complex of machines, tractor, implement, failure time, labour intensiveness, failure elimination.*

Одним из основных направлений технической политики, проводимой в нашей стране, является максимальное использование во всех отраслях народного хозяйства ресурсосберегающих и безотходных технологий, принципиально новых материалов с заранее заданными свойствами, повышение качества выпускаемой продукции и производительности труда при значительном экономическом эффекте.

В настоящее время в мелиоративном и строительном комплексе России используют оборудование, при

эксплуатации и ремонте которого возникает потребность в большом количестве запасных частей. В условиях возросших объемов строительства существующий дефицит и высокая стоимость деталей придают особую актуальность проблеме их восстановления при износе.

Одной из главных причин отказов и потери работоспособности машин и оборудования, а следовательно, и необходимости их восстановления является изнашивание деталей. Анализ изнашивания рабочих элементов строительного оборудования показал, что наибольшее их

количество (около 80 %) работает в условиях интенсивного (0,9...3 мм) ударно-абразивного изнашивания при наработке на отказ порядка 150...200 ч, причем около 60 % этих деталей – плоские.

Многие вопросы восстановления и упрочнения деталей получили конкретное развитие и теоретическое обоснование. Так, анализ литературных источников и опыта показал, что 75 % выбраковываемых деталей ремонтпригодны. Расходы на запасные части достигают более 60 % от себестоимости ремонта машин в целом. При этом себестоимость восстановления не превышает 50...70 % цены новых деталей, а ресурс восстановленных деталей зачастую значительно выше благодаря использованию эффективных способов восстановления.

Создание производств по восстановлению деталей требует в 2–3 раза меньше капитальных вложений по сравнению с аналогичными предприятиями по изготовлению запасных частей. Поэтому альтернативой расширению производства запасных частей является вторичное использование изношенных деталей, восстановленных в процессе ремонта.

Таким образом, восстановление из-

ношенных деталей (ВИД) рабочих органов – это важнейший резерв снижения расхода запчастей и себестоимости ремонта машин, экономии материально-сырьевых и энергетических ресурсов. Однако этот резерв используется крайне неэффективно. Так, объемы восстановления изношенных деталей составляют всего 18...20 % от объема поставки новых запчастей, тогда как на передовых зарубежных предприятиях (например, «Интернейшнл Харвестер», «Катерпиллар», «Кастилин + Ютектик», «Перкинс», «Бош» и др.) данный показатель достигает 45...50 %.

Процесс восстановления изношенных деталей в большинстве случаев включает операции нанесения слоя на изношенные поверхности не только аналогичного материала, но и материала, обладающего большей износостойкостью. В связи с этим технологии модернизации восстановления должны базироваться на таких способах нанесения покрытий, которые позволяют не только сохранить, но и увеличить ресурс восстанавливаемых деталей.

Ранее в нашей стране успешно развивались технологии восстановления и упрочнения рабочих элементов машин и оборудования (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация способов восстановления**

Класс	Подкласс	Вид	Подвид
Восстановление с сильным тепловым вложением за счет местного оплавления соединяемых материалов без приложения давления	Соединение частей деталей	По видам сварки плавлением в соответствии с государственными стандартами	По техническим и технологическим признакам видов сварки в соответствии с государственными стандартами
	Наплавка		
	Заливка жидким металлом	По технологическим и техническим признакам	
Восстановление с ограниченным тепловым вложением	Газотермические методы напыления	Газопламенное напыление. Детонационное напыление. Плазменное напыление	По технологическим и техническим признакам
	Пайка	По видам пайки в соответствии с государственными стандартами	По техническим и технологическим признакам пайки в соответствии с государственными стандартами
	Контактная наварка	По техническим и технологическим признакам контактной сварки по государственным стандартам	
	Пластическое деформирование	Правка. Перераспределение объемов металла	
Восстановление без существенного теплового вложения	Использование дополнительных конструктивных элементов	Компенсирующие износ. Соединительные детали	По технологическим и техническим признакам
	Химические методы нанесения металла	По видам наносимого покрытия	
	Гальванические методы нанесения слоя металла		
	Использование полимерных материалов	По видам полимерных материалов	

По данной классификации все способы восстановления делятся на три класса с учетом требований государственных стандартов. Такой подход представляется естественным, поскольку именно тепловое влияние, являясь важнейшим фактором активизации межатомных связей в процессах создания новых поверхностных слоев изношенных деталей, искажает их первоначальную геометрию и структурные особенности.

Качество и эффективность технологических процессов восстановления изношенных деталей в значительной степени зависят от соответствия применяемых способов устранения дефектов их ремонтпригодности.

Наиболее распространенной причиной выхода из строя порядка 85...90 % составных рабочих элементов является не столько поломка, сколько характерный естественный износ рабочих поверхностей. При этом традиционный подход работников промышленности к проблеме износа деталей заключается в следующем – хранить большое количество запасных частей нерационально по следующим причинам:

запасные части не участвуют в материальном производстве;

запасные части дороги, не всегда доступны, их закупка зачастую обременительна.

Основным резервом экономии материалов, снижения расходов на ремонт строительного оборудования в условиях удорожания сырья и энергоресурсов является увеличение срока службы деталей путем их восстановления и упрочнения. Восстановление изношенных деталей позволяет значительно сократить потребность в новых деталях, экономить легированные и цветные металлы, расходы на монтажные работы, а также уменьшить время простоя машин.

Существует ряд способов нанесения покрытий и обработки поверхностей, которые вызывают особый интерес по следующим причинам:

высокая стоимость сырья и материалов, что побуждает промышленников к использованию покрытий из твердых сплавов, композиционных материалов или смесей обычных металлов;

повышение стоимости эксплуатации

агрегатов для нанесения покрытий;

увеличение спроса на более сложные покрытия в связи с повышением показателей работы машин, агрегатов и установок.

В настоящее время более 70 % деталей восстанавливается различными способами наплавки: наплавка под слоем флюса, наплавка порошковыми проволоками, вибродуговая наплавка, наплавка в среде защитных газов, плазменная наплавка и др. При рассмотрении эксплуатационных и физико-механических свойств покрытий, получаемых наплавкой, к недостаткам можно отнести следующие: глубокое термическое влияние, пятнистую твердость и нарушение поверхностного слоя деталей, снижение усталостной прочности. Кроме того, до 45 % наплавленного слоя металла переводится в стружку при механической обработке и исключается возможность наплавки деталей толщиной менее 1,0 мм.

В настоящее время наибольшее распространение среди различных видов электрохимических покрытий получили процессы *хромирования* и *железнения*. Основные преимущества гальванических процессов: отсутствие термического воздействия на деталь, возможность получения покрытий заданной толщины, одновременное восстановление (упрочнение) большого количества деталей, а также возможность автоматизации технологического процесса.

Новым направлением в области восстановления и упрочнения деталей машин является *газотермическое напыление покрытий*, применение которого выгодно при любых масштабах производства – от индивидуального и малосерийного до высокопроизводительного.

В зависимости от вида источника теплоты газотермическое напыление классифицируется на *газопламенное* и *газоэлектрическое*. К газопламенным относятся газопламенное и детонационно-газовое напыление, газоэлектрическим – электродуговая и высокочастотная металлизация, плазменное напыление (табл. 2).

Перспективность модернизации в области развития и применения газотермического напыления покрытий заключается в следующем [1]:

данными способами можно наносить покрытия из самых различных материалов:

Сравнительная характеристика методов нанесения покрытий

Метод	Скорость струи, м/с	Толщина покрытия, мм	Прочность сцепления, МПа	Производительность метода, кг/ч	Стоимость энергозатрат на напыление, р./дм <sup>2</sup>
Электродуговая металлизация	100...160	0,5...2,5	5...15	4...5	0,27
Газопламенное напыление	30...160	0,2...2,0	25	0,4...4	1,20
Детонационное напыление	2700...2950	0,05...0,5	75...100	0,9...1,0	4,0
Плазменное напыление: Ar-N <sub>2</sub> Воздух	800...1400 200...2500	0,4 0,2...3,0	20...80 45	1,76...1,68 0,8...12	0,49 0,19

цветных металлов и сталей, сплавов и интерметаллидов, оксидов, карбидов, органических соединений и их композиций. Восстанавливаемые и упрочняемые детали могут быть изготовлены из металлов, стекла, пластмассы, керамики, бумаги, ткани и т. д.;

незначительная потребность в материалах для покрытий. В этом случае можно использовать более стойкие, но и более дорогие и дефицитные материалы, повышающие эксплуатационную надежность восстанавливаемых деталей;

высокая производительность процесса, достигающая 10 кг/ч распыляемого материала в ручном варианте и 20 кг/ч и более при механизированных и автоматизированных способах нанесения покрытий;

легкая автоматизация процесса, что особенно важно для нанесения покрытий в камерах с контролируемым давлением.

Газотермическое напыление покрытий позволяет не только придавать восстановленным деталям требуемую форму и размеры, но и регулировать поверхностные свойства металлопокрытий.

*Газопламенное напыление* предназначено для нанесения покрытий посредством распыления порошковых и проволочных материалов в газовом пламени, получаемом при сгорании горючих газов в кислороде или воздухе.

*Детонационное напыление* предназначено в основном для получения износостойкого покрытия, состоящего из карбидов и металлической связи.

*Электродуговая металлизация* получила наиболее широкое применение при создании коррозионно-стойких покрытий на различных строительных

сооружениях.

*Высокочастотная металлизация* используется достаточно редко. Для плавления частиц напыляемого материала применяют индукционный нагрев токами высокой частоты.

*Плазменное напыление* предназначено для нанесения покрытий различного назначения посредством распыления порошковых и проволочных материалов.

Плазменное напыление покрытий находит широкое применение для упрочнения и восстановления деталей с высокой технико-экономической эффективностью в следующих отраслях:

машиностроение и автотракторная техника – посадочные места валов, рычаги, шейки коленчатых валов, вилки коробов передач, пары трения с повышенными триботехническими требованиями к ним и т. п.;

строительные, мелиоративные, сельскохозяйственные машины и технологическое оборудование – ножи бульдозеров и автогрейдеров; клыки, коронки и ковши экскаваторов; долота и шнеки бурильной техники; лопасти и лопатки смесительных установки т. п.;

химическая промышленность – втулки, шнеки, плунжеры и детали, подверженные интенсивной коррозии.

Применение плазменных покрытий позволяет повысить срок службы деталей в 2–8 раз, снизить трудоемкость восстановительных работ в 5–10 раз и затраты на восстановление деталей до 50 % от стоимости новых.

В связи с высокой стоимостью плазмообразующих газов наиболее экономичным является метод *воздушно-плазменного*

напыления покрытий (ВПН), сущность которого заключается в использовании тепловой энергии высокоскоростного потока ионизированного газа.

За последние годы сокращение инвестиций существенно повлияло как на объемы восстановления деталей машин, так и на качество их ремонта. Менее чем за 15–20 лет объемы восстановления этого сегмента техники отечественными предприятиями снизились более чем в три раза (рис. 1).

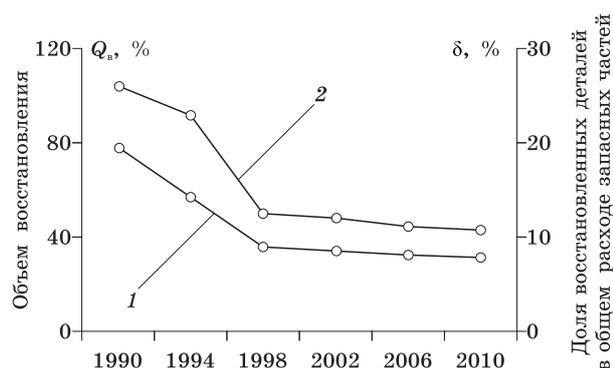


Рис. 1. Динамика объемов восстановления рабочих деталей: 1 – объем восстановления  $Q_{в}$ ; 2 – доля восстановленных деталей в общем расходе запасных частей  $\delta$

Изношенная техника, числясь на балансе организаций, почти по полгода находится в ремонте или его ожидании. При этом фактически продолжительность ремонтов в 2–3 раза превышает нормативную, а их качество, как правило, имеет низкий уровень [2].

Так, статистический анализ и результаты проверки качества ремонта техники показывают, что порядка 30 % и более основных машин отремонтировано с грубейшими нарушениями правил, регламентированных сертификатами, государственными стандартами и техническими условиями (рис. 2, табл. 3).

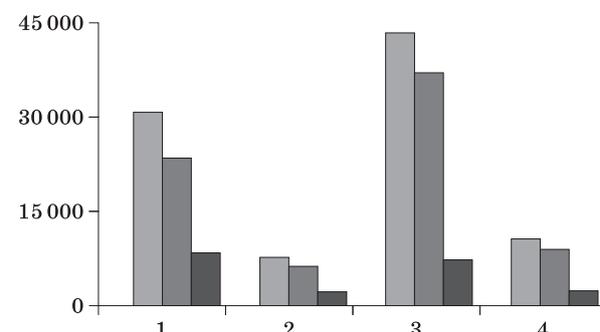


Рис. 2. Статистический анализ качества ремонта техники

Таблица 3

Результаты проверки качества ремонта техники

Наименование	Общая выборка	Без нарушений	С нарушениями
Строительная техника и технологическое оборудование	30182	22641	7541
Автотракторная техника	6940	5534	1406
Сборочные единицы и агрегаты	42970	36336	6634
Прочие машины	9761	8242	1519

Решение задачи создания конкурентоспособных технологий восстановления изношенных деталей во многом зависит от объективной оценки их технического уровня. Именно на этапе проектирования технологического процесса восстановления изношенных деталей правильная оценка его технического уровня будет влиять на экономические последствия во время серийного освоения.

Остановимся на некоторых приоритетных путях восстановления изношенных деталей.

Технологии модернизации восстановления рабочих элементов предусматривают использование различных процессов: сварочных, металлургических, электрохимических и др. В настоящее время в общем объеме работ по восстановлению рабочих органов ведущее место занимают наплавка,

нанесение гальванических покрытий и газотермическое напыление покрытий (рис. 3).

Для всех способов наплавки характерны высокая производительность, возможность получения наплавленных слоев толщиной от 0,8 до 10 мм с необходимыми физико-механическими свойствами. При этом основными недостатками наплавочных технологий восстановления деталей являются не только высокие энерго- и трудоемкость, но и значительная деформация с большим объемом последующей механической обработки.

Для восстановления и упрочнения деталей, имеющих незначительные износы, большое значение приобретают способы, позволяющие наносить покрытия при минимальном перемешивании с основным металлом. Одним из таких

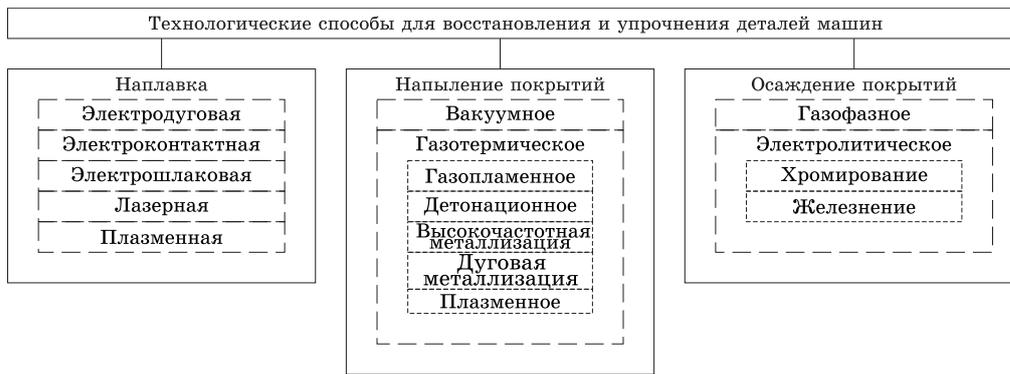


Рис. 3. Классификация технологических способов для восстановления и упрочнения деталей машин и технологического оборудования

способов является нанесение гальванических покрытий. Однако сложность и большая трудоемкость технологического процесса восстановления изношенных деталей хромированием и железнением, снижение сопротивления деталей усталости, загрязнение окружающей среды отходами производства ограничивают область применения гальванических покрытий в ремонтном производстве.

Результаты анализа технико-экономических возможностей рассмотренных способов показали неэффективность их применения: нарушается структура поверхностного слоя материала деталей; снижается сопротивление усталости; требуется сложное технологическое оборудование; более 70 % деталей машин, имеющих износы до 3 мм, восстанавливаются различными способами сварки и наплавки.

Такое положение объясняется недостаточным объемом и уровнем теоретических и экспериментальных исследований по разработке высокоэффективных ресурсосберегающих малоотходных технологий и оборудования для их реализации и внедрения, а также организационными, экономическими, экологическими и другими причинами.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что в настоящее время новым и перспективным направлением в области повышения надежности и долговечности деталей машин является газотермическое напыление покрытий. Применение способов газотермического напыления покрытий позволяет за счет повышения износостойкости существенно расширить номенклатуру восстанавливаемых деталей и увеличить ресурс их работы, благодаря чему исключается необходимость цельного изготовления деталей из высоколегированных дорогостоящих материалов (рис. 4) [3].

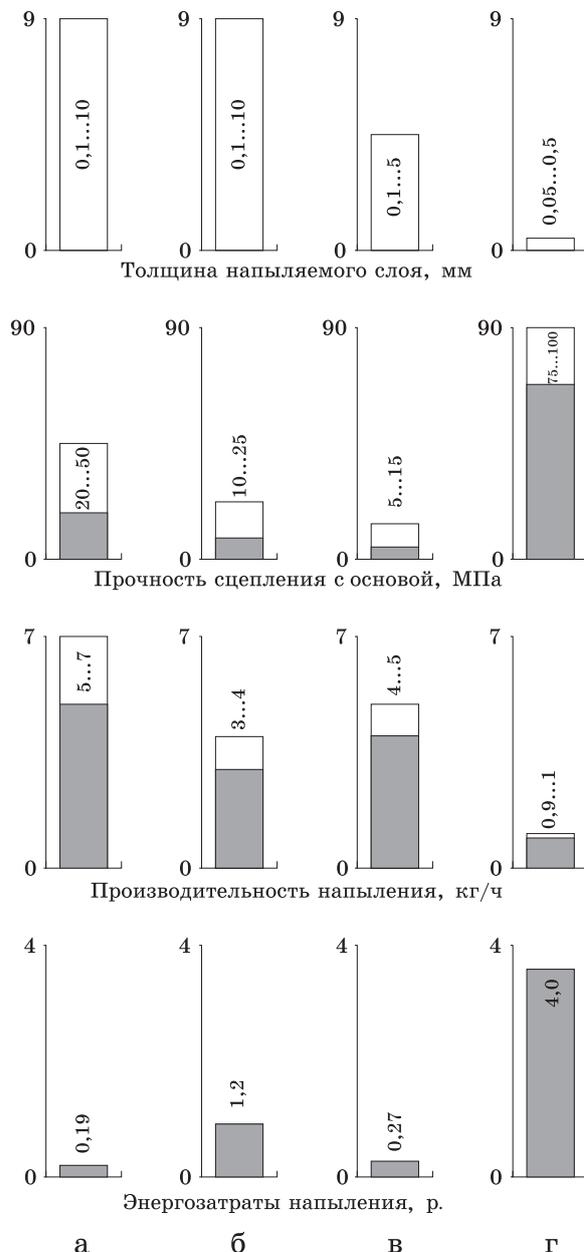


Рис. 4. Основные характеристики способов газотермического напыления покрытий: а – плазменный; б – газоплазменный; в – металлизация; г – детонационный

Так, плазменное напыление с последующим оплавлением быстроизнашивающихся деталей рабочих органов строительных машин и технологического оборудования повышает их износостойкость в 2–4 раза, при этом достигается значительный годовой экономический эффект за счет снижения вынужденных простоев техники по причине восстановления и

выпуска дополнительной продукции.

Анализ особенностей рассмотренных способов восстановления изношенных деталей при их использовании в массовом производстве позволил установить, что с точки зрения эффективности технико-экономических и эколого-энергетических показателей наиболее рациональным является газотермическое напыление покрытий (табл. 4).

Таблица 4

**Значения коэффициентов технико-экономической  $K_{тэ}$  и эколого-энергетической эффективности  $K_{ээ}$  методов нанесения покрытий**

Метод восстановления	Коэффициент эффективности метода	
	$K_{тэ}$	$K_{ээ}$
Наплавка (под слоем флюса, вибродуговая, в среде $CO_2$ , порошковыми проволоками)	0,372	0,56
Хромирование	0,063	0,12
Железнение	0,087	0,16
Газопламенное напыление	0,314	0,65
Плазменное напыление	0,390	0,86

Однако перспективы применения газотермического напыления для условий деятельности предприятий крайне ограничены.

#### Выводы

Во-первых, требования к прочности сцепления покрытия с основой, а также ограничения, создающие трудности при реализации этих требований, недостаточно учитываются при выборе рационального способа.

Во-вторых, способы газотермического напыления покрытий при внешнем их различии должны обеспечивать решение одной из главных технологических задач – создать износостойкое покрытие за счет распыления частиц жидкого металла, оседающего на поверхности детали.

В-третьих, свойства покрытий и прочность их сцепления с основой детали исследуются обычно с параметрами режима конкретного способа, и на этом основании не вполне обоснованно делаются обобщенные выводы о значимости влияния того или иного параметра режима на весь технологический процесс в целом.

В-четвертых, при реализации конкретного способа газотермического напыления покрытий следует учитывать геометрические и конфигурационные особенности восстанавливаемых деталей. Такой путь эффективен только в рамках конкретного способа газотермического напыления, позволяющий получить рациональные решения и выделить

наиболее значимые механизмы физико-механических явлений, лежащих в основе формирования покрытия и его сцепления с основой детали.

В-пятых, выбор наиболее приемлемого способа будет заключаться в технико-экономическом, эколого-энергетическом и организационном анализе технологических возможностей того или иного способа.

1. Газотермическое напыление: учеб. пособие / Л. Х. Балдаев [и др.]; под общей ред. Л. Х. Балдаева – М.: Маркет ДС, 2007. – 344 с.

2. Орлов Б. Н. Прогнозирование долговечности рабочих органов мелиоративных почвообрабатывающих машин: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2003. – 198 с.

3. Иосилевич Г. Б. Детали машин: учебник. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

Материал поступил в редакцию 11.04.13.  
**Орлов Борис Намсынович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии металлов и ремонт машин»  
Тел. 8-903-296-41-64

**Салаев Бадма Катинович**, кандидат педагогических наук, доцент, ректор  
**Палеева Вера Николаевна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационные технологии»  
**Нурнахамбетов Галинджан Хасанович**, инженер  
Тел. 8 (961) 548-19-27